



19 ES	11	NUMERO	10 A1
	21	- 462.207	
	22	FECHA DE PRESENTACION	
		8-9-1977	

PATENTE DE INVENCION

30 PRIORIDADES:	32 FECHA	33 PAIS
31 NUMERO		
721.862	9-9-1976	EE.UU.

47 FECHA DE PUBLICIDAD	51 CLASIFICACION INTERNACIONAL	62 PATENTE DE LA QUE ES DIVISIONARIA
	F8C	

54 TITULO DE LA INVENCION
"UN DISPOSITIVO DE TRANSFERENCIA DE CALOR ACTIVADA"

71 SOLICITANTE (S)
UNION CARBIDE CORPORATION (L-11020-SP)

DOMICILIO DEL SOLICITANTE
270 Park Avenue, Nueva York, Nueva York 10017, EE.UU.

72 INVENTOR (ES)
Frank Notaro

73 TITULAR (ES)

74 REPRESENTANTE
DON ALBERTO DE ELZABURU MARQUEZ (P.-66.814)

jga

BAD ORIGINAL

1 Este invento se refiere a un dispositivo de trans-  
ferencia de calor de condensación activada a un cambiador  
de calor del tipo de haces de tubos y envuelta con una su-  
perficie de transferencia de calor activada en el lado ex-  
5 terior de los tubos, y a un método para transferencia de  
calor de condensación activada.

En la transferencia indirecta de calor entre  
fluidos intervienen tres resistencias. Una primera resis-  
tencia está asociada con la fuente de calor de alta tempe-  
10 ratura, una segunda resistencia viene impuesta por el medio  
que separa los fluidos, y una tercera resistencia está  
asociada con el disipador de calor de baja temperatura.  
Para los sistemas que permiten el uso de un material de  
alta conductividad térmica, la resistencia del medio de  
15 separación a la transferencia de calor es pequeña, por lo  
que el régimen al cual es transformado el calor es contro-  
lado en general por las condiciones del flujo y por las  
propiedades de los medios fluidos. Con relación al disipa-  
dor de calor de baja temperatura, se pueden conseguir  
20 coeficientes del orden de  $488 \text{ cal/hora/cm}^2/^{\circ}\text{C}$  en transfe-  
rencia de calor perceptible. Para procesos en los que  
intervenga un medio de ebullición a baja temperatura, en  
los cuales se lleva a la práctica la tecnología de la  
Patente para los EE.UU. nº 3.384.154 de Milton o de la  
25 Patente para los EE.UU. nº 3.454.081 de Kun y otros, se  
pueden conseguir coeficientes de  $3.906$  a  $5.858 \text{ cal/hora/}$   
 $\text{cm}^2/^{\circ}\text{C}$ . La resistencia asociada con la fuente de calor de  
alta temperatura controla frecuentemente el régimen de  
transferencia de calor, en particular en los procesos en  
30 los que intervenga condensación, en los que se encuentran

1 corrientemente coeficientes de menos de  $244 \text{ cal/hora/cm}^2/$   
2°C. En tales sistemas, la película líquida que se forma  
sobre la superficie de condensación representa la resis-  
tencia principal a la transferencia de calor, y es parti-  
5 cularmente elevada en los equipos de envuelta y haces de  
tubos, en los que tiene lugar condensación exteriormente  
a los tubos y que drena desde la superficie bajo la in-  
fluencia de la gravedad.

10 De la técnica anterior son conocidas una diver-  
sidad de configuraciones de superficie que activan los  
regímenes de transferencia de calor en los procesos en los  
que intervienen la condensación, en que el condensado drena  
de la superficie bajo la influencia de la gravedad. La  
condensación por el lado de la envuelta en los cambiadores  
15 de calor de haces de tubos y envuelta, es un ejemplo de  
tales procesos.

20 En la obra de Gregorig "An Analysis of Film Con-  
densation on Wavy Surfaces" (Análisis de la condensación  
de película sobre superficies onduladas), Zeitschrift fuer  
Angewandte Mathematik und Physik, Vol. 4, páginas 40-49,  
se da a conocer un método que está basado en el gradiente  
de presiones asociado con las variaciones en el perfil de  
la superficie del líquido debidas a la tensión superficial.  
Sus principios generales han sido aplicados satisfactoria-  
25 mente para diseñar una serie de configuraciones que activan  
el régimen de transferencia de calor de condensación. La  
obra de Gregorig estaba basada en la condensación del vapor  
de agua y utilizaba una construcción de superficie de di-  
mensiones específicas, como viene indicado por sus deriva-  
ciones matemáticas, para obtener máximo rendimiento de con-  
30

1 densación. La superficie de Gregorig es para aplicación  
en la superficie de condensación exterior de tubos de con-  
densación orientados verticalmente y su configuración puede  
describirse como una serie de alternativas, de valles y  
5 crestas redondeadas que se extienden axialmente sobre la  
longitud del tubo. En las proximidades de la región de una  
cresta la convexidad de la superficie de transferencia de  
calor origina una sobrepresión de la presión del fluido  
de la película de condensado con relación a una superficie  
10 de líquido plana. La más alta presión del condensado es  
el resultado de su tensión superficial y de la curvatura  
convexa de la película. En la región de un "valle", existe  
una presión más baja debido a la curvatura cóncava de la  
superficie. Se establece un gradiente de presiones resul-  
15 tante en la dirección de cresta a valle, de modo que el  
líquido que se condensa en las proximidades de las crestas  
fluye fácilmente a los valles para fluir a su través bajo  
la influencia de la gravedad. El efecto general reduce al  
mínimo el grueso de la película de condensado en las cres-  
20 tas, con un aumento correspondiente del coeficiente de  
transferencia de calor.

Las superficies que se han desarrollado para  
explotar los principios de Gregorig implican configuracio-  
nes estriadas, provistas de aletas y acanaladas, y requie-  
25 ren una considerable alteración de la estructura principal  
de transferencia de calor y presentan inconvenientes tanto  
económicos como desde el punto de vista de fabricación.  
Como era de esperar, los sistemas reflejan la preocupación  
relativa a la facilidad con que se drena del sistema el  
30 condensado recogido, y quedan limitados a medios de drenaje

1 que constituyen un circuito de flujo sin obstáculos para  
la salida de condensado.

5 Una segunda solución para activar la transferencia  
de calor de condensación se refiere a medios para  
aumentar la turbulencia del fluido en la película de con-  
densado. En un estudio de una superficie hecha áspera me-  
diante el tallado de hilos de rosca a izquierdas y a dere-  
chas en la superficie exterior de una tubería, Nicol y  
Medwel ("Perfiles de Velocidad y Efectos de la Rugosidad  
10 en Tuberías Anulares", Journal Mech. Eng. Science, Vol. 6,  
nº 2, págs. 110-115, 1964) descubrieron que la relación de  
factor de fricción-número de Reynolds, se asemejaba a la  
de las tuberías a las que se había dado aspereza con arena  
estudiadas por Nikuradse ("Strömungsgesetze in rauhen  
15 Rohren", Forsch Arb. Ing. Wes. Nº 361, 1933). Es sabido  
que las superficies hechas ásperas con granos de arena  
estrechamente empaquetados de imagen de "espejo" activan  
la transferencia de calor perceptible por originar disrup-  
ción de la subcapa de la capa límite de fluido, reduciendo  
20 con ello su profundidad y su resistencia a la transferen-  
cia de calor (Dipprey, P. y Sabersky, R., "Heat and Momen-  
tum Transfer in Smooth and Rough Tubes at Various Prandtl  
Numbers", Int. Journal, Heat and Mass Transfer, Vol. 6,  
págs. 329-353, 1963). En consecuencia, en un estudio de  
25 la transferencia de calor de condensación de la superficie  
hecha áspera de Nicol-Medwell ("The Effect of Surface  
Roughness on Condensing Steam", Canadian Journal of Chem.  
Eng., págs. 170, 173, Junio, 1966), se analizaron los  
datos sobre la base del efecto favorecedor de la turbulen-  
30 cia que es sabido que las superficies hechas ásperas con

1 granos de arena ejercen sobre la subcapa laminar. Nicol y  
Medwell midieron coeficientes de transferencia de calor  
localizados que eran del 400% con respecto al comportamien-  
to de un tubo liso, aunque en la mayor extensión del tubo  
5 de 2,4 metros de largo ensayado se obtuvieron valores del  
orden de solamente el 200% del correspondiente al compor-  
tamiento de un tubo liso. Una activación de un 200% repre-  
senta una mejora marginal con relación a las característi-  
cas de comportamiento dadas a conocer para las superficies  
10 del tipo de Gregorig, y por lo tanto la tecnología de  
Nicol-Medwell no ha despertado interés comercial.

Un objeto de este invento es proporcionar un  
dispositivo de transferencia de calor activada que tiene  
un coeficiente de transferencia de calor de condensación  
15 sustancialmente más alto que el obtenido por la técnica  
anterior.

Otro objeto es proporcionar un dispositivo de  
transferencia de calor caracterizado por un alto coeficien-  
te de condensación, el cual es de fabricación relativamente  
20 económica sobre una base de producción en serie comercial.

Todavía otro objeto es proporcionar un cambiador  
de calor del tipo de haces de tubos y envuelta mejorado,  
caracterizado por medios de transferencia de calor de con-  
densación activada en la superficie exterior de los tubos.

25 Otros objetos y ventajas de este invento se  
pondrán de manifiesto de la descripción que sigue y de las  
reivindicaciones que se acompañan.

La Fig. 1 es una vista en planta, en fotomicro-  
grafía, mirando hacia abajo sobre una capa simple de cuer-  
30 pos metálicos distribuidos aleatoriamente que están unidos

1 cada uno a la superficie exterior de un substrato tubular, formando con ello un dispositivo de transferencia de calor de condensación activada de este invento (con cinco aumentos).

5 La Fig. 2 es una vista esquemática a escala ampliada mirando hacia abajo sobre un substrato de chapa metálica con tres cuerpos metálicos unidos a la misma.

10 La Fig. 3A es una vista en alzado, esquemática, a escala ampliada, de un substrato con un solo cuerpo metálico, ilustrándose la dimensión menor  $L_1$  del cuerpo metálico.

15 La Fig. 3B es una vista en alzado, esquemática, a escala ampliada, de un substrato con un solo cuerpo metálico, ilustrándose la dimensión mayor  $L_2$  del cuerpo metálico.

La Fig. 4 es una vista en alzado, esquemática, a escala ampliada, del substrato con cuerpos metálicos, ilustrándose el mecanismo de condensación y drenaje del invento.

20 La Fig. 5 es un diagrama de funcionamiento esquemático de un condensador principal de doble columna de separación de aire criógeno en el que se emplea el dispositivo de transferencia de calor activada de este invento para transferencia de calor de condensación.

25 La Fig. 6 es un gráfico de la relación de coeficiente de transferencia de calor de condensación  $h/h_u$  en función de la fracción de superficie de transferencia de calor activa  $A_a$  para Refrigerante 114 en un tubo vertical de 6 metros de longitud.

30 La Fig. 7 es un gráfico de la relación de coefi-

1 cientes de transferencia de calor de condensación  $h/h_u$  en  
función de la fracción  $A_a$  de la superficie de transferen-  
cia de calor activa para etileno en un tubo vertical de  
3 metros de longitud.

5 La Fig. 8 es un gráfico de la relación de coefi-  
cientes y de referencia de calor de condensación  $h/h_u$  en  
función de la fracción  $A_a$  de superficie de transferencia  
de calor activa para vapor de agua en un tubo vertical de  
6 metros de longitud.

10 La Fig. 9 es un gráfico de la media aritmética  
de las alturas  $e$  de los cuerpos que están sobre el substra-  
to en función de la fracción  $A_a$  de la superficie de trans-  
ferencia de calor activa para todos los fluidos de com-  
densación, en el que se ilustran la activación de trans-  
ferencia de calor óptima y el valor del 70% de la óptima.

15 Este invento se refiere a un dispositivo de  
transferencia de calor de condensación activada, un cam-  
biador de calor del tipo de haces de tubos y envuelta con  
una superficie de transferencia de calor activada en el  
20 lado exterior del tubo, y un método para activar la trans-  
ferencia de calor de condensación.

25 En los dispositivos de transferencia de calor  
de condensación activada de Nusselt de la técnica anterior,  
la dirección lógica ha consistido en reducir al mínimo la  
limitación del flujo de drenaje de líquido en los canales  
de flujo, proporcionando para ello canales rectos sin obs-  
táculos de longitud mínima, por ejemplo, gargantas o es-  
trías axiales en la superficie exterior de tubos orienta-  
dos verticalmente. Hemos descubierto que los tortuosos  
30 canales de drenaje de líquido característicos de este

1 invento no imponen una grave limitación al drenaje de con-  
densado. Las características de la transferencia de calor  
de condensación de este invento son favorables, si se com-  
5 paran con las características de la mejor de las superfi-  
cies de activación descritas en la técnica anterior y son  
superiores a las características de muchos de los canales  
de drenaje de la técnica anterior, con todos los cuales  
10 comparte las características comunes de ser rectos, abier-  
tos y sin obstáculos. Además, el presente dispositivo de  
transferencia de calor activada es sustancialmente más  
económico de fabricación, sobre una base de producción en  
serie comercial.

En el aspecto de aparato de este invento, se ha  
previsto un dispositivo de transferencia de calor activada  
15 que comprende un substrato metálico y una sola capa de  
cuerpos metálicos distribuidos aleatoriamente, cada uno de  
ellos unidos individualmente a una primera cara de dicho  
substrato, espaciados entre sí y rodeados sustancialmente  
por la primera cara del substrato de modo que se forme un  
20 espacio vacío de cuerpos, con la media aritmética de las  
alturas e de los cuerpos comprendida entre 0,127 mm y 1,524  
mm y el espacio vacío de cuerpos comprendido entre el 10%  
y el 90% del área total del substrato. Por las razones que  
aquí se analizan en lo que sigue, la media aritmética e de  
25 las alturas de los cuerpos está comprendida preferiblemen-  
te entre 0,254 mm y 1,016 mm, y el espacio vacío de cuer-  
pos está comprendido preferiblemente entre el 40% y el 80%  
del área total del substrato. En otra realización preferi-  
da, capas múltiples de partículas metálicas apiladas están  
30 unidas integralmente entre sí y a la cara del substrato

1 metálico que está opuesta a dicha primera cara, para  
formar poros interconectados de tamaño capilar que tienen  
un radio de poro equivalente menor que aproximadamente  
0,114 mm.

5 En relación con la preparación de dispositivos  
de transferencia de calor activada, los cuerpos metálicos  
pueden comprender, por ejemplo, una mezcla de cobre como  
componente principal y fósforo (un ingrediente de la alea-  
ción para soldadura fuerte) como componente secundario.  
10 En otra realización útil comercialmente, los cuerpos metá-  
licos pueden comprender una mezcla de hierro o cobre como  
componente principal, y fósforo y níquel (este último pa-  
ra resistencia a la corrosión) como componentes secunda-  
rios. En todavía otra realización en la que el substrato  
15 metálico es aluminio, los cuerpos metálicos pueden com-  
prender aluminio como componente principal y silicio (un  
ingrediente de la aleación para soldadura fuerte) como  
componente secundario.

20 En este invento se prevé además un cambiador de  
calor que tiene una multiplicidad de tubos metálicos ali-  
neados longitudinalmente espaciados transversalmente en-  
tre sí y unidos por los extremos opuestos por colectores  
de entrada de fluido y descarga de fluido, y medios de  
25 envuelta que rodean a dichos tubos que tienen medios para  
introducción de fluido y extracción de fluido, teniendo  
cada tubo un substrato de superficie interior y un subs-  
trato de superficie exterior. La mejora comprende una  
capa simple de cuerpos metálicos distribuidos aleatoria-  
mente, cada uno de ellos unido individualmente al subs-  
30 trato de la superficie exterior, espaciados entre sí y

1 rodeados sustancialmente por el substrato de la superficie  
exterior de modo que se forme un espacio vacío de cuerpos.  
La media aritmética de las alturas e de los cuerpos en el  
substrato de la superficie exterior está comprendida entre  
5 0,127 mm y 1,524 mm, y el espacio vacío de cuerpos está  
comprendido entre el 10% y el 90% del área total del subs-  
trato de la superficie exterior. Múltiples capas de parti-  
culas metálicas apiladas están unidas íntegramente entre  
sí y al substrato de la superficie interior para formar  
10 poros interconectados de tamaño capilar que tienen un radio  
de poro equivalente menor que aproximadamente 0,114 mm.

La solicitud de patente española divisional de  
la presente se refiere a un método para activar la trans-  
ferencia de calor entre un primer fluido a una primera  
15 temperatura de entrada y un segundo fluido a una segunda  
temperatura inicial, sustancialmente más fría que la pri-  
mera temperatura de entrada, en un cambiador de calor en  
el que el primer fluido es hecho fluir en contacto con  
una primera cara de un substrato metálico y es condensado,  
20 al menos parcialmente, por el segundo fluido más frío que  
hace contacto con la cara opuesta a dicha primera cara de  
dicho substrato metálico. Se ha previsto una capa simple  
de cuerpos metálicos distribuidos aleatoriamente, estando  
cada cuerpo unido individualmente a la primera cara del  
25 substrato, estando espaciados entre sí y rodeados sustan-  
cialmente por dicha primera cara del substrato de modo  
que se forme un espacio vacío de cuerpos. La media arit-  
mética de las alturas e de los cuerpos está comprendida  
entre 0,127 mm y 1,524 mm, y el espacio vacío de cuerpos  
30 está comprendido entre el 10% y el 90% del área total de

1 la primera cara del substrato. El primer fluido es hecho  
pasar en contacto con la capa simple de cuerpos metálicos  
para formar condensado sobre la parte exterior de los cuer-  
5 pos metálicos y drenar el condensado así formado del cam-  
biador de calor a través del espacio vacío de cuerpos. En  
una realización preferida de este método, el primer fluido  
es puesto en contacto con, y es condensado al menos par-  
cialmente por, la capa simple de cuerpos metálicos, con un  
coeficiente de transferencia de calor  $h$  tal que  $h/h_u$  vale  
10 al menos 3,0, siendo  $h_u$  el coeficiente de transferencia  
de calor de Nusselt, tal como se ha descrito en la obra  
"Heat Transmission" W. H. McAdams, págs. 259-261, McGraw-  
Hill Book Co., 1942. Como se ha indicado anteriormente,  
los métodos de condensación de la técnica anterior no han  
15 servido para obtener este nivel de mejora, de modo que el  
presente invento representa un avance sustancial en la  
técnica de la transferencia de calor de condensado.

La Fig. 1 es una fotomicrografía de una capa  
simple de cuerpos metálicos distribuidos aleatoriamente,  
20 cada uno de ellos unido a un substrato tubular. Esta  
superficie de capa simple fue preparada tamizando primera-  
mente polvo de cobre para obtener una fracción classifica-  
da por tamaños, es decir, que pasaba por el tamiz de 841  
micras de abertura de malla y era retenida en el de 595  
25 micras de abertura de malla, y la fracción separada fue  
recubierta con una solución al 50%, en peso, de poliiso-  
butileno en keroseno. Los granos de cobre recubiertos con  
la solución fueron mezclados con una aleación para solda-  
dura fuerte de fósforo-cobre que pasaba por el tamiz de  
30 44 micras de abertura de malla del 92% de cobre y el 8%

1 de fósforo, en peso, y en la relación de 80 partes de  
polvo de cobre a 20 partes de aleación de fósforo y cobre.  
El keroseno fue evaporado mediante aire en circulación  
forzada que calentaba el polvo recubierto. El polvo  
5 compuesto resultante consistía en partículas de aleación  
para soldadura fuerte de fósforo y cobre dispuestas unifor-  
memente sobre, y sujetas por el recubrimiento de poliiso-  
butileno a, la superficie de las partículas de cobre. El  
polvo estaba seco al tacto y fluía libremente. Un tubo de  
10 cobre de 19,05 mm de diámetro interior y 28,575 mm de  
diámetro exterior fue recubierto con una solución al 30%  
de poliisobutileno en keroseno y las partículas pre-recu-  
biertas fueron rociadas sobre la superficie exterior del  
tubo. El tubo fue horneado a 871°C durante 15 minutos en  
15 una atmósfera de amoníaco disociado, enfriado, y luego  
ensayado en cuanto a características de transferencia de  
calor como un dispositivo de transferencia de calor acti-  
vada.

Este método de pre-recubrimiento no es del invento  
20 sino del de Robert C. Borchert y está reivindicado en la  
de Patente española N.º 462.208 presentada el 8 de Septiem-  
bre de 1977, a nombre de la firma solicitante.

Es de hacer notar que los cuerpos metálicos  
distribuidos aleatoriamente pueden comprender una multipli-  
25 cidad de partículas unidas entre sí o bien una sola partí-  
cula relativamente grande.

El dispositivo de transferencia de calor antes  
descrito puede decirse que está caracterizado por el valor  
de  $e$ , siendo  $e$  la media aritmética de las alturas de los  
30 cuerpos sobre el substrato metálico. También está caracte-

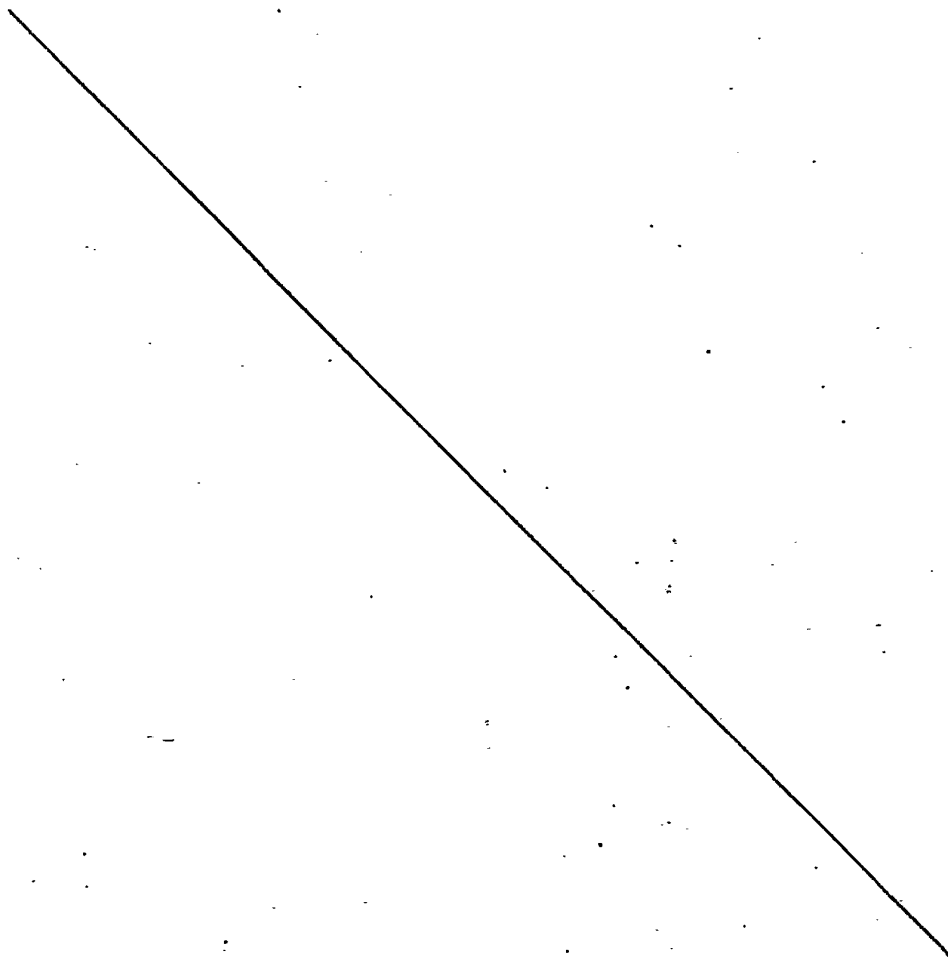
1 rizado por el tanto por ciento del espacio vacío de cuerpos  
con respecto al área total del substrato, es decir, por el  
tanto por ciento del área total del substrato no cubierta  
por la base de los cuerpos. Se ha determinado experimental-  
5 mente que  $e$  es sustancialmente equivalente a la media  
aritmética de la abertura de tamiz más pequeña a través de  
la cual pasan las partículas y de la abertura de tamiz más  
grande sobre la cual son retenidas tales partículas. Estas  
relaciones se han expuesto en la Tabla A, en la cual se  
10 pone de manifiesto que el valor de  $e$  para el dispositivo  
de transferencia de calor activada experimental antes  
descrito es de aproximadamente 711 micras.

15

20 -

25

30



1

TABLA A

	Tamiz Standard U.S. (Normal EE.UU)	Abertura (micras)	e micras
5	270	53	
	230	63	
	170	88	76 (pasan por el tamiz 170 y son retenidas por el 230)
10	120	125	
	100	149	137 (pasan por el tamiz 100 y son retenidas por el 120).
	80	177	165 (pasan por el tamiz 80 y son retenidas por el 100)
15	60	250	213 (pasan por el tamiz 60 y son retenidos por el 80).
	50	297	274 (pasan por el tamiz 50 y son retenidos por el 60).
20	40	420	358 (pasan por el tamiz 40 y son retenidos por el 50).
	30	595	505 (pasan por el tamiz 30 y son retenidos por el 40).
	20	841	711 (pasan por el tamiz 20 y son retenidos por el 30).
25			

25

Para la determinación del espacio vacío de cuerpos se amplía una vista en planta de la superficie de transferencia de calor activada, como se ha ilustrado por ejemplo en la fotomicrografía de la Fig. 1, y se determina mediante recuento visual el número de cuerpos metálicos

30

1 por unidad de área de substrato. Se observó experimental-  
mente que los cuerpos metálicos tienen una proyección plana  
circular, y el área proyectada plana de un cuerpo estaba  
5 basada en el diámetro de la proyección circular, propor-  
cionándose con ello una base para calcular el área ocupada  
por los cuerpos metálicos. El espacio vacío del dispositivo  
de transferencia de calor activada es el área sin ocupar  
y se ha expresado aquí como un tanto por ciento del área  
del substrato. Sobre esta base, el espacio vacío de cuerpos  
10 del dispositivo de transferencia de calor experimental  
descrito en lo que antecede era de aproximadamente el 30%  
del área total del substrato.

En la Fig. 2 se ilustran tres cuerpos metálicos  
a, b y c, dispuestos todos aleatoriamente sobre el subs-  
15 trato metálico, unidos al mismo y rodeados sustancialmente  
por el substrato metálico. En la Fig. 3A se ilustra un  
cuerpo metálico individual que tiene una dimensión menor o  
extensión lateral  $L_1$  sobre el substrato metálico, y en la  
Fig. 3B se ilustra un cuerpo metálico que tiene una dimen-  
20 sion mayor o extensión lateral  $L_2$ . Tanto  $L_1$  como  $L_2$  son  
paralelas al substrato metálico y perpendiculares a la  
altura  $e$ . En la Fig. 4 se ilustra el mecanismo de transfe-  
rencia de calor de condensación y de drenaje del presente  
invento en el que la convexidad de los cuerpos metálicos  
25 en sus crestas actúa para aumentar el área superficial del  
líquido. Las fuerzas de tensión superficial sobre la pelí-  
cula convexa  $\Delta_o$  en tales crestas son resistidas por el  
metal que hay debajo, poniendo con ello al líquido de tal  
película convexa  $\Delta_o$  bajo presión. En contraposición, la  
30 presión de fluido en las proximidades del canal de flujo

1  $\Delta$  o canaleta es reducida, debido a la superficie cóncava  
del líquido. La diferencia de presiones de fluido hace que  
el líquido fluya desde la cresta del cuerpo metálico o ex-  
5 tremidad exterior al canal de flujo, y, en funcionamiento  
continuo, actúa en el sentido de adelgazar la película  $\Delta_0$   
en la extremidad exterior, activando con ello la transfe-  
rencia de calor en la superficie convexa. El condensado  
que se recoge en los canales de flujo  $\Delta$  dreña desde el dis-  
positivo de transferencia de calor bajo la influencia de  
10 la gravedad.

El dispositivo de ensayo de transferencia de  
calor descrito en lo que antecede que tiene una  $e$  de apro-  
ximadamente 0,711 mm y un espacio vacío de cuerpos de apro-  
ximadamente el 70%, o bien una superficie de transferencia  
15 de calor activa de  $A_a$  de 0,30, se denomina aquí en lo que  
sigue como Muestra Número 1. Se preparó un segundo dispo-  
sitivo de ensayo de transferencia de calor activada a partir  
de los mismos polvos anteriormente descritos y del mismo  
procedimiento de recubrimiento previo, pero el polvo de  
20 cobre pasaba a través del tamiz de 595 micras de abertura  
de malla y era retenido por el de 420 micras de abertura  
de malla. El dispositivo resultante (denominado aquí en lo  
que sigue como Muestra N<sup>o</sup> 2) tenía un valor de  $e$  de 0,508  
mm y un espacio vacío de cuerpos del 50%, o bien una su-  
25 perficie de transferencia de calor de condensación activa  
 $A_a$  de 0,50. Las Muestras N<sup>os</sup>. 1 y 2 fueron ensayadas en un  
sistema donde se condensaron tanto vapor de agua como Re-  
frigerante-114 en contacto con la capa simple de cuerpos  
metálicos. Puesto que estos dos fluidos representan una  
30 amplia gama de tensiones superficiales, las conclusiones

1 de estos ensayos son aplicables para sustancialmente todos  
los fluidos. Los tubos estaban orientados verticalmente,  
se varió la aportación de calor al hervidor o caldera, y se  
5 midieron la temperatura de la pared del tubo y la diferen-  
cia de temperaturas de condensación en condiciones de régi-  
men constante.

Se desarrolló un modelo matemático para la su-  
perficie de capa simple de cuerpos metálicos como la ilus-  
trada en la Fig.4, en la que el drenaje se describe como  
10 condición de flujo del tipo de Nusselt modificada para  
acomodar la dispersión aleatoria de los cuerpos. El área  
 $A_a$  de transferencia de calor potencialmente activa es una  
función directa de aquella fracción del área total del  
substrato  $A_t$  sobre la cual descansan los cuerpos metálicos  
15 y, por consiguiente, se hace necesario hacer máximo el  
valor de  $A_a$ . No obstante, el área ocupada por cuerpos me-  
tálicos no está disponible para la eliminación de conden-  
sado. A cualquier elevación de la superficie del substrato  
orientada verticalmente, el área del espacio vacío de  
20 cuerpos restante debe ser mantenida suficiente como para  
conducir por gravedad a todo el condensado que se acumula  
como consecuencia de la condensación que tiene lugar en  
el área activa  $A_a$  a elevaciones mayores. Cuanto menor sea  
el área vacía de cuerpos prevista, tanto más profunda será  
25 la capa que fluya del condensado acumulado. A medida que  
se va haciendo más profunda la capa, quedará cada vez más  
área activa  $A_a$  sumergida en el condensado y pasará a ser  
ineficaz. Por consiguiente, puede verse que la fracción  
activa  $A_a$  de la superficie  $A_t$  del substrato no puede ser  
30 aumentada sin límite, o los cuerpos metálicos que ocupan

1 tal fracción activa contendrán en efecto el flujo del  
líquido y favorecerán su propia inmersión. En la práctica  
general de este invento, el espacio vacío de cuerpos metá-  
5 licos deberá ser de al menos el 10%. y de preferencia de  
al menos el 40%. Dicho de otro modo, los cuerpos metálicos  
no deben comprender más del 90% del área total del subs-  
trato y, preferiblemente, no más del 60% de la misma.

Las limitaciones en cuanto a la fracción del  
área total del substrato  $A_t$  que puede ser cubierta u ocu-  
10 pada eficazmente por los cuerpos metálicos, están además  
influenciadas por el tamaño de los cuerpos metálicos. Las  
formas más prácticas de cuerpos metálicos se acercan o se  
aproximan a las formas esférica o semiesférica, en las que  
un aumento de la altura  $e$  entraña un aumento asociado en  
15 el área de la superficie del substrato cubierta por el  
cuerpo metálico. Así, a medida que el tamaño del cuerpo  
metálico se va haciendo menor, su altura  $e$ , y por consi-  
guiente sus salientes por encima de la capa que fluye de  
condensado, se hacen menores. Recíprocamente, a medida que  
20 el tamaño del cuerpo metálico aumenta, lo que sobresale  
por encima de la capa de condensado aumenta también.

El hecho de que las formas de cuerpos metálicos  
se acerquen o se aproximen usualmente a las formas esféri-  
ca o semiesférica, tiene una influencia adicional sobre  
25 las características de comportamiento. Cuanto mayor sea el  
cuerpo metálico, tanto mayor será el radio de curvatura del  
área activa  $A_a$  y tanto menores y menos eficaces serán las  
fuerzas que producen un efecto de adelgazamiento de la  
película o desprendimiento de la película sobre el área  
30 activa. Recíprocamente, cuanto menor sea el cuerpo metálico

1    tanto más intensos son tales efectos de adelgazamiento de  
la película.

5           Los anteriores factores actúan en reciprocidad  
entre sí para limitar el área activa, de la siguiente ma-  
nera: a fin de conseguir fracciones muy altas de área ac-  
tiva, que se aproximen al 90%, deberá aumentarse parale-  
lamente el tamaño de los cuerpos  $e$  hacia el valor de  
1,524 mm. Esto es necesario a fin de obtener salientes  
suficientes de los cuerpos por encima de la capa de con-  
10    densado como para que no quede sumergida el área activa.  
No obstante, el gran radio de curvatura de tales cuerpos  
grandes hace que el área activa sea menos eficaz para  
adelgazar la película de condensado. Por consiguiente, un  
aumento por incrementos en el área activa en este régimen  
15    va acompañado por una disminución por incrementos en la  
eficacia de toda el área activa, y por una pérdida neta  
en la activación de la transferencia de calor.

20           Hay razones adicionales por las cuales el área  
activa  $A_a$  y la altura  $e$  del cuerpo no deberán exceder del  
90% ni de 1,524 mm, respectivamente. Los cuerpos grandes  
tienden a ser más difíciles de unir firmemente al substra-  
to que los cuerpos pequeños. Los cuerpos grandes y la gran  
área activa asociada representan un requisito sustancial  
25    para las partículas metálicas para producir la superficie  
activada, y los costes de fabricación aumentan grandemente.  
Las elevadas fracciones de área activa son sumamente difí-  
ciles de conseguir sin apilar localizadamente los cuerpos  
unos sobre otros y puenteando a través del área vacía. Fi-  
nalmente, los cuerpos grandes aumentan el diámetro total  
30    de los elementos de transferencia de calor tubulares, com-

1 aplicando con ello grandemente el montaje de tales elementos en hojas de haces de tubos, y aumentando además significativamente el tamaño total de los cambiadores de calor.

5 Si se emplean cuerpos metálicos muy pequeños, su radio de curvatura será pequeño y su efecto de adelgazamiento de película muy intenso. No obstante, lo que sobresalen por encima de la superficie del substrato es poco, requiriendo por consiguiente una gran área vacía de modo que la capa de condensado que fluye sea de poca profundidad. Por consiguiente, se ve que los cuerpos metálicos  
10 pequeños van necesariamente asociados con una pequeña área activa. Análogamente, una pequeña área activa va necesariamente asociada con cuerpos pequeños, puesto que una pequeña área activa debe estar compensada por la alta eficacia de adelgazamiento de película de los cuerpos metálicos pequeños.  
15

Los anteriores factores, más otros que se describirán, tienden a limitar la práctica del invento a espacios vacíos que no excedan del 90%, o a áreas activas  $A_a$   
20 no inferiores al 10% y a los correspondientes tamaños de cuerpos o valores de  $e$  no menores que 0,127 mm. Para fracciones menores de área activa y con valores inferiores asociados de  $e$ , los efectos de inmersión tienden a contrarrestar con mucho cualquier mejora en los efectos de adelgazamiento de la película, y las características de comportamientos generales disminuyen bruscamente. Se considera  
25 que las ondulaciones o la turbulencia en la capa de condensado que fluye sumerge reiterativamente a los pequeños cuerpos y reduce muy considerablemente su eficacia.

30 La acusada pérdida de características antes men-

1 cionada, consiguiente al uso de áreas activas muy pequeñas,  
hace que sea bastante difícil el control de calidad de los  
dispositivos de condensación activados. La disminución de  
características para una ligera deficiencia en área activa  
5 puede ser muy importante.

Otra razón para limitar el espacio vacío de cuer-  
pos al 90% (o bien el área activa  $A_a$  a por lo menos el 10%)  
y el tamaño de los cuerpos (o  $e$ ) a por lo menos 0,127 mm,  
es que las partículas diminutas tienen bastante propensión  
10 a aglomerarse y formar racimos durante el curso de la apli-  
cación de la capa simple de cuerpos a la superficie del  
substrato. La formación de tales racimos deja espacios  
vacíos relativamente grandes, en los que la capa límite  
laminar puede ser reformada y unirse a la superficie del  
15 substrato, anulándose con ello el efecto de activación.

Finalmente, los cuerpos metálicos pequeños son  
más sensibles a la erosión y a la corrosión. La vida de  
servicio de los cambiadores de calor en los que se emplean  
dispositivos activados con cuerpos metálicos de altura me-  
20 nor que 0,127 mm puede por tanto ser prohibitivamente  
corta.

En la Tabla B se resumen los datos de los ensayos  
anteriormente descritos con Refrigerante-114 y con vapor  
de agua en ebullición para diferentes flujos de calor  
25 para las Muestras N.ºs 1 y 2, y se comparan las mismas con  
las características de comportamiento previstas basadas  
en el modelo matemático antes descrito. Los datos respal-  
dan la validez del modelo matemático. El valor eficaz de  
la desviación de los datos experimentales con respecto a  
30 los coeficientes previstos es menor que el 25% y no toman-

1 do en consideración los datos para vapor de agua para valores de Q/A de 8.137 cal/hora/cm<sup>2</sup> y de 5.425 cal/hora/cm<sup>2</sup>, el valor eficaz de la desviación es de menos del 15%.

TABLA B

5	Q/A Cal/h/cm <sup>2</sup>	Composición del Vapor	Muestra Nº	Medido $\Delta T$ °C	Previsto $\Delta T$ °C	Nusselt $\Delta T$ °C
	1627	Refrigerante R-114	2	6,11	5,38	30,00
	1356	"	2	4,67	4,11	23,33
	1085	"	2	3,44	2,94	14,44
10	814	"	2	2,28	--	11,67
	1627	"	1	6,67	7,22	30,00
	1356	"	1	5,83	5,61	23,33
	1085	"	1	5,00	4,11	14,44
	8137	Vapor de agua	1	2,56	1,44	11,67
15	5425	"	1	1,61	0,83	6,78
	4069	"	1	0,56	0,56	4,61

Se usó el modelo matemático para estudiar una superficie de capa simple de cuerpos metálicos en la cual los valores  $e$ ,  $L_1$  y  $L_2$  son iguales entre sí y la extremidad exterior del cuerpo metálico tiene una configuración geométrica semiesférica. En este estudio, se determinó la relación de coeficientes de transferencia de calor de condensación  $h/h_u$  para valores de  $e$  de 0,254, 0,508, 0,762 y 1,016 mm, como función de la fracción de transferencia de calor activa  $A_a$  de una superficie de capa simple de cuerpos metálicos. Estas relaciones fueron establecidas para Refrigerante-114 en un tubo vertical de 6 metros de longitud (Fig. 6), para etileno en un tubo vertical de 3 metros de longitud (Fig. 7) y para vapor de agua en un tubo vertical de 6 metros de longitud (Fig. 8). En cada caso,

1 el diámetro del tubo no es una consideración que haya de  
tomarse en cuenta, dado que los coeficientes están basados  
en el área superficial total.

5 En las Figs. 6-8 se ilustra que para un valor  
dado de la altura  $e$  de los cuerpos metálicos, el coeficien-  
te de transferencia de calor de condensación  $h$  es máximo  
para un valor óptimo  $A_a$  del área de superficie de transfe-  
rencia de calor activa. Las superficies que tienen valores  
de  $A_a$  menores que el valor óptimo tienden a ser deficien-  
10 tes en el número de cuerpos metálicos por unidad de área  
total del substrato. Las superficies con valores  $A_a$  de  
transferencia de calor activa mayores que los requeridos  
para óptimas características, tienden a tener un exceso  
de cuerpos metálicos que origina una disminución de las  
15 características de drenaje. El subsiguiente aumento de la  
profundidad del condensado origina una inundación parcial  
o total de la cresta del cuerpo metálico por líquido, ais-  
lándose por tanto una parte significativa del área  $A_a$  de  
transferencia de calor activa en potencia.

20 En las Figs. 6-8 se ilustra también la base para  
los márgenes amplio y estrecho de este invento para el  
espacio vacío de cuerpos y la altura  $e$  de los cuerpos dis-  
ponibles. A modo de ejemplo, con referencia a la Fig. 6  
si se selecciona una altura  $e$  de 0,508 mm, la relación de  
25 coeficientes de transferencia de calor de condensación  
 $h/h_u$  será relativamente baja si  $A_a$  es menor que 0,1 ó mayor  
que 0,9. Además, la más alta relación de transferencia de  
calor de condensación se obtendrá si se selecciona un val-  
lor de  $A_a$  dentro del margen preferido comprendido entre  
30 0,2 y 0,6, es decir, un espacio vacío de cuerpos compren-

1 dido entre el 40% y el 80% del área total del substrato.  
También, a modo de ilustración usando la Fig. 7, las más  
5 elevadas relaciones de transferencia de calor de condensación se consiguen con ambas alturas de cuerpo dentro del  
margen de 0,254 mm y 1,010 mm. Dicho de otro modo, los  
valores de  $e$  por debajo de 0,254 mm y por encima de 1,016  
10 mm parecerían proporcionar relaciones de transferencia de calor de condensación menores que para las superficies de capa simple de cuerpos metálicos dentro de ese margen preferido.

La Fig. 9 se obtuvo de los datos de las Figs. 6-8 y de datos adicionales que se desarrollaron con aplicación del modelo matemático a los tubos de transferencia de calor cuyas longitudes variaban de 1,5 a 6 metros. Los  
15 gráficos de la Fig. 9 se obtuvieron seleccionando puntos correspondientes a valores de altura de cuerpo  $e$  y de  $A_a$  en los que se obtenía máxima activación de la transferencia de calor por condensación, representando gráficamente los mismos e interconectando los puntos por una línea  
20 recta identificada como la de "activación óptima". La ecuación de esta línea se obtuvo como  $A_a = 0,66 e^{0,53}$ . Por consiguiente, para el uso en la práctica se puede primeramente seleccionar la altura de cuerpo deseada  $e$  y usar luego la línea para identificar el valor de  $A_a$  que proporciona la máxima activación de transferencia de calor de condensación para la altura de cuerpo  $e$  seleccionada. La  
25 segunda línea del gráfico de la Fig.9 denominada "70 por ciento de la óptima" fue obtenida situando primeramente un punto en las abscisas  $A_a$  de cada curva de altura  $e$  de  
30 cuerpos metálicos de las Figs. 6-8 que fuese el 70 por

1 ciento de la activación  $h/h_u$  de transferencia de calor de  
condensación máxima. Estos puntos fueron representados  
gráficamente e interconectados para formar la segunda lí-  
nea. La fórmula para esta se obtuvo como  $A_a = 0,23 e^{0,72}$ .  
5 Esta línea es de utilidad para evaluar en la práctica el  
efecto en las características de actuación del uso de sus-  
tancialmente menos cuerpos metálicos de una altura  $e$  para  
formar un dispositivo de transferencia de calor activada  
de capa simple de cuerpos metálicos menos costoso.

10 Es importante comprender que la superficie de  
los cuerpos metálicos de la capa simple de este invento  
es bastante diferente de una superficie de ebullición po-  
rosa de múltiples capas, es decir, como la que se describe  
15 en la Patente para los EE.UU. n.º 3.384.154 de Milton, en  
la cual las partículas metálicas están apiladas y unidas  
integralmente entre sí y a un substrato metálico para  
formar poros interconectados de tamaño capilar. Las super-  
ficies de ebullición porosas no serían adecuadas para  
transferencia de calor de condensación a la manera de este  
20 invento debido a que su estructura de poros de intercone-  
xión inhibiría un drenaje eficaz de condensado líquido  
desde el cambiador de calor.

25 Por otra parte, se pueden emplear ventajosamente  
superficies de múltiples capas de ebullición porosas en  
combinación con la superficie de cuerpos metálicos de una  
capa simple cuando el segundo fluido haya de ser hecho  
hervir en relación de intercambio de calor con el primer  
fluido de condensación.

30 En los procesos en los que interviene la conden-  
sación sobre tubos lisos, el coeficiente de transferencia

1 de calor de condensación individual es típicamente del  
orden de  $244 \text{ cal/hora/cm}^2/^{\circ}\text{C}$ . En consecuencia, el coefi-  
ciente total conseguido en los cambiadores de calor que  
están dotados de tubos lisos es de aproximadamente 161  
5  $\text{cal/hora/cm}^2/^{\circ}\text{C}$  y los cambiadores de calor provistos de  
una superficie de condensación activada de este invento  
que proporciona una mejora del 400% del coeficiente del  
lado de condensación, proporcionará una mejora del 200%  
del coeficiente de transferencia de calor total. No obstan-  
10 te, se pueden conseguir coeficientes de ebullición de  
 $5.858 \text{ cal/hora/cm}^2/^{\circ}\text{C}$  usando la superficie de múltiples  
capas porosa y, por consiguiente, una mejora del coeficien-  
te de transferencia de calor de condensación desde el  
valor correspondiente a tubos lisos de  $244 \text{ cal/hora/cm}^2/^{\circ}\text{C}$   
15 tendrá un efecto casi proporcional sobre el coeficiente de  
transferencia de calor total, proporcionando con ello unos  
medios para fabricar equipo con un coeficiente total de  
varios miles de  $\text{cal/hora/cm}^2/^{\circ}\text{C}$ .

La Fig. 5 es un diagrama de funcionamiento es-  
quemático que sirve de ejemplo de una aplicación comercial  
20 de nuestro invento en un condensador principal de doble  
columna de separación de aire criógeno para transferencia  
de calor de condensación. Se introduce una alimentación  
de aire frío a través del conducto 10 a la base de la  
columna 11 inferior de más alta presión, donde asciende  
25 contra el líquido enriquecido en oxígeno que desciende en  
relación de transferencia de masa usando platos de desti-  
lación espaciados 12. El vapor de nitrógeno que llega al  
extremo superior de la columna inferior 11 entra en el  
30 condensador principal 13 y es condensado por transferencia

1 de calor contra el oxígeno líquido en ebullición en la ba-  
se de la columna 14 superior de más baja presión, para  
proporcionar líquido de reflujo para la columna inferior.  
El dispositivo de transferencia de calor activada de este  
5 invento está previsto en el lado del nitrógeno de más alta  
presión del condensador principal 13. Si se desea se pue-  
den prever capas múltiples de partículas porosas, según  
se describe en la Patente para los EE.UU. número 3.384.154  
de Milton en el lado correspondiente al oxígeno del conden-  
10 sador principal.

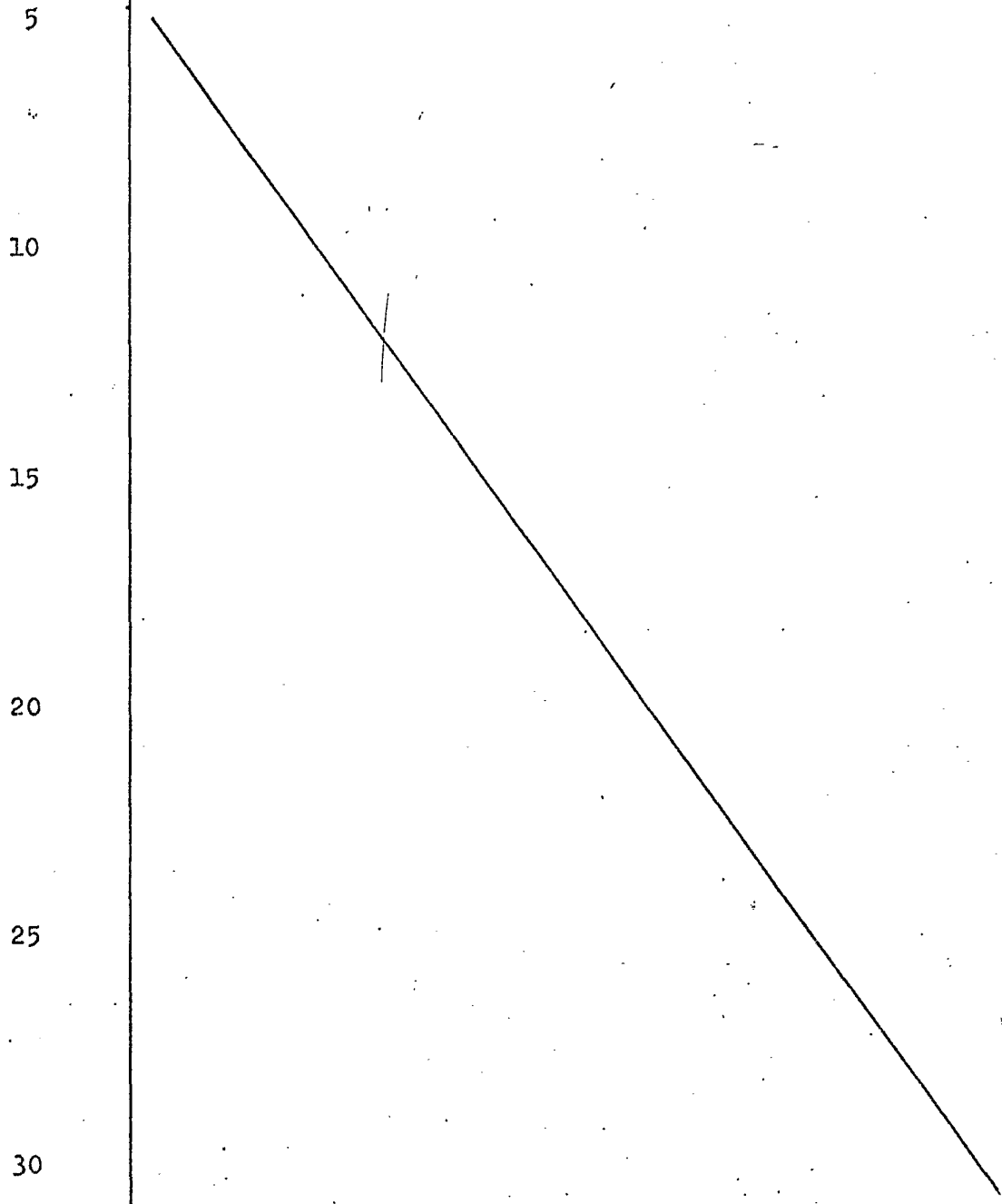
En la práctica de este invento, los materiales  
de construcción vienen impuestos por consideraciones eco-  
nómicas y por exigencias funcionales relativas a, por  
ejemplo, resistencia a la corrosión y/o resistencia a la  
15 erosión.

La superficie de cuerpos metálicos de la muestra  
de ensayo descrita en lo que antecede comprendía cobre  
como componente principal y fósforo como componente secun-  
dario. Otras combinaciones de importancia comercial com-  
prenden hierro como componente principal y níquel como  
20 componente secundario y aluminio como componente principal  
y silicio como componente secundario.

El dispositivo de transferencia de calor de con-  
densación activada de este invento ha sido descrito espe-  
25 cíficamente como aplicado a la superficie exterior de los  
tubos, pero puede emplearse ventajosamente con substratos  
metálicos de cualquier forma, incluidas las placas planas  
y las formas irregulares.

Aunque se han descrito con detalle realizaciones  
30 particulares del invento, comprenderán los expertos en la

1 técnica de la transferencia de calor que se pueden llevar  
a la práctica ciertas características sin otras, y que  
están previstas modificaciones, todo ello dentro del al-  
cance de la reivindicaciones.



1

REIVINDICACIONES

5

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

10

1ª. Un dispositivo de transferencia de calor activada que comprende un substrato metálico y una capa simple de cuerpos metálicos distribuidos aleatoriamente, cada uno de ellos unido individualmente a una primera cara de dicho substrato espaciados entre sí y rodeados sustancialmente por la primera cara del substrato para así formar un espacio vacío de cuerpos, estando la media aritmética e de las alturas de los cuerpos comprendida entre 0,127 mm y 1,524 mm y estando comprendido el espacio vacío de cuerpos entre el 10% y el 90% del área total de la primera cara del substrato.

15

20

2ª. Un dispositivo según la reivindicación 1ª, en el que la media aritmética e de las alturas de los cuerpos está comprendida entre 0,254 mm y 1,016 mm.

25

3ª. Un dispositivo según la reivindicación 1ª, en el que el espacio vacío de cuerpos está comprendido entre el 40% y el 80% del área total del substrato.

4ª. Un dispositivo según la reivindicación 1ª, en el que la primera cara de dicho substrato metálico es la superficie exterior de un tubo.

30

5ª. Un dispositivo según la reivindicación 1ª, en el que la primera cara de dicho substrato metálico es

1 la superficie exterior de un tubo y el diámetro exterior de dicho tubo está comprendido entre 15,24 mm y 50,8 mm.

5 6ª. Un dispositivo según la reivindicación 1ª, en el que capas múltiples de partículas metálicas apiladas están unidas integralmente entre sí y a la cara de dicho substrato metálico opuesta a dicha primera cara para formar poros interconectados de tamaño capilar que tienen un radio de poro equivalente menor que aproximadamente 0,114 mm.

10 7ª. Un dispositivo según la reivindicación 1ª, en el que la superficie interior de dicho tubo está provista con múltiples capas de partículas metálicas apiladas unidas integralmente entre sí y a dicha superficie interior para formar poros interconectados de tamaño capilar que tienen un radio de poro equivalente menor que aproximadamente 0,114 mm.

15 8ª. Un dispositivo según la reivindicación 1ª, en el que una multiplicidad de partículas unidas entre sí constituyen dichos cuerpos metálicos.

20 9ª. Un dispositivo según la reivindicación 1ª, en el que dichos cuerpos metálicos comprenden una mezcla de cobre como componente principal y fósforo como componente secundario.

25 10ª. Un dispositivo según la reivindicación 1ª, en el que dichos cuerpos metálicos comprenden una mezcla de hierro como componente principal y fósforo y níquel como componentes secundarios.

30 11ª. Un dispositivo según la reivindicación 1ª, en el que dichos cuerpos metálicos comprenden una mezcla de cobre como componente principal y fósforo y níquel

1 - como componentes secundarios.

5 12ª. Un dispositivo según la reivindicación 1ª, en el que una multiplicidad de dichos tubos están alineados longitudinalmente espaciados transversalmente entre sí y unidos por los extremos opuestos por colectores de entrada de fluido y de descarga de fluido, con medios de envuelta que rodean a dichos tubos que tienen medios para introducir fluido y para extraer fluido.

10 13ª. Un dispositivo según la reivindicación 1ª, en el que dichos cuerpos metálicos comprenden una mezcla de aluminio como componente principal y silicio como componente secundario.

15 14ª. "UN DISPOSITIVO DE TRANSFERENCIA DE CALOR ACTIVADA"

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

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

20

Madrid, 19. NOV. 1977

P.A.

Alberto de Elzabure  
Por Feder,



25

30