

(19) ES (11) (21) (22)	NUMERO 285812	(16) Y
	FECHA DE PRESENTACION 19 AGO. 1983	



ESPAÑA

Ref.: FJS-6221

MODELO DE UTILIDAD

1- ENE. 1986

(30) PRIORIDADES: (31) NUMERO 409.785	(32) FECHA 20 Agosto 1.982	(33) PAIS U.S.A.
---	-------------------------------	---------------------

(47) FECHA DE PUBLICIDAD	(51) CLASIFICACION INTERNACIONAL B22C 9/22, 1/00
--------------------------	---

(54) TITULO DE LA INVENCIÓN "MOLDE DE CERAMICA PERFECCIONADO"
--

(71) SOLICITANTE (S) UNITED TECHNOLOGIES CORPORATION

DOMICILIO DEL SOLICITANTE 1 Financial Plaza Hartford, Connecticut 06101 U.S.A.

(72) INVENTOR (ES) Arnold Stephen GROT

(73) TITULAR (ES) UNITED TECHNOLOGIES CORPORATION
--

(74) REPRESENTANTE D. JAIME ISERN CUYAS, Agente Oficial de la Propiedad Industrial.
--

MEMORIA DESCRIPTIVA

La presente invención se refiere a un molde construido de material de cáscara cerámica en capas, para contener metal fundido durante la solidificación direccional de un artículo fundido monocristal, en donde se origina un diedro de solidificación para moverse progresivamente a través del metal fundido y a un procedimiento de construcción de este molde.

En el procedimiento de solidificación direccional para fundir metales, se emplea el enfriamiento controlado para originar un diedro de solidificación que se mueva progresivamente a través de un molde cerámico lleno de metal fundido. Pueden fundirse los artículos monocristales, los que tienen un sólo grano, por medio de la realización de tecnología más avanzada de este procedimiento. La situación actual de la tecnología de la fusión monocristal es que siguen haciéndose descubrimientos y perfeccionamientos; pero los nuevos descubrimientos son bastante más sutiles que los descubrimientos hechos en el pasado. Sin embargo, son importantes porque la economía de la fusión se determina significativamente por la facilidad con que se producen buenos fundidos monocristales.

Aun cuando haya variaciones en el modo como se forman los fundidos monocristales, en todos ellos debe crearse un frente o diedro de solidificación que tenga la estructura de cristal deseada dentro del metal fundido de la fusión. Uno de los intentos para lograrlo consiste en originar que el diedro se mueva a través de puntos muy pequeños y confinados del molde como se ilustran en la patente EE.

UU. num. 1 793 672 de Bridgman y la patente num. 4 015 657 de Petrov, para originar un solo grano o cristal en predominio. Otro método que es algo más eficiente porque exige menos altura vertical del molde se describe en las patentes EE.UU. 3 494 709 y 3 536 121 de Pearcey. Se origina el diedro de solidificación que pase a través de un paso zigzag del molde; el cambio de dirección resultante origina una selección rápida de un solo grano desde una serie de granos columnares que se iniciaron en un disipador de calor. En un perfeccionamiento de cuanto antecede, se emplea una forma de espiral, como se describe en la patente num. 3 625 275 de Copley y otros. Se emplea un tubo helicoidal para originar el crecimiento monocristal dentro de un fundido.

Generalmente, el fenómeno resultante en un monocristal cuando se origine un diedro de solidificación que se mueva a través de una espiral se describe en la patente num. 3 524 636 de Copley y otros y en la solicitud pendiente num. de serie 343 084 presentada el 27 Enero 1982 por Giamei y otros y con cesionario común. En la patente num. 3 524 636 y en otras partes, se dice que la sección espiral e incluso toda la sección del artículo del molde debe rodearse de una segunda estructura de cáscara cerámica, llenando el espacio intermedio con metal fundido. Esta configuración llamada "capullo" se empleó para mejorar los gradientes térmicos y evitar la nucleación extraña en la espira, que conduzca a los defectos cristalográficos en el fundido. En este momento se emplean concepciones de molde

y condiciones de horno estudiadas para reducir los defectos de los cristales. En lo que se refiere a las formas de espiral, se ha tendido a tener pasos estrechos puesto que los pasos se concibieron como ventajosos de acuerdo con otros trabajos citados anteriormente. Las formas presentadas en las patentes de Hayes, Day y otros y Burd y otros, son representativas de las geometrías de las espirales de la práctica actual.

Generalmente, se han construido moldes con espirales mediante el procedimiento tan conocido de "cera perdida". Se depositan capas de material cerámico en un modelo de cera, que luego se retiran. Antes de la fusión, se monta el molde de cáscara cerámico hueco sobre una placa de coquilla metálica fría como se ilustra en las anticipaciones anteriores. La configuración del molde es de modo que muy cerca de la placa de coquilla existe una cavidad adaptada para recibir el metal fundido y promover la iniciación de la solidificación direccional conforme crece el grano columnar. Inmediatamente encima de la cavidad se halla la sección selectora helicoidal que convierte el crecimiento del grano columnar en crecimiento monocristal. Encima de la sección helicoidal se halla la cavidad del artículo con su mazarota correspondiente. En consecuencia, todo el peso de la parte del artículo del molde es sostenido por la espiral relativamente frágil que la conecta a la sección de comienzo. Al llenarse el molde con metal fundido, este peso puede ser considerable y romper la espiral antes y du-

rante la ejecución de la fusión. Por consiguiente, se han empleado varias técnicas para evitar el problema de las roturas.

La patente EE.UU. num. 4 133 368 de Hayes señala una solución, se conforma previamente la sección espiral con un material cerámico monolítico fuerte que luego se incorpora al molde. La patente EE.UU. num. 4 111 252 de Day y otros presenta un molde similar al de Hayes, la zona de paso espiral del mismo se halla completamente llena de material cerámico del molde. Las desventajas de estos intentos residen en el coste del formado previo, en los aspectos mecánicos de incluir un formado previo dentro del mismo molde y los efectos de termotransferencia adversos de la cerámica densa que rodea el paso espiral.

Otra de las soluciones propuestas ha consistido en aportar un soporte estructural al molde, independiente de la sección helicoidal. Por ejemplo, se disponen columnas verticales desde la placa de coquilla hasta las partes de la cavidad del artículo para compartir parte de la carga y proporcionar estabilidad al molde con respecto a cualesquiera momentos de curvado que pudieran imponerse a la sección helicoidal. Este intento es eficaz, pero precisa de trabajos adicionales en la construcción de los moldes. Por añadidura, si las columnas se colocaran indebidamente, podrían perturbar los gradientes térmicos deseados que conducen a una buena solidificación direccional.

Otra de las soluciones, antes citadas, ha sido formar intencionadamente un pequeño capullo alrededor de la

espiral para tener un cilindro cerámico estructural que rodee la sección espiral. Esta también es eficaz, pero precisa de trabajos complementarios importantes en la construcción del molde. Y otra de las soluciones es la presentada en la patente EE.UU. num. 4 180 119 de Burd y otros en donde la cera de la parte helicoidal del modelo se enrolla alrededor de una varilla cerámica monolítica formada previamente. Este intento tiene la esencia de la sencillez y parece eficaz. Pero no comprende la adición de otro elemento en el molde, como ocurre en el formado previo.

Aun cuando se hayan elaborado fundidos monocristales con toda eficacia empleando las técnicas anteriores, todavía siguen deseándose mejoras en sencillez y rendimiento de las fusiones.

Constituye un objeto de la invención construir moldes de cáscara cerámicos para la fusión de artículos monocristal, en donde los moldes de cáscara contienen una sección de comienzo con paso helicoidal, y sean resistentes y al mismo tiempo fáciles de construir y configurar para obtener buenos rendimientos de la fusión.

Según la invención, el molde de cáscara cerámico para solidificación direccional de un monocristal comprende una sección de comienzo, una sección de artículo y una sección selectora, que conecta la sección de comienzo con la sección de artículo. La sección selectora tiene un paso de forma helicoidal con el paso de espiral de mo-

do que la separación entre las vueltas contiguas sea menor que dos veces el espesor de la cáscara en el exterior del paso. Como ejemplo de la invención, se reviste un modelo de cera que define un paso de espiral repetidamente con 5 capas de cerámica hasta que coincidan las capas de las vueltas contiguas de la espiral. Luego, con el continuo aumento de las capas cerámicas, las capas subsiguientes formarán una cáscara cerámica de enfriamiento local en todo el diámetro exterior de la espira, dándole así resistencia. Preferiblemente, el espacio entre las vueltas contiguas sufrirá un enfriamiento local cuando el molde de cáscara cerámico haya alcanzado un 50-80% de su espesor final, medido en un punto de referencia del espesor. El molde de cáscara típico tendrá un espesor de unos 6-8 mm una vez fundida la cera y se quemará y dejará listo para la 10 fusión.

Igualmente en la invención, el diámetro del paso de la espira es de 8 mm o mayor, preferiblemente 9-10 mm, en tanto que el diámetro interior de la espira es de 5 mm o mayor, preferiblemente 9.5 - 16 mm. El ángulo complementario en grados es de 5-35; preferiblemente 12-16. Dentro de estos parámetros, con una espira por lo menos del diámetro de una vuelta, se observa como las características estructurales del paso de espiral enfriado localmente con 20 cuidado puede realizarse fácilmente.

Existe una interrelación entre el diámetro del paso y el enfriamiento local. Generalmente, el enfriamiento lo- 25

cal disminuye la termotransferencia lateral en la sección
selectora de forma espiral. En consecuencia, si los conduc-
tos de espiral de 5-7 mm conocidos en la práctica anterior
se enfrían localmente se producen rendimientos de fusión
5 menores. Pero con la mayor sección y el paso termoconductor
de un paso de 8 mm o mayor, en realidad se aumentan los
rendimientos de la fusión y se reduce el agrietamiento de
los moldes.

Para comprender mejor la invención conviene acudir a
10 los dibujos anexos, en los cuales:

La figura 1 presenta un artículo en forma de espira
conformado como sería el modelo de cera empleado en la cons-
trucción de un molde con sección selectora y conducto heli-
coidal.

15 La figura 2 es una sección vertical a través de un
molde cerámico lleno de metal resistente sobre una placa
de coquilla y que especialmente presenta detalles de la
sección selectora.

20 La figura 3 es un gráfico con el cambio relativo de
termotransferencia a lo largo de una espira de metal com-
parada con el cambio relativo en ligereza (al revés de pe-
so) de la espira metálica.

25 La figura 4 es un gráfico que presenta como aumenta
la entrada de L (y por tanto la altura de toda una vuelta
de la espira) con el aumento del diámetro de paso t al
cumplirse las prácticas de la invención.

La presente invención resulta especialmente valiosa
en los moldes de cáscara cerámicos. Estos son moldes cerá-

micos que se forman acumulando capas de material cerámico en la superficie de un modelo, como en los modelos de fusión de cera perdida fugaz. La patente EE.UU. num. 2 961 751 de Operhall y otros es típica en la descripción de las fases de construcción de estos moldes y los conocimientos de los mismos se incorporan a esta memoria como anticipaciones. Son muy conocidos y empleados los moldes de cáscara en la fusión a cera perdida de las superaleaciones, especialmente en la construcción de piezas de precisión como las superficies aerodinámicas de las turbinas de gas. Los moldes preferidos se construyen de macropartículas predominantemente de zirconio; aun cuando se prefieran predominantemente moldes de alúmina por su mayor capacidad térmica. Existen varias técnicas para construir los moldes de cáscara y en la presente invención la expresión molde de cáscara significará cualquier molde construido mediante procedimientos que comprendan el aumento de capas sucesivas de material cerámico. El molde descrito es muy útil para fundir una pieza de superaleación de níquel empleando la solidificación direccional como se describe en las patentes citadas en los antecedentes y en otras partes, incluyendo la patente EE.UU. num. 4 190 094 de Giamei.

La figura 1 presenta un objeto de forma helicoidal con unas 1.5 vueltas que permanece a lo largo de un eje z. La figura 2 presenta una sección vertical a través de las partes inferiores de un molde cerámico 22 que se apoyan contra una placa de coquilla 24. El molde se presenta lle-

no de metal solidificado, más o menos como aparecería un poco después de que haya atravesado el molde un diedro de solidificación, en ascensión vertical desde la placa de coquilla. El molde está constituido por tres partes: una sección de comienzo 26, una sección selectora 28 y una sección de artículo 30, todas ellas conectadas entre sí. La sección selectora tiene un conducto de forma helicoidal... 32, lleno de metal con la forma del objeto ilustrado en la figura 1.

10 En la utilización del molde, se vierte el metal fundido en el molde y lo llena. Puesto que la placa de coquilla 24 está fría, el metal de la sección de comienzo 26 primero se enfría con una estructura columnar policristalina. Con el enfriamiento controlado subsiguiente del molde, se origina un diedro de solidificación que se mueve verticalmente a lo largo del eje del molde vertical z y al hacerlo atraviesa subiendo el paso helicoidal 32 y luego pasa a la entrada 33 de la sección del artículo del molde. Como puede verse en la figura 2, generalmente la parte inferior de la sección del artículo 30 tiene una parte de transición 34 que permite expansionarse al diedro de solidificación desde el conducto relativamente estrecho de la sección selectora hacia la cavidad más ancha que comprende el interior de la sección de artículo 30 del molde.

25 En la presente invención, existe un punto crítico en la configuración del conducto espiral. La figura 1 ilustra en gran parte la terminología que se ha empleado para definir a la invención. Esta figura presenta la forma de

un artículo 20 como el modelo de cera que se emplea para formar el conducto interno en la sección selectora. Presenta análogamente el artículo metálico que se solidificará en el conducto después de la fusión. Generalmente, el artículo espiral 20 tiene un extremo superior 36 y un extremo inferior 38 que constituyen pasos rectos que permanecen a lo largo del eje vertical z de la espira. No se trata de partes esenciales del conducto espiral pero sí accesorias que hacen más fácil la entrada y salida del diedro de solidificación sin la creación de defectos en la fusión cristalográfica. La terminología empleada para el mismo artículo espiral es similar a la empleada para los muelles helicoidales. El artículo espiral tiene una altura H y un diámetro medio D . Medido en un plano normal al eje z , el artículo espiral tiene un diámetro interior ID y un diámetro exterior OD . El paso (o entrada) L de la espira es la distancia entre centros de las vueltas contiguas. Se caracteriza la espira por un ángulo complementario B ; se trata del ángulo cuya evolución (desenrollado de la curva helicoidal en una superficie plana) produce que el plano $x-y$ sea perpendicular al eje z . El conducto helicoidal tiene una sección circular de diámetro t . Volviendo a las dos figuras 1 y 2, podemos ver como las vueltas contiguas del conducto 32 se hallan separadas a una distancia S . En la figura 1, podemos observar como $S + t = L$. Como se describirá con más detalle a continuación, en la invención la distancia S se relaciona con el espesor M del molde de cascara cerámico que rodea el paso helicoidal 32.

Como se indica en la introducción la función del conducto espiral fué concebida principalmente para que fuera físicamente el origen de la conversión del diedro de solidificación de una estructura granular columnar a una estructura monocristal. Igualmente, conceptualmente se construyó el paso de un diámetro relativamente pequeño, puesto que se supo de modo independientemente que las pequeñas limitaciones eran valiosas. La función de la placa de coquilla consiste en enfriar la sección de comienzo y por tanto iniciar la solidificación. Una vez se ha iniciado la solidificación original el diedro se desplaza a una distancia indefinida y vertical hacia la espira hasta que la entrada térmica (desde el horno) al molde equilibra la disipación térmica a través de la placa de coquilla. Para desplazar posteriormente el diedro verticalmente por encima a través del selector, se ha utilizado el enfriamiento controlado del horno. Aun más preferiblemente, se emplea la retirada progresiva descendente del molde desde el horno. Véanse las patentes E.E.UU. 3 700 023 de Giamei y otros y 3 714 977 de Terklesen, las dos del presente cesionario. Se ha venido en conocer por lo tanto que existiría cierta termotransferencia a lo largo del paso helicoidal solidificador y a través de la sección de comienzo a la placa de coquilla y también termotransferencia radialmente hacia fuera de la espiral. Pero poco se puede saber o nada de la importancia de estas modalidades de termotransferencia. En el método de retirada más señalado, la pérdida térmica principal se produce por radiación desde cualquier punto del molde que

5

10

15

20

25

se exponga a una zona más fría. Dada la distancia que puede encontrarse una cavidad de artículo de la placa de coquilla cuando el metal comienza a solidificarse en la sección del artículo parece que sólo exista muy poca contribución esencial a la disipación térmica por conducción del calor a través del largo paso del metal a la placa de coquilla. Con el pequeño tamaño de conducto helicoidal utilizado hasta ahora, no se consideró en realidad de gran importancia el flujo térmico a través de la espira con respecto a la solidificación en la sección de transición y en la sección del artículo. Sin embargo, los experimentos han demostrado ahora que se obtendrán mejores fusiones si se mejora la transferencia a través y desde el conducto espiral. Esto se ha logrado aumentando el diámetro de paso helicoidal y reduciendo la cantidad de cerámicos alrededor de la espira.

El aumento del diámetro del paso espiral tiene aspectos negativos. Uno de ellos es la pérdida de la conocida ventaja de una limitación estrecha que permite el menor número de granos se propague en el paso helicoidal y aumenta la eficacia de una espira de longitud relativamente corta. Otra desventaja el volumen creciente de la espiral, puesto que los volúmenes mayores exigirán un mayor peso del metal que los llene. El metal de las secciones de comienzo y selectora esencialmente se pierde puesto que esta parte de la fusión generalmente se divide y rechaza. Al realizar artículos huecos relativamente poco pesados como las superficies aerodinámicas de turbinas de gas con superaleaciones de coste elevado, puede ser importante el

coste de la parte rechazada. En la práctica anterior no se sabe cuantos análisis hay que aplicar para dimensionar el conducto espiral pero antes de esta invención el diámetro de conducto preferido era de unos 5-7 mm.

5 Teniendo en cuenta los experimentos y los cálculos se ha llegado ahora a la conclusión de que el diámetro de conducto preferido sería 7,5-25 mm., más preferiblemente 7.5-15 mm. y aun más preferiblemente 9-10 mm. Naturalmente si se aumenta el diámetro de conducto espiral t , también debe aumentarse el diámetro de espira D como asimismo la entrada L , cuanto cierto ID y S mínimos se mantienen. Como se ha dicho en otros lugares de esta descripción, es necesario atenerse a estos mínimos. En consecuencia, el aumento del diámetro del paso helicoidal significa que el peso del conducto helicoidal W se incrementará según la relación

$$W \propto (At^2 + Bt^3)$$

20 en donde A y B son constantes. La capacidad de un paso helicoidal lleno de metal solidificado de conducir el calor desde una sección de artículo a la sección de comienzo o placa de coquilla constituye una función de la sección del paso helicoidal y de la longitud del paso. Puede demostrarse como Q , la termotransferencia por unidad de tiempo a lo largo del conducto está relacionada con el diámetro de paso según la relación

$$Q \propto \left(\frac{t^2}{1 + Ct^2} \right)$$

en donde C es una constante. Las derivadas de cuanto antecede se explican a continuación. La figura 3 es un trazado que utiliza la relación anterior. Se presenta Q como una función del diámetro de paso en tanto que la "ligereza", el recíproco del peso del conducto W, se traza igualmente como función del diámetro del paso. En la figura se han empleado valores arbitrarios para las constantes; por tanto, no es importante la intersección exacta de las curvas. La figura ilustra el hecho de como la capacidad de termotransferencia Q sube sustancialmente con el diámetro de paso, en tanto que la ligereza relativa se comporta inversamente con una relación más sensible al valor t . En la figura se han indicado los márgenes más preferidos para el diámetro de paso. Se basan estos márgenes en experimentos y cálculos reales. No se han calculado con los datos presentados en la figura 3 porque el valor de las constantes no pudo conocerse.

Concretamente se descubrieron resultados bastante más mejorados cuando el diámetro de espiral tiene por lo menos 8 mm. de diámetro, más preferiblemente 8-15 mm y aun más preferiblemente 9-10 mm, siempre y cuando se ajusten también con todo ello otros parámetros que se comentan a continuación. Con la espiral de diámetro mayor se acumulan los siguientes beneficios. Primero, puede hacerse simplemente la cáscara sin especial atención a la sección selectora y tendrá una resistencia sustancialmente mayor que a un diámetro de espira de 7 mm o menor. Segundo, puesto que no se necesita un mayor espesor de cáscara (compara-

do con el resto del molde) en la sección selectora, se mejora la termotransferencia radialmente hacia fuera y ocurre un crecimiento del cristal menos desviado en el selector. Tercero, se produce una mejor termotransferencia en el conducto helicoidal. Los últimos dos factores permiten la producción de fundidos monocristales con mejor rendimiento de la estructura de cristal que se consigue con una pequeña espira en una estructura cerámica densa (como en las patentes de Hayes y Day y otros citadas anteriormente) y comparables en rendimiento con las técnicas de capullo.

En la tabla 1 se indican los parámetros que pertenecen a los conductos en forma de espiral que se han descubierto que ofrecen una mejora. Acudiendo a la tabla, el diámetro de paso t puede ser bastante grande, al menos hasta 25 mm. Pero como ilustra la referencia a la figura 3, el peso de la sección espiral aumenta bastante según la relación anteriormente indicada, siendo que el diámetro D del espiral debe aumentar también (para tener un ID mínimo). Entonces, existe una fuerte relación con el extremo inferior del margen. Debe existir cierta inclinación ascendente importante del conducto, como puede reflejarse en el ángulo complementario. Con espiral de mayor diámetro, es posible geoméricamente un ángulo complementario menor. Sin embargo, puesto que las espirales de mayor diámetro crean una longitud mayor del conducto, este es el motivo de que no se prefieran. Por lo tanto, el ángulo más preferido es

10-20°, en tanto que el aun más preferido es 12-16°. Y aun
más preferiblemente, el conducto helicoidal tiene un diá-
metro interior pequeño ID de 9.5 - 16 mm. Pueden emplear-
se diámetros menores hasta de 6 mm pero crean problemas
5 prácticos de fabricación y existe también la necesidad de
cierto diámetro mínimo para asegurar que exista una resis-
tencia y un espesor de capa cerámica suficientes en el
diámetro interior del paso helicoidal. Son indeseables los
diámetros interiores grandes porque aumentan el diámetro
-10 medio D de la espiral y por tanto la longitud del paso sin
aportar ninguna ventaja proporcionada. Debido a los demás
aspectos de la invención que se tratan a continuación, la
espira debiera tener por lo menos una vuelta. Pueden emplear-
se muchas vueltas pero naturalmente aumentan la longitud
-15 del paso y ello no es ventajoso. Se prefiere más que la
espiral tenga menos de dos vueltas y aun se prefiere más
que la espiral tenga 1,25-1,5 vueltas. El número de vuel-
tas de la espiral se relaciona con la resistencia estruc-
tural del molde en las cercanías del selector y por dicho
-20 motivo se prefiere algo más de una vuelta. Con 1,25-1,5
vueltas, existe una parte importante de la espiral, donde
se produce en la dirección del eje z vertical una super-
posición de una vuelta sobre la otra. Es conveniente por
razones de termotransferencia reducir la distancia H en-
-25 tre un extremo del conducto y el otro. Se determinará la
distancia H con los otros parámetros que se especifican
en esta memoria y en la realización preferida sería de
unos 40 mm.

tente EE.UU. 4.111.252 antes citada. Se ha descubierto ahora que si se controla críticamente la distancia S , pueden conseguirse conductos helicoidales muy fuertes utilizando las técnicas del moldeo de cáscara convencional. En un molde
5 de cerámico construido según las técnicas descritas anteriormente, generalmente se acumulan unas 8-9 capas. En la mejor realización de la invención, se ha observado que la distancia S debiera hacerse suficientemente pequeña para que después de la quinta capa, se llenara el espacio S . A
10 continuación las capas subsiguientes formarían una funda continua alrededor del diámetro exterior de la espiral. Cuando se conectan juntamente las vueltas contiguas, la espiral recibe de este modo una resistencia adicional.

Pueden utilizarse espacios menores o mayores como se
15 ilustra con los datos de la tabla 1. Se expresa mejor la separación de conducto S como porcentaje de M que es el espesor de cáscara aplicado al molde. Volviendo a la figura 2, M' es el espesor nominal del molde de cáscara como sería medido en la sección de artículo del molde. Generalmente, se acumularán el mismo número de capas en todo el
20 molde aun cuando es fácil obtener variaciones del espesor en distintas secciones aportando diferentes cantidades de capas a las distintas partes del molde. Por lo tanto, en tanto que el espesor M en las cercanías de la sección selectora
25 suele ser generalmente el mismo que el espesor M' (teniendo en cuenta las posibles variaciones ocasionadas por los extraordinarios cambios en el perfil superficial del artículo o espiral) por regla general la separación S de-

biera calibrarse según el espesor de los moldes de cáscara que se acumula en una parte del molde que se somete a la misma acumulación de capas como en las cercanías de la separación de pasos. En la figura 2, se toma el espesor M para representar este emplazamiento. Puede emplearse intercambiamente otro emplazamiento de referencia si las técnicas de construcción de la cáscara cerámica no hacen al espesor M representativo. En la figura M es el espesor que se mide a lo largo del radio normal al eje helicoidal z , en el diámetro más alejado de una vuelta del paso.

Cuando la sección selectora se construye según la presente invención, puede o no llenarse el espacio interno 42 de la espiral con material cerámico según sea el ID, el espesor M de la cáscara cerámica y las técnicas del moldeo con cáscara que se empleen. Naturalmente se producirá el enfriamiento local del espacio interior correspondiente al del exterior del conducto y con ello se ayudará a la resistencia de la sección selectora.

Como se ha indicado anteriormente, el material cerámico que se acumula en las vueltas contiguas del conducto deben unirse después de haberse acumulado un 60% del material de cáscara. En consecuencia, la distancia S debiera comprender un 120% del espesor M del material cerámico que finalmente se acumula, puesto que el material cerámico progresa desde lados opuestos del espacio hacia el centro. Si la distancia S es demasiado pequeña, esto necesita entonces ángulos complementarios más bien pequeños e indeseables y una estructura cerámica más bien frágil entre

vueltas contiguas del conducto. Si S fuera demasiado grande, entonces la invención no podría realizarse porque el espacio entre vueltas contiguas no se llenaría ni se produciría el enfriamiento local con material cerámico de resistencia suficiente durante la formación normal de la cáscara cerámica. Por lo tanto, preferiblemente la separación S debe ser 60-180% de M, y más preferiblemente ser 100-160% y aun... más preferiblemente, 120-140%. Entonces la distancia S sería más de una y menos de dos veces el espesor M de la cáscara cerámica, en las realizaciones más preferidas.

En las fusiones comerciales, el espesor del molde de cáscara debiera ser por lo menos 2.5 mm, más preferiblemente 5-13 mm y aun más preferiblemente 6,5-7.5 mm. Si la cáscara es demasiado delgada, entonces no tendrá la resistencia estructural adecuada en tanto que si es demasiado gruesa, aporta una barrera indebida a la termotransferencia necesaria en el procedimiento de solidificación direccional. En el espesor M de cáscara cerámica preferido de 6,5-7,5 mm, la distancia S de la separación (si es 70-140% de M) variará entre unos 4.5 y 10.5 mm. La figura 4 presenta por tanto como debe aumentar la entrada L de la espiral con un diámetro de paso mayor para mantener las relaciones explicadas, en tanto ID se mantiene constante. Conforme aumenta la entrada con ID constante, también aumenta el ángulo helicoidal como se indica en la figura. Igualmente aumentará la altura H. Puesto que se desea una altura mínima, esto significa que se desean diámetros de paso cerca

de 8 mm.

En la presente invención es crítica la separación S y debe controlarse como se explica. Esto significará que algunos de los otros parámetros serán dependientes y no podrán variarse libremente dentro del margen valioso. Como ejemplo, si el espesor de la cáscara M es de 7 mm y el diámetro del paso t es 8 mm., entonces utilizando una distancia S de 12 mm (150% de M), la entrada de la espiral será 20 mm. Si se selecciona el diámetro interior ID de 12.5 mm, entonces el diámetro D será 20.5 mm. Esto significa que el ángulo complementario será 17.3° . Si el ángulo complementario fuera en su lugar menor que el margen útil o preferido, entonces esto indicaría un cambio en S , t ó ID para que se cumplieran.

Todo considerado se observará como las vueltas del conducto helicoidal estarán bastante más cercanas entre sí que en los moldes descritos anteriormente. Compárese por ejemplo el molde en la patente EE.UU. 4 111 252 en donde el elevado ángulo complementario, la sustancial entrada y el diámetro de paso pequeño significan que debe colocarse sustancialmente más cerámico entre las vueltas contiguas de lo que se acumularía en la construcción de la cáscara a un espesor característico de las otras partes del molde. Debe atestarse especialmente material cerámico adicional entre las vueltas espirales contiguas cuando se hallen tan ampliamente separadas como se ilustra.

Se han construido más de 100 moldes experimentales y logrado fusiones para demostrar la invención y se han comprobado los datos para conocer su utilidad ante la práctica anterior como puede verse en la tabla 2. La producción aumentó alrededor de un 3% en moldes sanos sin grietas. Aumentó el rendimiento de las fusiones en alrededor de un 14%. (El rendimiento de las fusiones generalmente refleja la inexistencia de desviaciones de los fundidos monocristales de las estructuras granulares. El agrietamiento del molde durante el procedimiento de fusión provocará a menudo estas desviaciones además de baja termotransferencia debido a la configuración de la espiral).

La realización más sencilla y común de la invención es la presentada en las figuras donde el paso helicoidal permanece alrededor de un eje z vertical y en donde las secciones de comienzo y artículo del molde permanecen igualmente a lo largo del eje z . Sin embargo, como se observará al considerar otros ramos, es factible emplear una sección selectora con un conducto helicoidal donde la sección de comienzo y artículo no se hallen verticalmente centradas. Por ejemplo, véase la patente num. 3 568 757 de Pearcey. En la descripción anterior se ha indicado que el paso helicoidal tenía una sección circular. Pueden emplearse otras secciones en la práctica de la invención, aun cuando se prefieran secciones redondeadas sobre las que tengan aristas agudas, como son los rec-

tángulos y análogos, porque se ha observado que existe me-
nos nucleación extraña y más resistencia estructural en
5 los conductos de sección redondeada.

Tabla 2

Rendimientos relativos de fusiones monocris-
tales de una aleación básica de níquel.

10	Número relativo de moldes sa- nos.	Rendimiento relativo de cristales libres de de- fectos
15	Capullo alrededor de 7 mm de diámetro de espiral con B = 20° y L = 21.4 mm	1.00
	Espira plana de 9.5 mm de diámetro con B= 13° y L = 17 mm	1.03

20 Apéndice

A.- Derivada de termotransferencia Q a lo largo de un paso
helicoidal con diámetro de paso t , una zona de sección de
paso X, un diámetro interior helicoidal ID, un diámetro
25 medio helicoidal D y un ángulo complementario constante.

Longitud evolucionada S de una vuelta del paso heli-
coidal como

$$S \propto \pi D / \cos B = \pi (ID + t) / \cos B = K_1 + K_2 t$$

en donde B es el ángulo complementario helicoidal y K_1 y K_2 son las constantes.

Entonces:

$$Q \propto kX/S = K_3 t^2 / K_1 + K_2 t = t^2 / (1 + Ct^2)$$

5

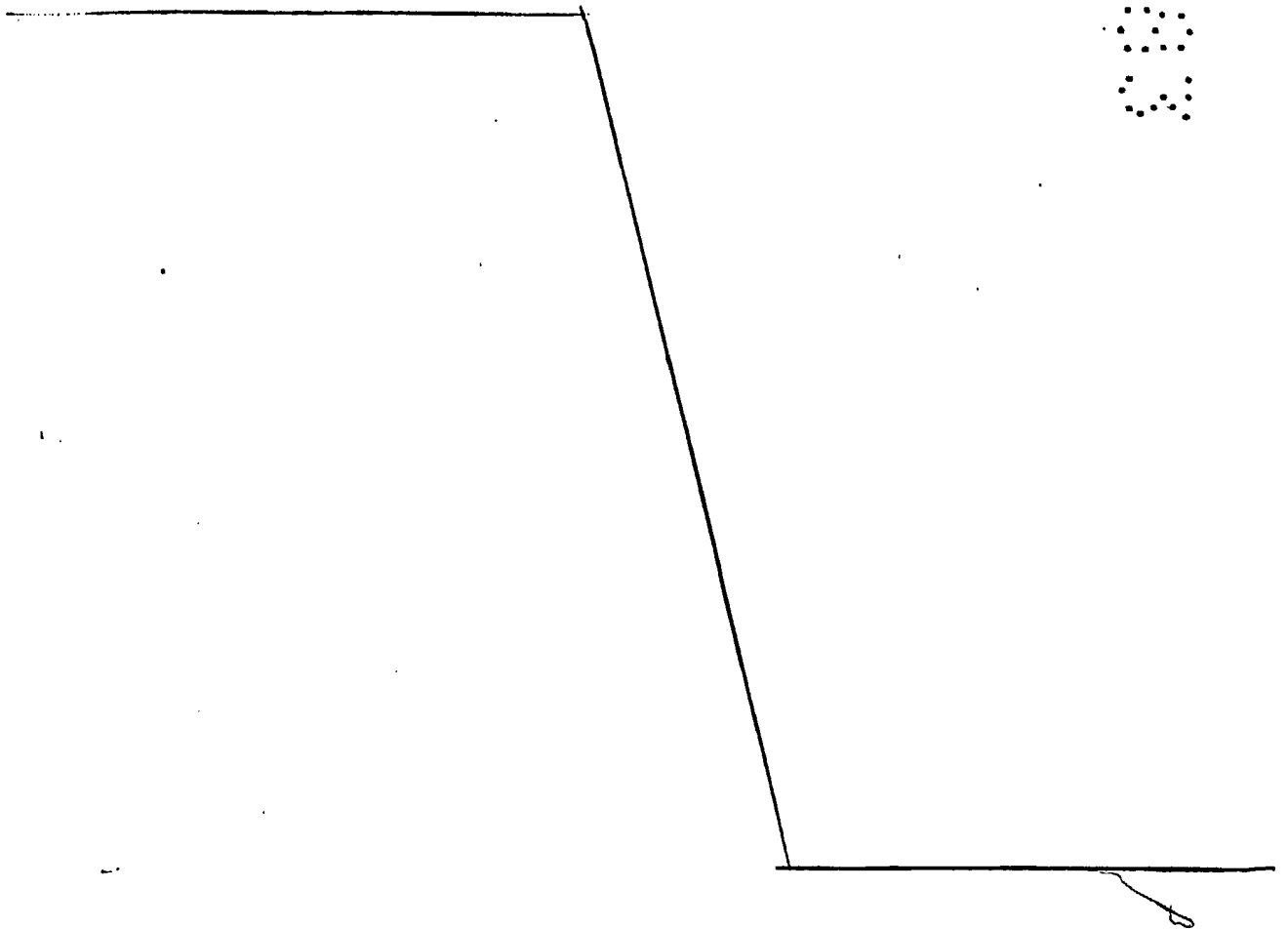
en donde k es la conductividad térmica y K_3 y C son las constantes.

B.- Derivada de W, peso de un paso helicoidal con diámetro interior constante ID y otros parámetros como se indican en A anterior.

10

$$W = XS = K_4 t^2 (K_1 + K_2 t) = At^2 + Bt^3$$

15



REIVINDICACIONES

Descrito el objeto del presente invento, se declaran como nuevas y de propia invención, las siguientes reivindicaciones.

5

1.- Molde de cerámica perfeccionado, caracterizado porque el diedro de solidificación se origina para moverse progresivamente a través del metal fundido, y comprende:

10

a) una sección de comienzo (26) para contener una parte del metal fundido en el cual se inicia primeramente un diedro de solidificación;

b) una sección de artículo (30) conformada para definir el artículo monocristal deseado; y

15

c) una sección selectora (28) que conecta la sección de comienzo (26) con la sección de artículo (30) para originar el progreso del diedro de solidificación desde la sección de comienzo (26) hacia la sección de artículo (30) para tener la característica monocristal deseada, conteniendo la sección selectora un paso conformado como espiral (20) con mas de una vuelta, caracterizado porque la espiral (20) permanece a lo largo del eje (z) y por tener una entrada (L) que aporta una separación entre las vueltas contiguas del paso que es más de la mitad pero menor de dos veces el espesor del material de cáscara cerámico como se mide el espesor a lo largo del radio normal a dicho eje (z) en el diámetro más alejado de una vuelta del paso, uniendo el material de cáscara cerámico en capas las vueltas contiguas del conducto en el diámetro exterior del conducto.

20

25

2.- Molde según la reivindicación 1, caracterizado porque una espiral (20) tiene entre 1-2 vueltas, un ángulo com-

plementario de 5-35 grados y un diámetro de paso de 8 mm. por lo menos.

5 3.- Molde, según la reivindicación 1, caracterizado porque la entrada helicoidal tiene 13 mm por lo menos y el espesor del material de cáscara cerámico tiene 7 mm como mínimo.

4.- Molde, según la reivindicación 2, caracterizado porque tiene un diámetro de paso de 8-15 mm, un ángulo complementario de 10-20 grados y un espesor de cáscara cerámica de 5-13 mm.

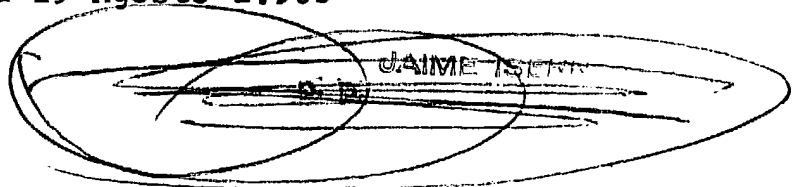
10 5.- Molde, según la reivindicación 4, caracterizado porque tiene un diámetro de paso de 9-10 mm, un paso de espira de 15-18 mm, un diámetro interior helicoidal 9-16 mm y un espesor de cáscara cerámica de 6-8 mm.

6.- Molde de cerámica perfeccionado.

15 Según se describe y reivindica en la presente memoria descriptiva que consta de 27 hojas foliadas y escritas a máquina por una sola cara.

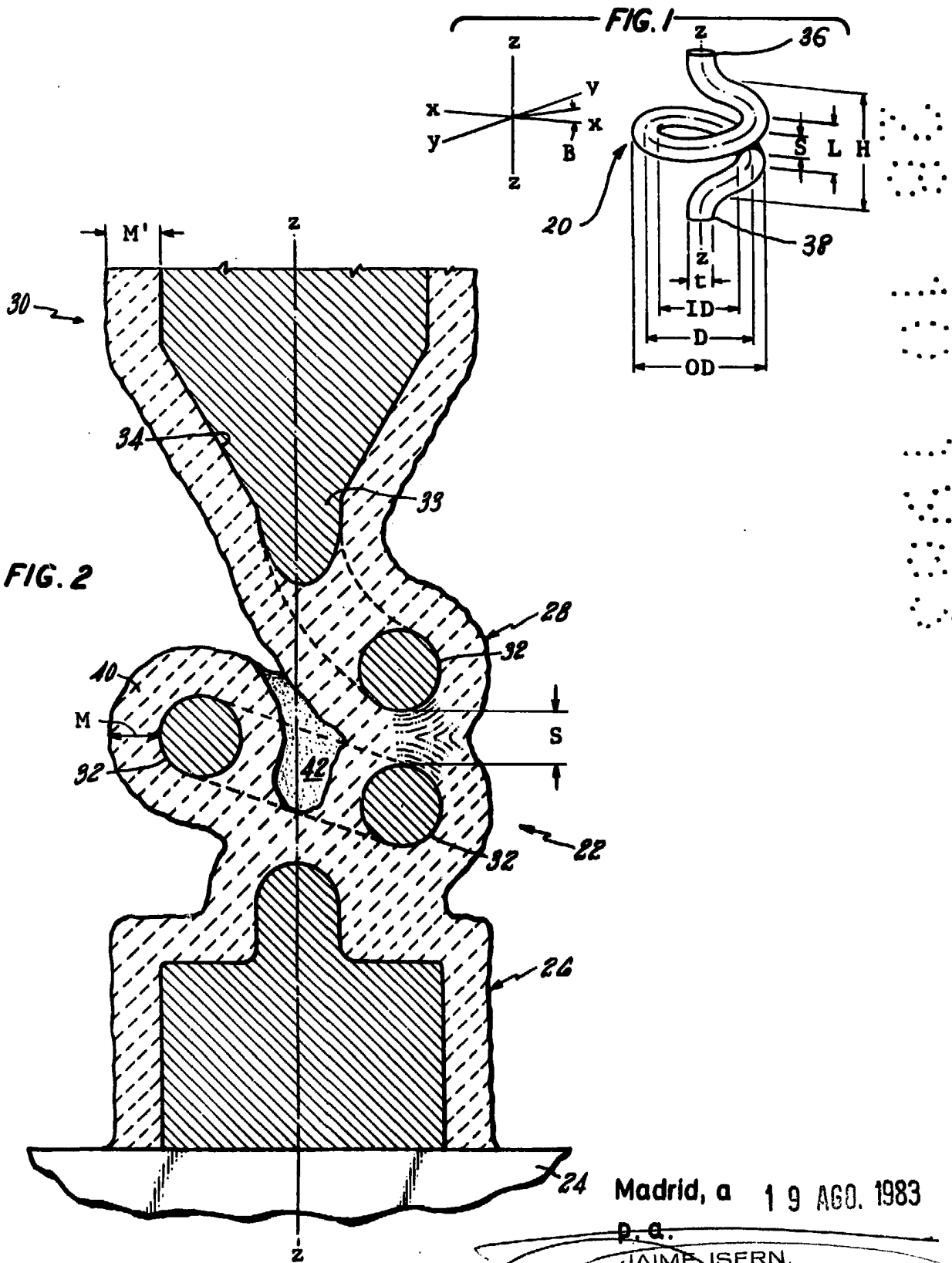
Madrid, a 19 Agosto 1.983

p.a.

20  JAIME ISERN

1ª planta 14º Edificio Isern Cuyas

673171



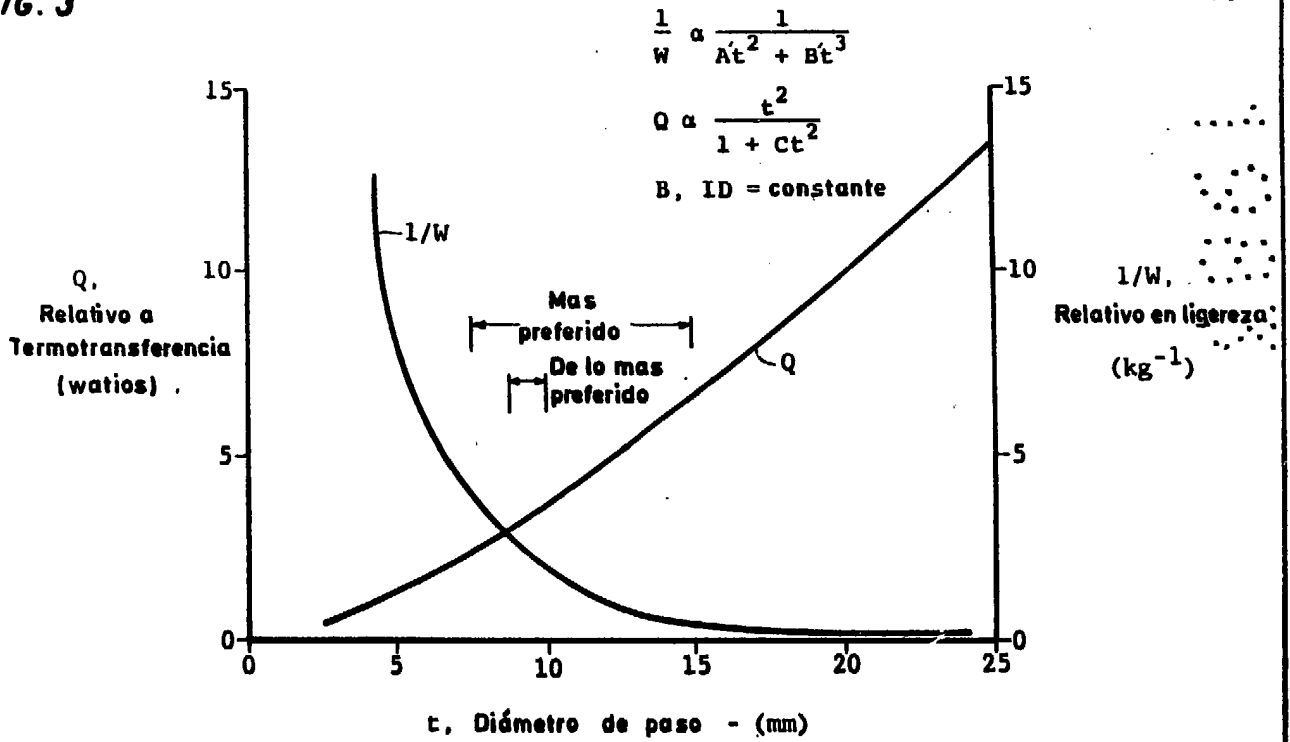
24 Madrid, a 19 AGO. 1983

P. G.
 JAIME ISERN,
 P. P.

Firmado, M.ª LUISA ISERN CUYAS

525032

FIG. 3



Madrid, a
p. a.

19 AGO. 1983

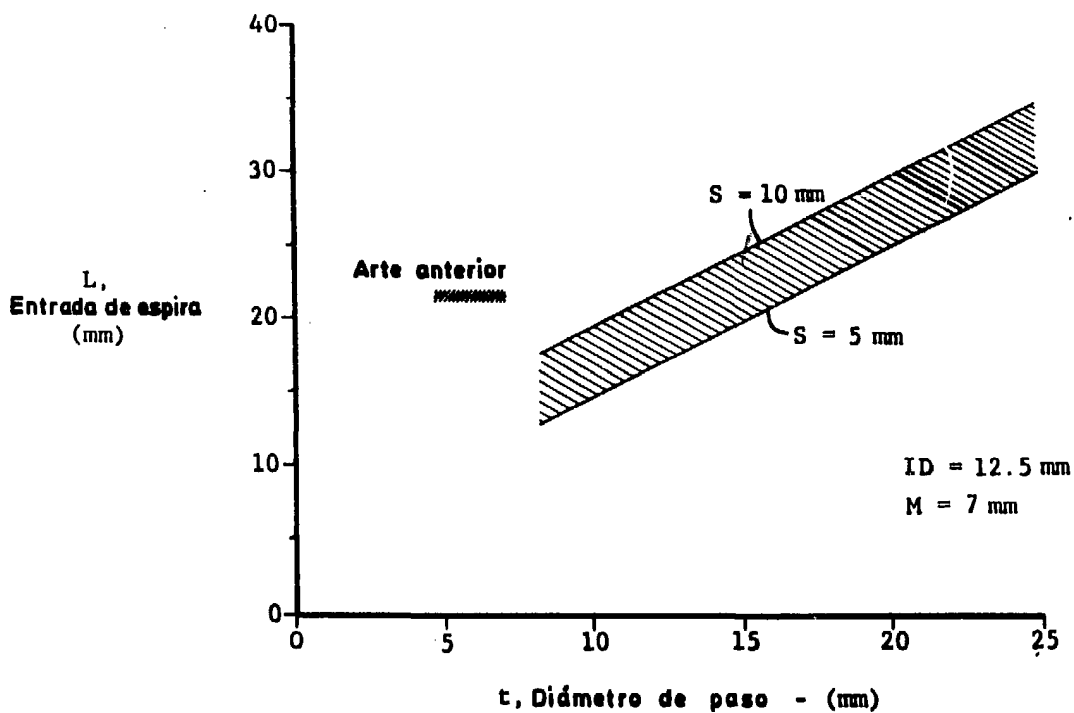
JAIME ISERN,

[Handwritten signature]

Firmado: M.ª LUISA ISERN CUYAS

525032

FIG. 4



Madrid, a

p. a.
JAIME ISERN,
p. a.

Firmado, M.^a LUISA ISERN CUYAS