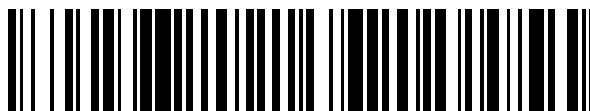


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 602 702**

51 Int. Cl.:

**F27B 14/06** (2006.01)

**F27B 14/14** (2006.01)

**H05B 6/24** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **14.01.2005 PCT/US2005/001433**

87 Fecha y número de publicación internacional: **11.08.2005 WO05072167**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.01.2005 E 05705808 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.10.2016 EP 1716376**

54 Título: **Horno de inducción de crisol frío**

30 Prioridad:

**16.01.2004 US 537113 P**

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

**22.02.2017**

73 Titular/es:

**CONSARC CORPORATION (100.0%)  
100 INDEL AVENUE P.O. BOX 156  
RANCOCAS, NJ 08073-0156, US**

72 Inventor/es:

**KEOUGH, GRAHAM, A.**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

ES 2 602 702 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Horno de inducción de crisol frío

**Campo de la invención**

5 La presente invención se encuentra en el campo técnico de la fusión de materiales eléctricamente conductores mediante inducción magnética con un horno de inducción de crisol frío.

**Antecedentes de la invención**

Un horno de inducción de crisol frío se usa para fundir materiales eléctricamente conductores colocados dentro del crisol aplicando un campo magnético al material. Una aplicación común de tal horno es la fusión de una aleación o metal reactivo, tal como una composición basada en titanio, en un vacío o una atmósfera controlada. La figura 1 ilustra las principales características de un horno de crisol frío convencional. Haciendo referencia a la figura, el crisol 100 incluye una pared 112 ranurada. El interior de la pared 112 es generalmente cilíndrico. La parte superior de la pared puede ser de forma relativamente cónica para ayudar a eliminar lobos tal como se describe adicionalmente a continuación. La pared está formada de un material que no reaccionará con una carga de metal colocada en el crisol y se enfría con fluido mediante medios convencionales. Para una carga basada en titanio, una composición basada en cobre es adecuada para la pared 112. Las ranuras 118 tienen una anchura muy pequeña (exagerada para mayor claridad en la figura), normalmente del orden de 10 a 12 milésimas de pulgada (de 0,25 a 0,31 mm), y se llenan con un material conductor térmico, pero aislante eléctrico, tal como mica. La base 114 forma el fondo del volumen de crisol que está disponible para la carga de metal. La base se forma normalmente del mismo material que la pared 112 y también se enfría con fluido mediante medios convencionales. La base está soportada por encima del elemento 126 estructural de fondo por medios 122 de soporte que también pueden usarse como la alimentación y el retorno de un medio de enfriamiento. La base 114 se eleva por encima del elemento 126 estructural de fondo y generalmente limita el fondo de la bobina de inducción para que esté por encima de la altura de la base 114. Una capa de un material 124 conductor térmico, pero aislante eléctrico (cuyo grosor está exagerado en la figura) separa la base de la pared. Normalmente, pero no a modo de limitación, la distancia de separación está en el intervalo de 0,008 pulgadas a 0,012 pulgadas (de 0,21 a 0,31 mm), pero tal como se indica, puede estar en contacto, o puede ser de hasta 1/16 de pulgada (1,6 mm). La bobina 116 de inducción rodea la pared del crisol y está conectada a una fuente de alimentación de CA adecuada (no mostrada en la figura). Cuando se activa la fuente, fluye corriente a través de la bobina 116 y se crea un campo que produce flujo magnético de CA. El flujo magnético induce corrientes parásitas en la pared 112, la base 114 y la carga de metal colocada en el crisol. La penetración de flujo en la carga de metal es principalmente a través de las ranuras 118 y una capa delgada de material de pared de delimitación. El calor generado por las corrientes parásitas en la carga funde la carga. Una parte de la carga de metal adyacente a la pared enfriada y la base se congela para formar un lobo alrededor de un producto de metal fundido que se retira del crisol. Después de la retirada del producto de metal fundido del crisol, se retira el lobo del crisol y puede usarse como alimentación de chatarra para una fusión posterior de la misma composición. La cantidad de energía calorífica generada en la carga con relación a la energía eléctrica aplicada define la eficiencia aproximada del crisol. El calor generado en la pared y la base representa las principales pérdidas en el procedimiento.

Una desventaja del crisol 100 frío en la figura 1 es que la superficie de contacto pared-base interfiere en la transferencia de flujo a la carga en las proximidades de la superficie de contacto. Tal como se muestra en la figura 1, la línea 120 de flujo representativa ilustra que en las proximidades de la superficie de contacto, hay una disminución sustancial de la penetración de flujo magnético en el crisol, lo que limita el calentamiento de la carga en la zona de la superficie de contacto. Esta disminución del flujo limita eficientemente el intervalo de capacidad de carga de metal en el que puede funcionar eficientemente el horno. Por ejemplo, el horno mostrado en la figura 1 puede proporcionar un funcionamiento satisfactorio cuando la capacidad de carga está entre la capacidad completa y aproximadamente el 60 por ciento, tal como se representa por la línea discontinua 127. Por debajo de la capacidad del 60 por ciento, la cantidad de energía suministrada y/o el tiempo de procesamiento aumentan hasta el punto de que el procedimiento de fusión se vuelve extremadamente ineficiente. Por consiguiente, el usuario del horno se ve gravemente limitado en cuanto al intervalo operativo de capacidad real con relación a la capacidad total del crisol.

Por tanto, existe la necesidad de un aparato y un método de fusión por inducción con un crisol frío en el que la transferencia de flujo a la carga de metal en las proximidades de la superficie de contacto pared-base permita un aumento global de la eficiencia así como un aumento del posible intervalo de capacidad de cargas de metal que puede fundirse eficientemente.

El documento US-A-4 923 508 da a conocer un horno de inducción de crisol frío para calentar una carga eléctricamente conductora. El horno tiene una pared segmentada ranurada y una base que encaja dentro de una abertura circular formada por un pie de segmento de pared inferior para cada segmento de pared. Los pies de segmento de pared inferior forman una superficie interior que se curva hacia dentro. Una bobina de inducción rodea la pared del horno y una alimentación de CA suministrada a la bobina de inducción genera un campo de flujo de CA que se acopla magnéticamente con la carga para calentar de manera inductiva la carga. La pared ranurada del horno no se extiende por debajo de la base, impidiendo, por tanto, la transferencia de flujo a la carga dentro del horno en las proximidades de la superficie de contacto de la base y la pared segmentada.

**Breve resumen de la invención**

En un aspecto, la invención proporciona un horno de inducción de crisol frío según la reivindicación 1.

En otro aspecto, la invención proporciona un método según la reivindicación 2.

Otros aspectos de la invención se exponen en esta memoria descriptiva.

**5 Breve descripción de los dibujos**

Con el fin de ilustrar la invención, se muestra en los dibujos una forma que se prefiere actualmente; entendiéndose, sin embargo, que esta invención no se limita a las disposiciones e instrumentalidades precisas mostradas.

La figura 1 es un alzado en sección transversal parcial de un horno de inducción de crisol frío convencional.

10 La figura 2 es un alzado en sección transversal parcial de un ejemplo del horno de inducción de crisol frío de la presente invención.

La figura 3 es un alzado en sección transversal de un ejemplo del horno de inducción de crisol frío de la presente invención.

La figura 4(a) es un alzado en sección transversal desde arriba parcial de una pared ranurada con salientes desde la misma que se usa en un ejemplo del horno de inducción de crisol frío de la presente invención.

15 La figura 4(b) es un alzado lateral de los saliente usados en un ejemplo del horno de inducción de crisol frío de la presente invención.

La figura 4(c) es una vista detallada de una ranura de una pared ranurada con un saliente desde la misma que se usa en un ejemplo del horno de inducción de crisol frío de la presente invención.

20 La figura 5(a) es una ilustración gráfica de la reducción de las pérdidas óhmicas en la base de un ejemplo típico, no limitativo del horno de inducción de crisol frío de la presente invención a medida que se aumenta la anchura de los salientes.

La figura 5(b) es una ilustración gráfica de la reducción de las pérdidas óhmicas en la pared de un ejemplo típico, no limitativo del horno de inducción de crisol frío de la presente invención a medida que se aumenta la anchura de los salientes.

25 La figura 5(c) es una ilustración gráfica de la reducción de las pérdidas óhmicas en la pared de otro ejemplo típico, no limitativo del horno de inducción de crisol frío de la presente invención a medida que se aumenta la anchura de los salientes.

30 La figura 5(d) es una ilustración gráfica de la mejora de la eficiencia global de un horno de inducción de crisol frío de la presente invención a medida que se aumenta la anchura de los salientes. En las figuras 5(a)-5(d) la anchura se expresa en pulgadas. Una pulgada equivale a 2,54 cm.

La figura 6 ilustra un ejemplo del horno de inducción de crisol frío de la presente invención en el que se proporcionan ranuras en los salientes y la base del horno.

**Descripción detallada de la invención**

35 Se muestra en la figura 2 y la figura 3, un ejemplo de un horno 10 de inducción de crisol frío de la presente invención. El horno 10 incluye la pared 12 que tiene una pluralidad de salientes 11 en el volumen del crisol adyacente a la base 14. Los salientes se extienden alrededor del perímetro interno de la pared y pueden formarse o bien como parte integral de la pared o bien ajustarse dentro de la pared 12. Los salientes 11 anulares se componen generalmente del mismo material que la pared 12. Aunque se muestran los salientes anulares con una sección transversal sustancialmente rectangular, otras formas de la sección transversal, tales como pero sin limitarse a, 40 semicirculares y semielípticas, o inclinadas, están dentro del alcance de la invención. Además, aunque todos los salientes 11 para este ejemplo particular de la invención son todos del mismo tamaño y forma, pueden usarse salientes de tamaños y formas variables. Las ranuras 18 son ranuras verticales sustancialmente continuas a través de la pared 12 y los salientes 11. Las ranuras pueden terminar en la pared a una distancia por debajo de la parte superior del crisol y/o por encima del fondo del crisol. Sin embargo, las ranuras se proporcionan normalmente en la 45 pared al menos para la longitud a lo largo de la cual se fundirá el metal fundido y entre los salientes 11.

Las ranuras 18 tienen una anchura muy pequeña (exagerada para mayor claridad en la figura), normalmente del orden de 10 a 12 milésimas de pulgada (de 0,25 a 0,31 mm), y se llenan con un material conductor térmico, pero aislante eléctrico, tal como mica. La base 14 está dispuesta dentro del perímetro de los salientes 11 anulares y forma el fondo del volumen de crisol para una carga de metal u otro material eléctricamente conductor que va a calentarse. Tanto la pared 12 (incluyendo los salientes 11) como la base 14 se enfrían con fluido generalmente y se 50

forman de un material que no reaccionará con el material que va a fundirse en el crisol. La base está soportada por debajo del elemento 26 estructural de fondo por los soportes 22 que también pueden usarse como la alimentación y el retorno para un medio de enfriamiento. En el presente ejemplo, hay un hueco estrecho que separa los salientes de la base que pueden llenarse o no con una capa delgada de un material conductor térmico, pero aislante eléctrico (no mostrado en las figuras). La anchura del hueco está normalmente en el intervalo de 0,008 pulgadas a 0,012 pulgadas (de 0,21 a 0,31mm) Alternativamente, la base y los salientes pueden estar térmica y/o eléctricamente en contacto entre sí.

En algunos ejemplos de la invención, uno o más de los salientes 11 pueden estar ranurados. Es decir, uno o más salientes pueden tener ranuras de saliente que no corresponden a las ranuras de pared. Para algunos diseños, la provisión de ranuras de saliente puede proporcionar una trayectoria para flujo adicional para acoplarse a la carga. Las ranuras de saliente normalmente oscilan en anchura según la anchura de las ranuras en la pared superior del crisol. Adicionalmente, pueden practicarse ranuras en la periferia de la base o bien haciendo tope con los salientes o bien separadas aleatoriamente alrededor de la periferia de la base. También en algunos ejemplos de las invenciones, pueden usarse tanto las ranuras de saliente como las ranuras en la periferia de la base. La figura 6 ilustra un ejemplo no limitativo de la invención en el que se proporcionan ranuras 11a de saliente en los salientes y se proporcionan ranuras 14a de base en la base.

La profundidad de penetración de las corrientes parásitas, que se atribuye al efecto pelicular de la corriente CA, es una función de la resistividad eléctrica y la permeabilidad magnética de la carga de metal y la frecuencia con que la fuente de alimentación de CA suministra corriente a la bobina 16 de inducción. Aproximadamente el 63 por ciento de la corriente parásita y el 86 por ciento del poder de fusión, se concentran en lo que se define como "una profundidad de penetración de corriente". Por tanto, el crisol 10 frío de la presente invención proporciona normalmente, pero no a modo de limitación, un saliente con una anchura de aproximadamente una profundidad de penetración de corriente en la carga de metal cerca de la base del crisol, que permite que el crisol se use eficazmente a mayor eficiencia así como con un intervalo más amplio de capacidades de carga incluyendo menores capacidades de carga que las que pueden lograrse para el crisol en la figura 1.

La bobina 16 de inducción rodea la pared del crisol generalmente por encima de la base 14 y se conecta a una fuente de alimentación de CA adecuada (no mostrada en las figuras). Cuando se activa la fuente, fluye corriente a través de la bobina 16 y se crea un campo que produce flujo magnético de CA. El flujo magnético induce corrientes parásitas en la pared 12, la base 14 y la carga de metal colocada en el crisol. La penetración de flujo en la carga de metal es principalmente a través de las ranuras 18 y entre los salientes 11, y una capa delgada de material de pared de delimitación. El calor generado por las corrientes parásitas en la carga funde la carga.

Tal como se indicó anteriormente, las ranuras 18 tienen una anchura muy pequeña. La anchura de las ranuras por encima de la base 18 debe ser muy estrecha puesto que ranuras más anchas permitirían que la carga de metal fundido fundiese el aislamiento en las ranuras y penetrase en las ranuras, donde se congela como lobo. El lobo formado con estos salientes irregulares en las ranuras se vuelve extremadamente difícil de retirar del crisol y normalmente da como resultado daño del crisol. En otro ejemplo de la presente invención, las ranuras por debajo de la base 14 pueden ensancharse tal como se muestra en la figura 3. Las ranuras 18a parciales inferiores ensanchadas, cuando se usan con los salientes 11, permiten una mayor penetración del campo de flujo en la superficie de contacto pared-zona de base, lo que potencia el flujo magnético total en la carga en la superficie de contacto pared-zona de base. Por encima de la base 14, la anchura de la ranura parcial superior está limitada por la necesidad de evitar la penetración de metal líquido en la ranura. Por debajo de la base 14, no se aplica esa limitación, pero la anchura máxima de la ranura parcial inferior (en o por debajo de los salientes) está limitada efectivamente por la disposición del medio de enfriamiento de cada segmento de la pared. Así, normalmente, pero no a modo de limitación, cuando la anchura de una ranura 18b parcial inferior es de 0,010 pulgadas (0,25 mm), la anchura correspondiente de la ranura 18a parcial inferior podría ampliarse hasta estar normalmente, pero no a modo de limitación, en el intervalo de 2 a 4 veces la anchura de la ranura parcial superior correspondiente. En algunos casos, la ranura parcial inferior puede ser de hasta ocho veces la anchura de la anchura de la ranura parcial superior correspondiente, pero en cada caso, el beneficio de ensanchar la ranura parcial inferior sólo se observa cuando, como en el caso de esta invención, se proporciona una trayectoria para que el flujo adicional se acople con la carga. En algunos ejemplos de la invención, pueden usarse anchuras variables de ranura parcial inferior para conformar adicionalmente la penetración del campo de flujo en la superficie de contacto pared-zona de base.

En un ejemplo no limitativo de la invención, los salientes tienen una altura,  $h_p$ , tal como se muestra en la figura 4(b), de 0,38 pulgadas (9,7 mm) y una longitud que está determinada por la anchura del segmento de pared respectivo. El número de salientes coincide normalmente con el número de segmentos de pared que es suficientemente grande, de modo que los salientes son generalmente de sección transversal en alzado rectangular. Es decir, la longitud exterior  $l_{out}$  en la figura 4(c) no es sustancialmente más larga que la longitud interior  $l_{in}$ . Las ranuras 18 tienen una anchura de aproximadamente 0,010 pulgadas (0,25 mm) y el horno 10 se llena con una carga de metal de un peso dentro del intervalo de diseño especificado para el crisol y la aleación o el metal eléctricamente conductor, respectivamente. El volumen sólido equivalente no sería generalmente menor que el representado por la línea 27 (línea de carga del 60 por ciento) mostrada en la figura 2. La corriente en la bobina 16 de inducción para este ejemplo no limitativo de la invención es de 8 kHz. La reducción típica estimada de las pérdidas óhmicas acopladas a la base 14 como porcentaje de las pérdidas óhmicas totales (es decir, pérdidas óhmicas de bobina + pared + base +

5 metal fundido) se representa gráficamente en la figura 5(a) para hornos que van de sin salientes (anchura de saliente 0) a una anchura de saliente,  $w_p$ , de aproximadamente 0,567 pulgadas (14 mm). Se representa gráficamente la reducción relativa de las pérdidas óhmicas en la pared 12 ranurada frente a las pérdidas óhmicas en el metal fundido en la figura 5(b) para hornos que van de sin salientes a una anchura de saliente de aproximadamente 0,567 pulgadas (14 mm). La figura 5(c) ilustra la reducción relativa de las pérdidas óhmicas en la pared 12 ranurada frente a las pérdidas óhmicas en el metal fundido en la que la pared ranurada comprende cobre y la magnitud de la corriente de la bobina de inducción es de 7.590 amperios. Se representa gráficamente en la figura 5(d), la ganancia de eficiencia global del horno para hornos con los datos de diseño en la figura 5(a) y la figura 5(b) para hornos que van de sin salientes a una anchura de saliente de aproximadamente 0,567 pulgadas (14 mm). Se generaron los gráficos anteriores modelando los campos electromagnéticos respectivos usando un software de modelado de campo electromagnético, de análisis por elementos finitos tridimensional.

10 Los ejemplos anteriores no limitan el alcance de la invención dada a conocer. El alcance de la invención dada a conocer se expone adicionalmente en las reivindicaciones adjuntas.

15

**REIVINDICACIONES**

1. Horno de inducción de crisol frío (10) para calentar una carga eléctricamente conductora, comprendiendo el horno de crisol frío:
- 5 una pared de horno al menos parcialmente ranurada (12) y una base para formar el volumen de crisol en el que está contenida la carga eléctricamente conductora;
- una pluralidad de salientes (11) que separan la pared (12) de horno que tiene una pluralidad de ranuras (18) desde la base (14);
- al menos una bobina (16) de inducción que rodea al menos parcialmente la altura de la pared de horno; y
- 10 una fuente de alimentación de CA que tiene su salida conectada a la al menos una bobina (16) de inducción para suministrar alimentación de CA a la al menos una bobina de inducción y generar un campo de CA alrededor de la al menos una bobina de inducción, acoplándose magnéticamente el campo de CA con la carga eléctricamente conductora para calentar de manera inductiva el material eléctricamente conductor mediante corrientes parásitas inducidas en el material eléctricamente conductor, y en el que las ranuras (18) en la pared (12) de horno al menos parcialmente son más anchas por debajo de la base (14) que la anchura de las ranuras (18) por encima de la base (14).
- 15
2. Método de calentamiento de manera inductiva de una carga eléctricamente conductora, comprendiendo el método las etapas de:
- formar un volumen de crisol a partir de una pared (12) de horno al menos parcialmente ranurada y una base (14);
- 20 separar la base (14) de la pared (12) de horno mediante una pluralidad de salientes;
- colocar la carga eléctricamente conductora en el volumen de crisol;
- rodear al menos parcialmente el volumen de crisol con al menos una bobina de inducción;
- suministrar alimentación de CA a la al menos una bobina de inducción para generar un campo magnético para acoplamiento con la carga eléctricamente conductora en el volumen de crisol; y
- 25 ensanchar al menos una de las ranuras (18) en la pared (12) de horno al menos parcialmente ranurada por debajo de la base (14).

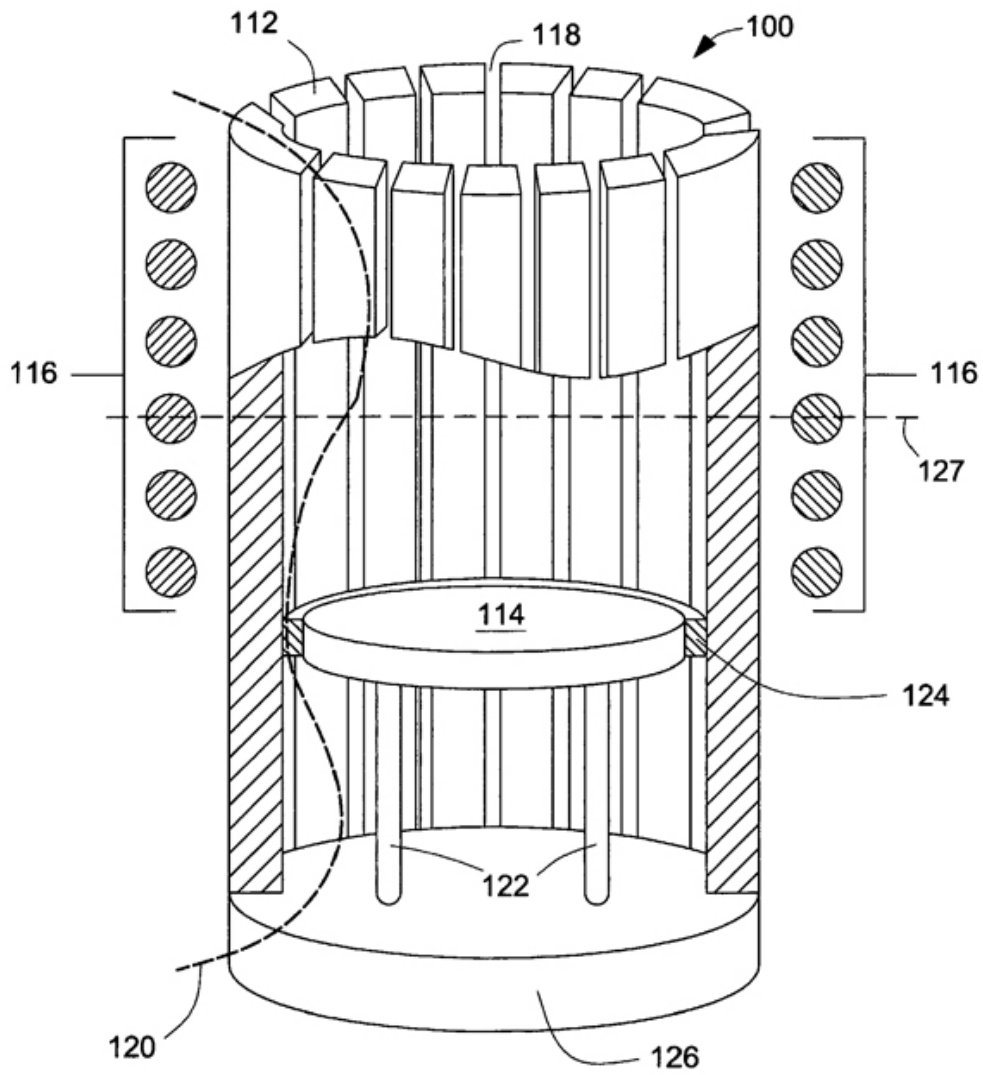


FIG. 1  
TÉCNICA ANTERIOR

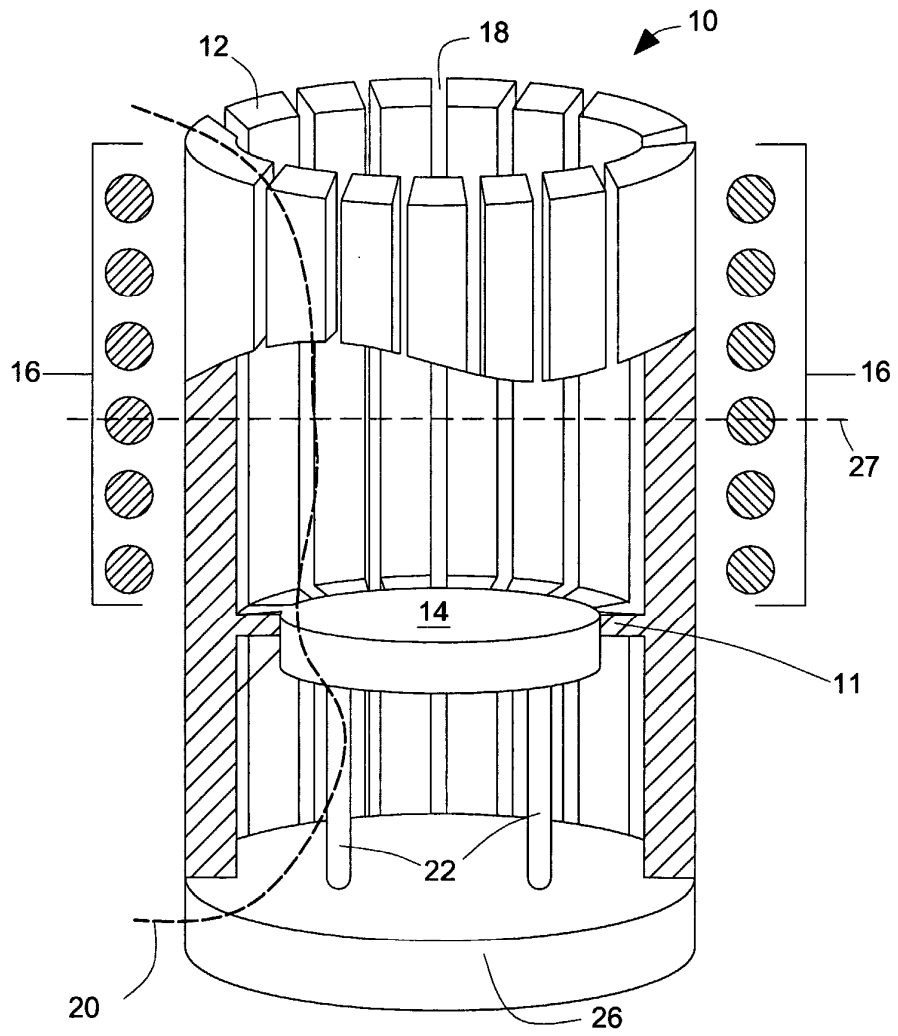


FIG. 2



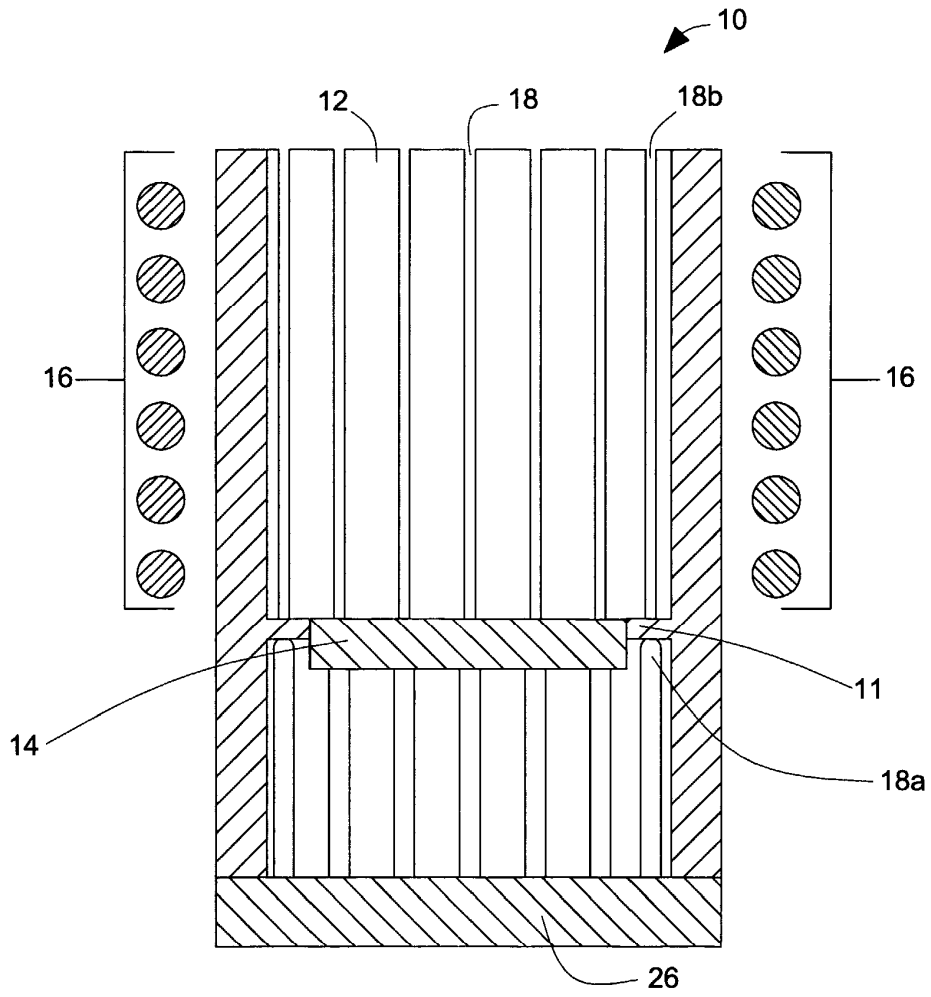


FIG. 3

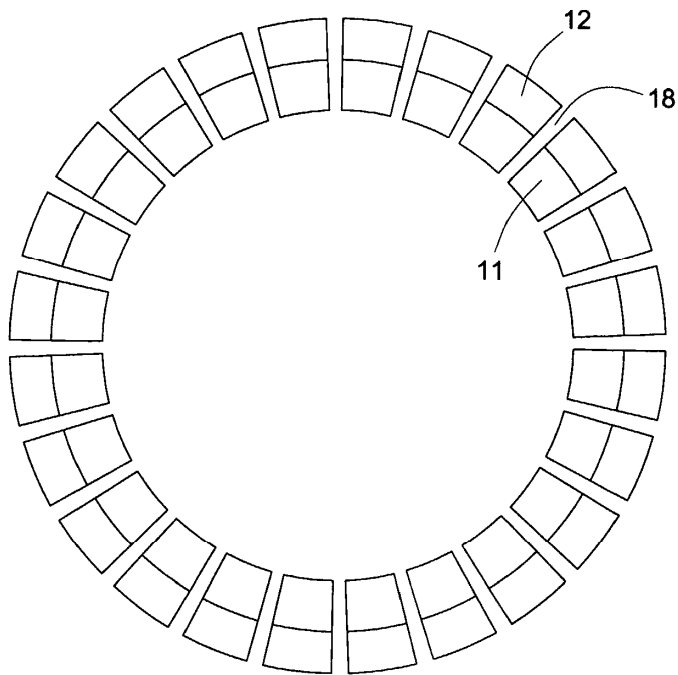


FIG. 4(a)

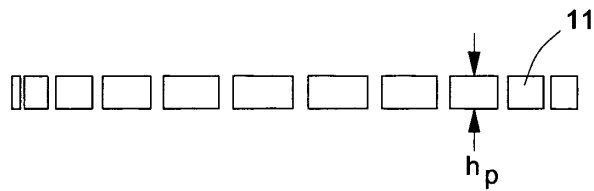


FIG. 4(b)

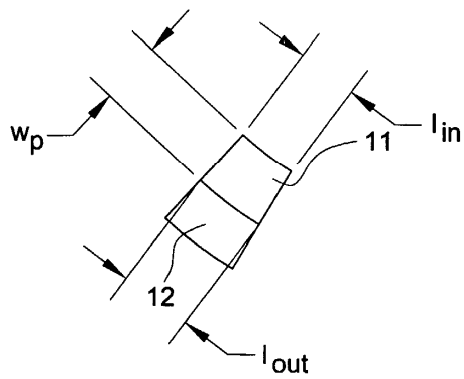


FIG. 4(c)

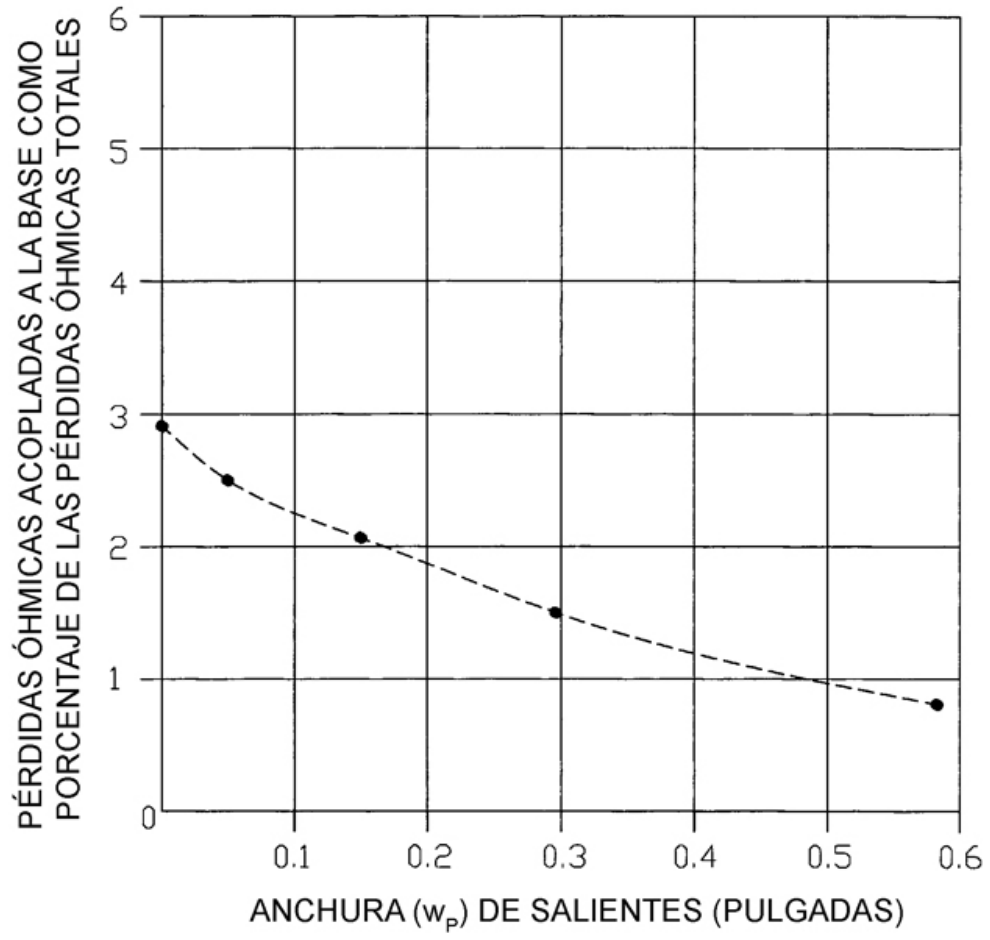


FIG. 5(a)

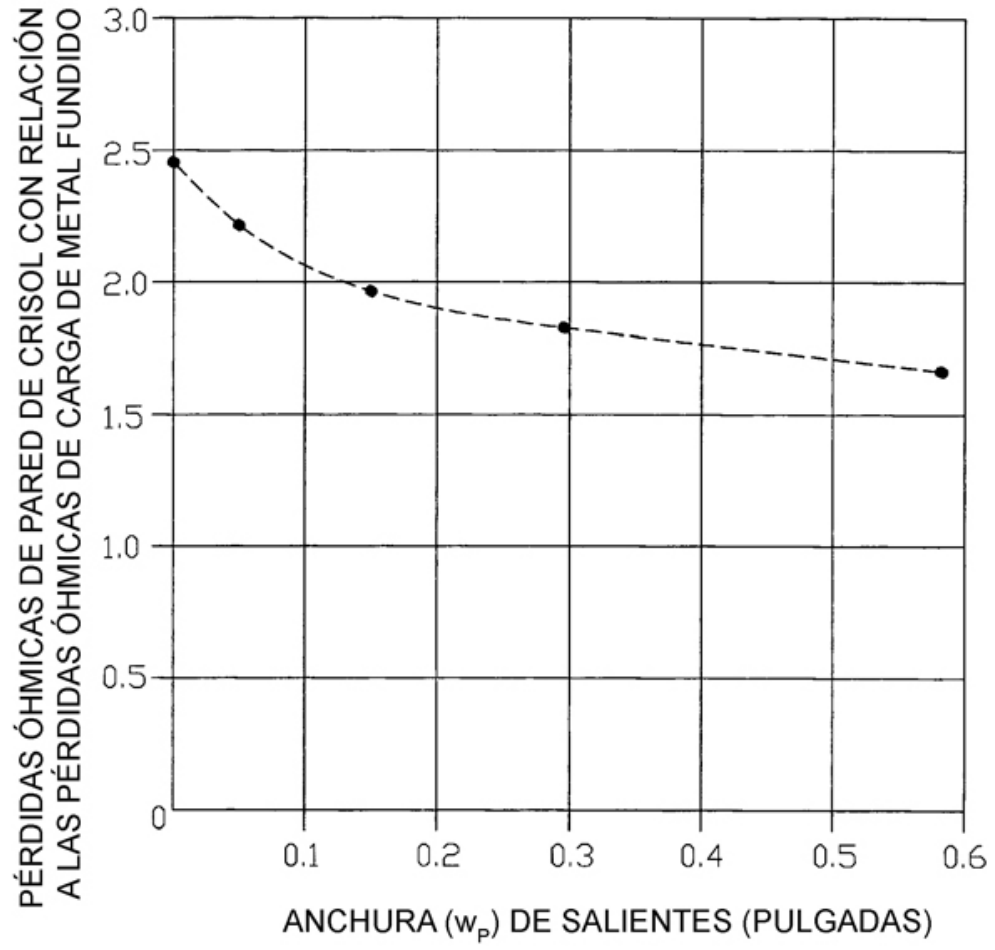


FIG. 5(b)

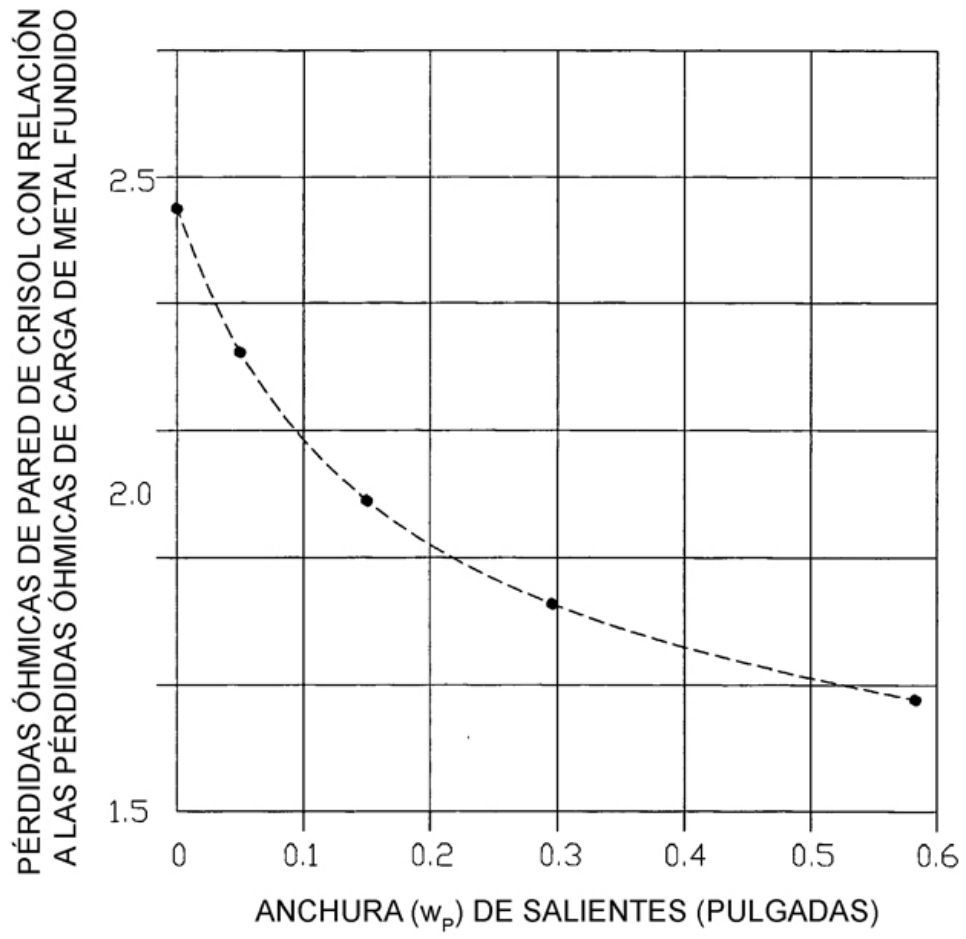


FIG. 5(c)

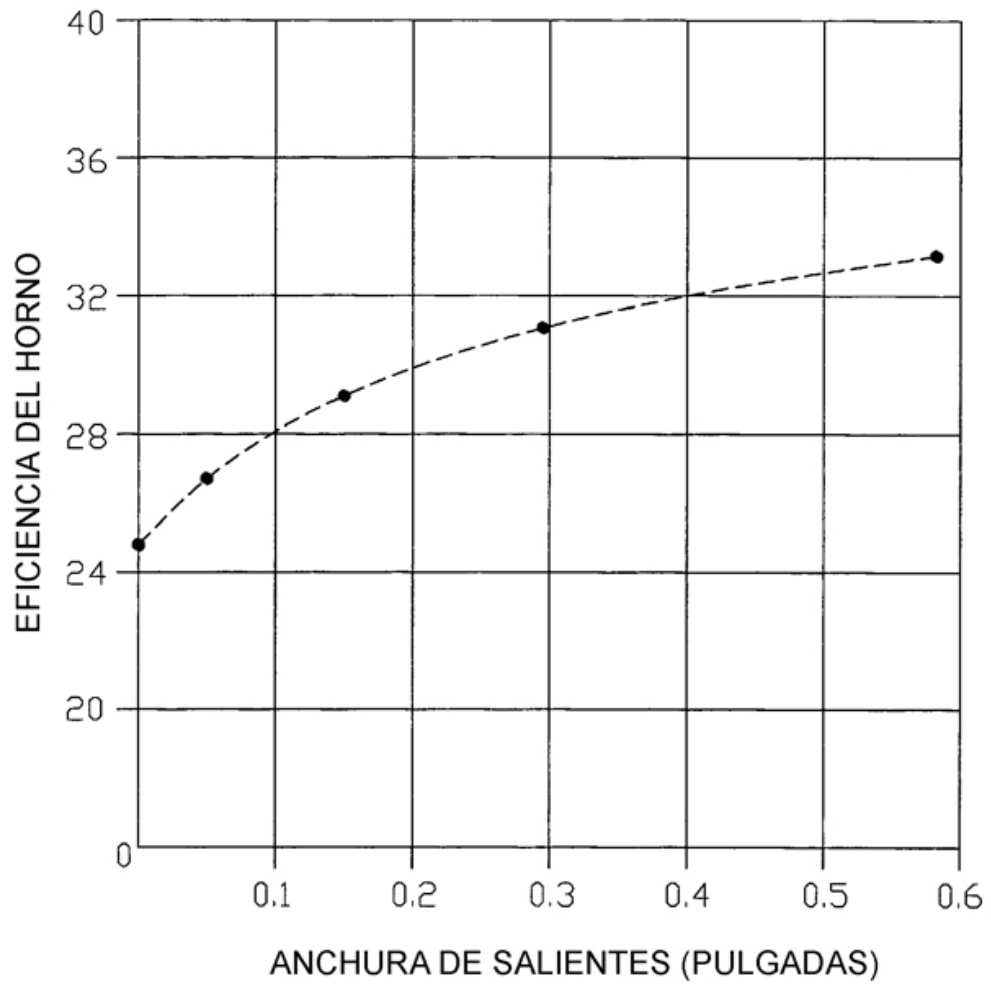
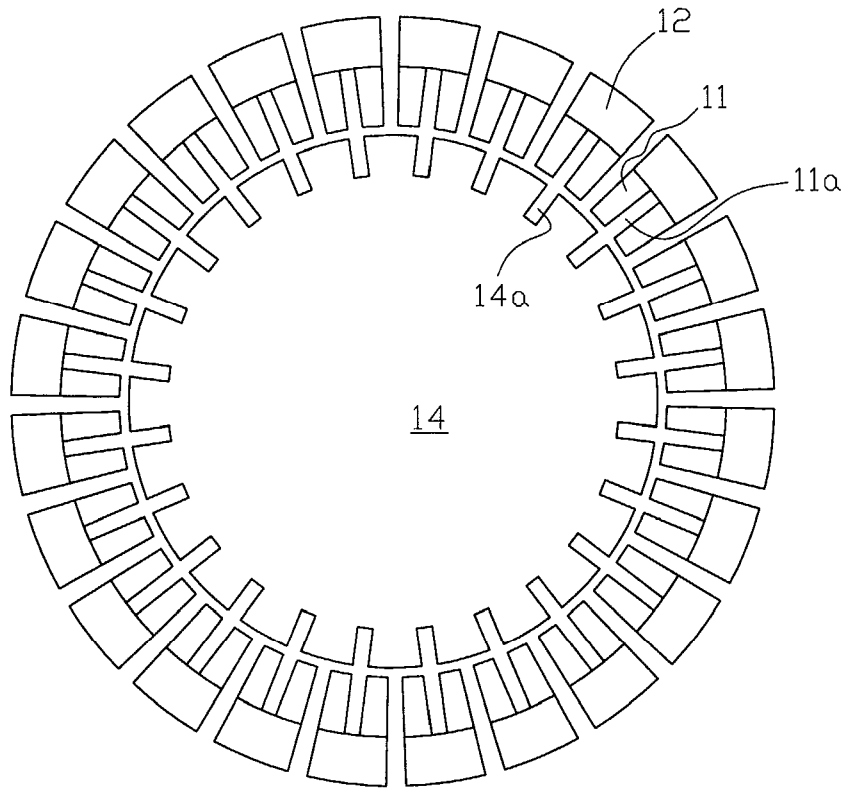


FIG. 5(d)



**FIG. 6**