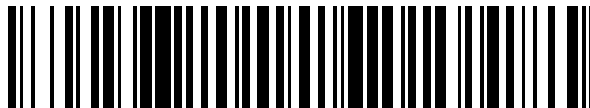


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 528 299**

51 Int. Cl.:

**B22D 1/00** (2006.01)  
**C21C 1/10** (2006.01)  
**C21C 1/08** (2006.01)  
**C22C 33/08** (2006.01)  
**C21D 5/00** (2006.01)  
**C21D 5/14** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.11.2009 E 09804137 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.10.2014 EP 2505282**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo de inoculación**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**06.02.2015**

73 Titular/es:

**FUNDACION INASMET (100.0%)**  
**Parque Tecnológico Mikeletegi Pasealekua, 2**  
**20009 San Sebastián, Gipuzkoa , ES**

72 Inventor/es:

**COBOS JIMÉNEZ, LUIS;**  
**RODRÍGUEZ VÁZQUEZ, FRANCISCO;**  
**ONCALA AVILÉS, JOSE LUIS y**  
**CARNICER ALFONSO, PEDRO**

74 Agente/Representante:

**VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro**

ES 2 528 299 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

Procedimiento y dispositivo de inoculación

5 **Campo de la invención**

La presente invención se refiere a un nuevo procedimiento de inoculación para inocular hierro colado (gris o nodular) y en especial un baño de hierro fundido contenido en un dispositivo de colada (artesa, horno o cuchara) dispuesto entre la salida de un horno de fusión y la línea de moldes. La inoculación permite modificar la estructura metalográfica de base, lo que puede afectar tanto a la forma, tamaño y distribución de grafito en la matriz metálica. La presente invención se refiere asimismo a un dispositivo para poner en práctica dicho procedimiento de inoculación.

**Antecedentes de la invención**

15 La fabricación de piezas de hierro colado requiere de la utilización de determinados aditivos denominados inoculantes que se incorporan al baño de hierro fundido durante el proceso de fusión y/o colada para obtener la estructura metalográfica deseada y garantizar las condiciones internas apropiadas de las piezas.

20 La inoculación se define como la aportación, a un baño metálico en el momento previo a la colada, de determinadas aleaciones para producir cambios en la distribución del grafito, mejoras en las características mecánicas y la reducción de la tendencia al blanqueo.

El propósito de la inoculación es la generación de núcleos de germinación sobre los cuales crecen las fases sólidas durante la solidificación.

25 En determinados casos, estos gérmenes resultan de la adición de partículas finas de la misma fase que se pretende solidificar. Estas partículas no se disuelven completamente, dando lugar a la proliferación de cristales. Así por ejemplo, la adición de carbono grafitico al hierro colado en el momento previo a la colada favorece la nucleación del grafito en el baño metálico y evita el sub-enfriamiento durante la solidificación. No obstante, el carbono utilizado como aditivo debe poseer un elevado grado de cristalización para poder generar gérmenes de nucleación que posibiliten la precipitación del carbono en forma grafitica.

35 Este mismo efecto puede obtenerse a partir de partículas de materiales distintos a los de solidificación. El aumento del número de núcleos en el metal fundido favorece que la solidificación eutéctica, y especialmente la precipitación grafitica, puedan tener lugar con un sub-enfriamiento mínimo, lo que reduce la tendencia a la formación de carburos eutécticos y favorece la precipitación de grafito. La mayoría de los inoculantes utilizados en la actualidad contienen de un 45 a un 75 % de Si y porcentajes variables de Ca y Al principalmente (las aleaciones de Si puro no son eficaces en la inoculación). Dependiendo de las características de las piezas a fabricar y los procesos de fabricación disponibles, pueden incorporar cantidades variables de otros elementos como Ca, Ba, Mg, Mn y Zr que se usan para aumentar la solubilidad y/o la potencia del inoculante.

45 La inoculación puede realizarse en el interior o exterior del molde. El proceso tradicional de inoculación externa, y el más común, consiste en añadir inoculante en la corriente de metal procedente de la cuchara de trasvase o tratamiento durante el llenado de la cuchara de colada. Se trata de obtener una mezcla homogénea y una buena dilución del inoculante. Este proceso tiene importantes limitaciones que afectan tanto al peso de metal a tratar (no es válido para pequeñas cantidades) como al tiempo útil de colada (el desvanecimiento del efecto inoculante es muy rápido).

50 En la inoculación exterior al molde se emplean materiales granulados o en forma de hilo que se incorporan al metal fundido de forma diversa y en puntos distintos de la línea de colada.

La patente GB 2069898 describe un proceso de inoculación por hilo para un horno de colada por presión, donde el material inoculante se incorpora al paso del metal fundido en el canal de salida del tanque, conduciendo el metal fundido hasta el canal de colada, en cuyo extremo opuesto se encuentra boquilla de colada por la que se procede al llenado del molde. Tal como se desprende del diseño presentado, este procedimiento presenta algunos defectos o limitaciones operativas, derivadas principalmente de la regularidad del flujo de colada. Resulta evidente que una parada en la línea de moldeo provoca la correspondiente parada en la unidad de colada, con el consiguiente desvanecimiento del efecto inoculante y el rápido enfriamiento del metal expuesto en el canal de colada abierto.

60 Una forma de evitar el problema mencionado consiste en proyectar partículas de inoculante sobre el chorro de colada en el momento justo en que éste entra en el molde. Un procedimiento de inoculación de este tipo se describe en la patente JP 55122652. En este caso, el inconveniente de la operación se traduce en un rendimiento irregular y, por lo general bajo, debido a la pérdida de material que se produce por la propia proyección y por el rebote de parte de las partículas sobre la corriente de metal. Estos métodos de proyección presentan un inconveniente añadido que es la dificultad de adaptación del caudal al caudal del metal debido a que se produce en el momento preciso del llenado. La práctica habitual consiste en establecer un caudal fijo de inoculante de acuerdo con el caudal medio de la colada, teniendo en cuenta que durante el llenado del molde el caudal puede oscilar entre cientos de gramos y varios kilos por

segundo. Durante una operación convencional de llenado de un molde, resulta evidente que se produce una falta de proporcionalidad, es decir, que existirán en el molde partes sobre-inoculadas frente a otras infra-inoculadas, pudiendo dar lugar a defectos de índole contraria en el mismo molde.

5 En cuanto a la inoculación con carbono grafitico mencionada anteriormente, se puede destacar que el C tiene en el diagrama Fe-C una saturación en el punto eutéctico ( $T_E = 1153 \text{ }^\circ\text{C}$ ) de un 4,26 %. Los elementos de aleación aumentan o disminuyen la temperatura de este punto de saturación. En la inoculación con grafito se debe observar con mucha atención la solubilidad. Tan pronto como el carbono grafitico aportado se disuelve, pierde sus propiedades como germinante, lo que implica un rápido desvanecimiento de su efecto de forma incontrolada en función de la temperatura, composición química y grado de agitación de la masa fundida caliente. Esto hace que la inoculación con grafito sea un método poco utilizado.

15 Esta inoculación puede resultar indispensable en condiciones extremas de la fundición, tales como fundiciones quemadas, con bajo contenido de  $O_2$ , que provocan una débil reacción hasta la germinación con óxidos. En este caso la incorporación del grafito se debe realizar justo antes del llenado del molde, lo que implica una baja temperatura y un tiempo de espera reducido para la solidificación.

20 La aparición en el mercado de hornos de colada con inductor y presurizados con nitrógeno supuso una gran mejora en los procesos de fabricación y se tradujo en un aumento inmediato de la productividad. No obstante, la calidad y los costes de fabricación no se vieron igualmente beneficiados ya que los nuevos hornos introducían nuevas problemáticas específicas derivadas de su propia concepción y diseño.

25 Estos hornos permiten mantener el metal disponible para la colada durante más tiempo ya que corrigen los dos inconvenientes principales anteriormente citados, es decir, la pérdida de temperatura del metal y el desvanecimiento del magnesio (en fundición nodular). No obstante, presenta un problema general de operación muy importante: el horno debe mantenerse siempre con metal fundido cubriendo el inductor, por lo que éste debe permanecer siempre en operación. La pérdida de calidad metalúrgica experimentada por el metal durante su recirculación a través del inductor debe añadirse a los costes derivados del mantenimiento del metal durante los períodos no operativos. Se ha constatado que los principales parámetros de control de la curva de enfriamiento (temperatura del eutéctico y recalcencia) sufren una progresiva degradación lineal en función de la temperatura del metal y el tiempo de permanencia en el tanque.

35 Para compensar y corregir este deterioro se utilizan dos técnicas ya mencionadas: en primer lugar se inocula el metal durante el llenado del horno mediante la aportación del material a la corriente de la cuchara de transferencia; a continuación, se inocula el metal en la corriente de colada por medio de proyección en el momento en que se llena el molde. La combinación de estas dos técnicas permite un grado aceptable de control sobre la calidad metalúrgica y es, hoy en día, el procedimiento comúnmente utilizado en las fundiciones que disponen de este tipo de horno.

40 No obstante, a la suma de aspectos positivo se contraponen la suma de los aspectos negativos, es decir, el proceso acumula el defecto del desvanecimiento y el de la falta de proporcionalidad y eficacia del inoculante. A ello hay que añadir el defecto de generación de escorias producidas por la aportación de aleación sólidos en fase de colada.

45 Por tanto, sigue existiendo la necesidad en el estado de la técnica de proporcionar un nuevo procedimiento de inoculación de hierro colado que solucione al menos en parte los inconvenientes mencionados.

### Breve descripción de las figuras

50 Figura 1 es un diagrama de un distribuidor de colada con una configuración de canal de colada en un horno de colada en el que a-1 o a-2 indican que el ánodo puede estar aguas arriba o aguas abajo del cátodo; c es el cátodo; S es el cilindro de cierre de la boquilla de salida de metal al molde (dispositivo de detención); f es el hierro colado y M el molde.

Figura 2 es un diagrama de un distribuidor de colada con una configuración de artesa en la que a-1 o a-2 indican que el ánodo puede estar aguas arriba o aguas abajo del cátodo.

55 Figura 3 es un diagrama de un distribuidor de colada con una configuración de cuchara de colada basculante en la que c-1 y c-2 indican dos posibles posiciones del cátodo en el canal de colada de la cuchara o en el tanque de la cuchara y a-1 y a-2 indican las posibles posiciones del ánodo.

Figura 4 es un diagrama de un distribuidor de colada con una configuración de cuchara con trasvase a bandeja de colada en la que a y c representan la posible posición del ánodo y el cátodo en el distribuidor de colada y c la posición del cátodo en la bandeja de colada.

60 Figura 5 muestra una curva de enfriamiento estático, que indica la evolución del  $T_{eLow}$  y Recalcencia en una aleación de hierro colado utilizando el procedimiento de inoculación de la invención.

Figura 6 muestra una curva de enfriamiento dinámica, que indica la evolución del  $T_{eLow}$  y Recalcencia en una aleación de hierro colado utilizando el procedimiento de inoculación de la invención.

65

**Descripción de la invención**

- La presente invención se refiere en un primer aspecto a un procedimiento para la inoculación de un aditivo una aleación de hierro colado que comprende establecer un arco de plasma entre la superficie de dicha aleación y un cátodo de una antorcha de plasma de arco transferido dispuesta en un distribuidor de colada situado antes de la línea de moldes. En el ámbito de la presente invención se entiende por distribuidor de colada un dispositivo de colada dispuesto entre la salida de un horno de fusión y la línea de moldes. Se entiende también que la aleación de hierro colado presente en el distribuidor de colada se mueve en dirección a la línea de moldes.
- La citada antorcha de plasma comprende un ánodo parcialmente sumergido en la aleación de hierro colado y un cátodo dispuesto sobre la aleación.
- En una realización particular el cátodo comprende grafito y el ánodo es cualquier ánodo convencional. En otra realización particular el ánodo comprende grafito y el cátodo es cualquier cátodo convencional. En otra realización particular cátodo y ánodo comprenden grafito. El grafito del cátodo, ánodo o de ambos aporta a la aleación de hierro el aditivo de nucleación. En el ámbito de la presente invención, dicho aditivo viene representado por especies de carbono desprendidas del ánodo, cátodo o ambos, y se entiende por especies de carbono aquellas que comprenden uno o más átomos de carbono cargados con una o más cargas positivas.
- En una realización preferente dicho grafito es grafito sintético cristalino.
- Cuando las especies de carbono se desprenden del cátodo, se incorporan a la aleación por arrastre del gas de plasma generado por el arco de plasma, comprendiendo la parte del cátodo en contacto con el gas de plasma grafito sintético cristalino.
- El cátodo de la antorcha de plasma se dispone sobre la superficie del metal a una altura variable a voluntad, desde la cual se genera un arco eléctrico que incide en la superficie de la aleación de hierro colado. Este cátodo dispone de un orificio central en toda su longitud a través del cual se introduce un gas plasmágeno, preferentemente un gas inerte (nitrógeno, argón...). Cuando se aplica una corriente eléctrica y se establece el arco, la temperatura del cátodo se eleva debido al doble efecto de paso de la corriente y la radiación del propio arco, alcanzando dicha temperatura su valor máximo en la punta del electrodo ya que es la zona de contacto del arco. En su núcleo se alcanzan temperaturas superiores a 4.000 °C, lo que provoca el rápido calentamiento de la punta del electrodo y se inicia el desprendimiento de especies de carbono. Estas especies de carbono son arrastradas por el propio gas de plasma e inyectadas en la aleación de hierro fundido, actuando como un poderoso inoculante que se distribuye de forma homogénea en la masa fundida gracias a la propia acción del plasma y al movimiento de la aleación de hierro fundido en el interior del distribuidor de colada.
- La regulación de la aportación de especies de carbono desde el cátodo se realiza mediante el control de la potencia de la antorcha de plasma aplicada y el caudal de gas plasmágeno utilizado en cada momento, actuando ambos de forma directamente proporcional ya que la aportación aumenta en la medida en que lo hagan la temperatura del cátodo y la capacidad de arrastre del gas, respectivamente. De esta forma pueden obtenerse idénticos resultados mediante el equilibrio del caudal de gas y la potencia aplicada. Si se trabaja con baja potencia es preciso aumentar el caudal de gas para acelerar el efecto de arrastre; por el contrario, con altas potencias, el caudal deberá disminuirse para mantener el mismo volumen de aportación de especies de carbono.
- Cuando el ánodo comprende grafito el aditivo de nucleación se desprende del mismo y se incorpora a la aleación de hierro por medio del contacto del ánodo con la aleación de hierro colado, comprendiendo la parte del ánodo en contacto con la aleación de hierro colado grafito, preferentemente grafito sintético cristalino.
- El ánodo es el segundo electrodo de la antorcha de plasma y su principio de aportación de especies de carbono difiere del principio del cátodo por su función y disposición en el conjunto. Dado que el circuito de corriente se cierra a través del ánodo que está sumergido en la aleación de hierro colado, esto supone dos importantes diferencias respecto al cátodo. En primer lugar no se dispone de arco en la punta del ánodo, y por tanto la temperatura en la zona de contacto del ánodo con la aleación de hierro fundido es considerablemente más baja que la del cátodo, ya que se refrigera permanentemente con la aleación de hierro fundido que lo circunda. En segundo lugar, el ánodo es sólido y esto supone que la función de arrastre del gas plasmágeno que ocurre, en su caso, en el cátodo como se ha expuesto anteriormente, se sustituye por la abrasión y dilución ejercidas por la aleación de hierro colado en su movimiento en el distribuidor de colada.
- El poder de inoculación del ánodo se basa fundamentalmente en la capacidad del sistema para incorporar a la aleación de hierro colado la cantidad justa y necesaria de inoculante requerida en cada momento de la colada. El ánodo puede sumergirse en la aleación a voluntad, sin que por ello se modifique el punto de referencia de potencia ni otras variables eléctricas. El resultado es que puede controlarse el área de ánodo (área de grafito) expuesta a la acción abrasiva de la aleación de hierro colado de forma discrecional e inmediata.

En el caso de que el ánodo y cátodo comprendan grafito, el aditivo de nucleación se desprende tanto del ánodo como del cátodo a través de los mecanismos mencionados anteriormente para las realizaciones individuales de ánodo de grafito y cátodo de grafito, sumándose así los efectos inoculantes de ambos electrodos (ánodo y cátodo).

5 Además, el ánodo y el cátodo pueden estar dispuestos de forma que la radiación del arco de plasma generado en el cátodo actúe sobre la parte no sumergida del ánodo, provocando el calentamiento del ánodo (por ejemplo, estando alojados el ánodo y cátodo en una misma cámara). En este caso, el volumen de incorporación de especies de grafito se ve además favorecido por la alta temperatura que se alcanza en la parte no sumergida del ánodo y que se transmite por conducción a la parte sumergida en la aleación. Esta temperatura es directamente proporcional a la potencia  
10 aplicada en el arco de plasma ya que dicho calentamiento se produce principalmente por la radiación procedente del arco. Por lo tanto, en aquellas disposiciones en las que ánodo y cátodo se encuentren ubicados en la misma cámara, el control del grado de inoculación debe contemplar esta variable por su gran incidencia en la aceleración del proceso.

15 En su conjunto, las variables que intervienen en la mecánica de la inoculación son el caudal, velocidad y temperatura de la aleación de hierro colado, por una parte, y la potencia aplicada, el caudal de gas plasmágeno, la distancia entre ánodo y cátodo y la superficie de contacto del ánodo con la aleación de hierro fundido por otra. Evidentemente, el control de la operación se realiza mediante la adaptación de los parámetros de trabajo del sistema de plasma a las necesidades impuestas por la metalurgia y el caudal de metal colado en tiempo real, manteniendo en todo momento el grado de inoculación preciso en el metal dispuesto para su colada inmediata. Este procedimiento de inoculación  
20 permite alcanzar unos niveles de precisión y fiabilidad muy superiores a los estándares existentes en el mercado

El procedimiento de la invención puede en principio llevarse a cabo en cualquier distribuidor de colada convencional. En una realización particular del procedimiento de la presente invención el distribuidor de colada presenta una configuración seleccionada de entre: 1) canal de colada de un horno de colada; 2) una artesa de colada (por ejemplo  
25 Tundish); 3) una cuchara de colada basculante; y 4) una cuchara con trasvase a bandeja de colada.

Por lo tanto, una ventaja importante del procedimiento de la invención reside en que permite la gestión unitaria y variable de los electrodos (ánodo y cátodo), y de las condiciones y los parámetros indicados: potencia de la antorcha de plasma, caudal de colada, temperatura de colada y área sumergida de superficie de ánodo, lo cual resulta en un  
30 control absoluto de la inoculación. El procedimiento permite disponer de una amplia gama de posibilidades de aportación de especies de carbono a la aleación de hierro colado que circula en dirección de colada, de forma que la calidad metalúrgica final pueda adaptarse de forma continua a las exigencias marcadas por la producción y acorde con las pautas de control analítico utilizadas en fundición.

35 Otra ventaja muy importante deriva de la posición de la antorcha de plasma de arco transferido en el distribuidor de colada ya que los puntos de aportación del aditivo están próximos a la línea de moldeo, lo que permite obtener un alto rendimiento de nucleación debido a la práctica eliminación del efecto de desvanecimiento.

Se ha utilizado el Análisis Térmico Diferencial (ATD) para determinar los efectos del procedimiento de inoculación en  
40 una aleación de hierro fundido. El ATD es una herramienta que predice la calidad metalúrgica de las aleaciones en estado líquido y, por tanto, conocer a priori la formación de fases tras la solidificación. Con el ATD es posible evaluar de forma integrada el efecto combinado de todas las variables que influyen en la nucleación de las fases presentes en la estructura metalográfica del material, junto con la posibilidad de estimar la probabilidad de aparición de defectos de tipo metalúrgico (cementita) y/o de tipo alimentación (cavidad por contracción).

45 Esta técnica se basa en la interpretación de las curvas de enfriamiento de la aleación durante la solidificación. Una curva de enfriamiento es la representación de la evolución de la temperatura en función del tiempo, de una muestra que se ha sometido a colada en un molde normalizado, con un termopar situado en el centro.

50 Mediante la interpretación matemática de las curvas de enfriamiento, es posible determinar las temperaturas críticas a las que se producen las transformaciones de estructura interna durante la solidificación del metal.

La interpretación de las curvas de enfriamiento y de sus puntos críticos es compleja. Algunos de los parámetros y temperaturas de transformación más importantes son los siguientes:

- 55 o Temperatura eutéctica inferior ( $T_{E\text{low}}$ ): Es la temperatura a la cual la pérdida de calor fruto del enfriamiento de la pieza se ve compensada por el calor desprendido en la reacción eutéctica de precipitación del grafito. Esta temperatura constituye en las fundiciones grises una medida del estado de nucleación del metal.
- o Recalescencia (R): La recalescencia mide en °C la diferencia entre la  $T_{E\text{low}}$  anteriormente descrita y la  
60 Temperatura eutéctica superior ( $T_{E\text{high}}$ ), que es la temperatura que alcanza el material fruto del calor desprendido durante la nucleación y precipitación del grafito.

Con objeto de obtener piezas que reúnan las características apropiadas, es conveniente tener valores bajos de Recalescencia y una temperatura eutéctica inferior ( $T_{E\text{low}}$ ) lo más alta posible. De este modo, se evita la precipitación  
65 de grafitos sub-enfriados o incluso la presencia de cementita y, por otro lado, la expansión gráfica queda compensada en la contracción secundaria, evitando cavidades por contracción y porosidades internas.

Se ha podido comprobar que el procedimiento de inoculación de la invención disminuye la recalcancia de la aleación de hierro colado y aumenta la temperatura eutéctica inferior.

Es también objeto de la invención un dispositivo inoculación de un aditivo de nucleación a una aleación de hierro colado que comprende una antorcha de plasma de arco transferido y un distribuidor de colada en el que la antorcha de plasma está dispuesta en dicho distribuidor de colada situado antes de la línea de moldes, comprendiendo la citada antorcha de plasma un ánodo parcialmente sumergido en una aleación de hierro colado presente en el distribuidor de colada y un cátodo situado sobre la superficie de dicha aleación de hierro colado, para establecer un arco de plasma entre el cátodo y la superficie de la aleación fundida, comprendiendo el ánodo o el cátodo o ambos grafito que aporta a la aleación de hierro fundido dicho aditivo de nucleación.

El grafito puede ser grafito sintético cristalino.

El ánodo puede estar provisto de medios para regular el área de la superficie del ánodo que queda sumergida en la aleación de hierro fundido. La posibilidad de regular la cantidad de ánodo que se sumerge en la aleación de hierro colado permite controlar la cantidad de ánodo que se funde y por tanto la cantidad de aditivo de nucleación que se inocula a la aleación de hierro colado desde el ánodo.

Por ejemplo, por una parte, el control de la temperatura de colada se realiza mediante la aplicación regular de potencia dependiendo del intervalo de temperatura fijado para cada referencia y las temperaturas registradas en el propio distribuidor y/o en la corriente de colada, es decir, en el momento en que el metal es transferido al molde. Mientras la inoculación por su parte se regula dependiendo de la potencia aplicada en un determinado momento. Así, para el caso en el que el ánodo y el cátodo sean de grafito, si la potencia es elevada, la profundidad de inmersión del ánodo se reduce de forma proporcional ya que la transferencia de especies de carbono se realiza preferentemente desde el cátodo. No obstante, cuando la potencia se reduce, el ánodo se sumerge a una mayor profundidad para ofrecer una mayor superficie de disolución y compensar así la menor transferencia de especies de carbono por parte del cátodo.

La antorcha de plasma puede comprender medios de regulación de la potencia del arco de plasma.

El distribuidor de colada puede presentar una configuración seleccionada de entre:

1) canal de colada de un horno de colada. Estos hornos disponen de un tanque central de almacenamiento y una boca de carga para el relleno del metal procedente del horno de fusión. Los tanques son estancos y el metal se desplaza al canal de colada por efecto de la presión de un gas que se inyecta en el tanque. Para la presurización del tanque se utiliza comúnmente nitrógeno ya que es un gas inerte que no afecta a la composición del metal, aunque en la fabricación de hierro colado gris o maleable se emplea aire ya que no contiene elementos fácilmente oxidables. Cuando el metal ha alcanzado su nivel de trabajo en el canal de colada, se inician el calentamiento e inoculación del baño por medio de los electrodos. Su posición en el canal de colada está condicionada principalmente por las dimensiones de éste y puede alterarse discrecionalmente sin que ello suponga ninguna merma en sus prestaciones. El metal se vierte al molde a través de la boquilla de colada montada en la parte inferior del canal de colada y situada sobre el eje de la copa de llenado del molde. El caudal de llenado se regula mediante el dispositivo de detención o tapón de cierre de la boquilla. El nivel de metal en el canal de colada se mantiene constante mediante la regulación de la presión ejercida en el interior del tanque de almacenamiento y se controla en superficie por medio de electrodos de contacto. En un dispositivo de este tipo, tal y como se representa en la Figura 1, el ánodo puede encontrarse tanto aguas arriba a-1 como aguas abajo a-2 respecto de la posición de cátodo (C) en el canal de colada.

2) Artesa de colada. Este dispositivo de colada es una simplificación del horno presurizado y consta básicamente de un tanque abierto en el que se vierte y mantiene el metal fundido durante la colada. El sistema de vaciado se compone de los mismos elementos, es decir, conjunto de boquilla y dispositivo de detención y, a diferencia del anterior, el nivel del metal en la artesa no es constante ya que disminuye a medida que avanza la colada. Los efectos del calentamiento e inoculación se transmiten a toda la masa de metal almacenado y, tal como se indica en el esquema, se puede modificar libremente la configuración de los electrodos del sistema de plasma en función de la geometría de la artesa. También en este caso, el ánodo puede encontrarse aguas arriba a-1 o aguas abajo a-2 respecto de la posición del cátodo (C) en el canal de colada.

3) Cuchara basculante. Este tipo de cucharas se utiliza principalmente en líneas de moldeo horizontal y para pesos de molde medio-alto (superior a 25 Kg) debido a la dificultad que entraña el ajuste de caudales de colada por medio de basculado directo a molde. Debido a su especial geometría, las opciones de inoculación por medio de un ánodo se limitan al tanque de almacenamiento mediante un ánodo que desciende junto con el nivel de metal como tal, en situación de mantenimiento. Se puede optar por una ubicación del ánodo en posición a-1 o a-2. No obstante, el cátodo puede situarse en c-1 o c-2 dependiendo de las necesidades particulares de la fundición, recomendándose c-1 para el mantenimiento en periodos de espera y c-2 para el control de temperatura en colada.

4) Una cuchara con trasvase a bandeja de colada. Esta es una variante de la cuchara basculante en la que se presenta como opción el trasvase intermedio desde la cuchara de suministro a una bandeja de colada que se sitúa en el eje de la copa de llenado del molde. Este sistema permite el montaje de un sistema de plasma dual en el que se dispone de una primera antorcha de plasma, con los electrodos a-1 y c-1, instalada en la cuchara de

alimentación o de suministro, donde se inocula y mantiene la temperatura del metal. Como equipo complementario, se puede incorporar una antorcha de plasma a-2, c-2 de baja potencia para ajustar la temperatura de colada en la propia bandeja intermedia.

5 El ánodo y cátodo pueden encontrarse en el distribuidor de colada ubicados en el eje de circulación y dirección de vaciado hacia el molde de la aleación de hierro fundido.

El ánodo o el cátodo o ambos pueden estar dispuestos dentro de una cámara cerrada en atmósfera inerte.

10 La antorcha de plasma puede actuar como medio de calentamiento que puede aumentar la temperatura de la aleación de hierro colado para su ajuste a una temperatura de referencia de colada, con una tolerancia inferior a  $\pm 5$  °C.

A continuación se presentan ejemplos ilustrativos de la invención que se exponen para una mejor comprensión de la invención y en ningún caso deben considerarse una limitación del alcance de la misma.

15

### Ejemplos

#### Ejemplo 1: Etapa de inoculación durante el procedimiento de fabricación de una pieza de hierro colado gris.

20 La etapa de inoculación se realizó en forma estática en una cuchara de colada basculante (Figura 3). El metal utilizado fue hierro colado gris (600 Kg añadidos a la cuchara). Se utilizó un ánodo de grafito sintético cristalino con un diámetro de 50 mm. El cátodo utilizado fue de grafito sintético perforado de 8 mm. La distancia entre ánodo y cátodo fue de 230 mm. La profundidad de inmersión del ánodo fue de 50 mm.

25 Se utilizaron electrodos (ánodo y cátodo) UHP (Pureza Ultra Elevada) cuyas características son:

Resistividad eléctrica específica:  $6,5 \mu\Omega/\text{metro}$

Resistencia de torsión: 9,0 Mpa.

Módulo de elasticidad: 12,0 GPa

30

Cenizas max: 0,3 %.

Densidad del grano:  $1,65 \text{ g/cm}^3$ .

El tiempo de ensayo fue de 95 min durante el cual se mantuvo la temperatura del baño constante a 1.430 °C. La potencia media aplicada fue de 57 Kw.

35

El contenido de carbono al inicio de la prueba fue de un 3,47 % y el contenido de carbono al final de la prueba fue un 3,48 % (ambos % en peso respecto al peso total de la masa fundida). Dicho contenido se determinó por medio de espectrometría de emisión LECO Y. La temperatura del eutéctico (Telow) al inicio del ensayo fue de 1.144 °C y la temperatura del eutéctico al final de la prueba fue 1.151 °C.

40

El consumo de ánodo fue de 2,4 gramos/Kw.

El consumo de cátodo fue de 1,8 gramos/Kw.

La Figura 5 muestra la curva de enfriamiento de la aleación de hierro colado, indicando la evolución del TeLow y Recalescencia.

45

#### Ejemplo 2: Etapa de inoculación durante el procedimiento de fabricación de una pieza de hierro colado nodular.

La etapa de inoculación se realizó en forma dinámica en canal de colada con inductor (Presspour) (Fig 1). El metal utilizado fue hierro colado nodular, siendo el peso de metal en el canal de 280 Kg y el caudal de colada de 7,2 Toneladas/hora. La configuración de los electrodos fue con el ánodo aguas arriba del cátodo.

50

Se utilizó un ánodo de grafito sintético cristalino o con un diámetro de 50 mm. El cátodo utilizado fue de grafito sintético cristalino perforado de 8 mm.

55 Se utilizaron electrodos (ánodo y cátodo) UHP (Pureza Ultra Elevada) cuyas características son:

Resistividad eléctrica específica:  $6,5 \mu\Omega/\text{metro}$

Resistencia de torsión: 9,0 Mpa.

Módulo de elasticidad: 12,0 GPa

60

Cenizas max: 0,3 %.

Densidad del grano:  $1,65 \text{ g/cm}^3$ .

La distancia entre ánodo y cátodo fue de 180 mm. La profundidad de inmersión del ánodo fue de 70 mm. El tiempo de ensayo fue de 180 min durante el que la temperatura del baño se mantuvo entre 1390 y 1410 °C. La potencia media aplicada por el plasma fue de 24 Kw y de 150 Kw en el inductor.

65

## ES 2 528 299 T3

La temperatura del eutéctico (TeLow) al inicio de la prueba fue 1.138 °C y la temperatura del eutéctico al final de la prueba fue 1.141 °C.

5 El consumo de ánodo fue de 3,8 gramos/Kw.

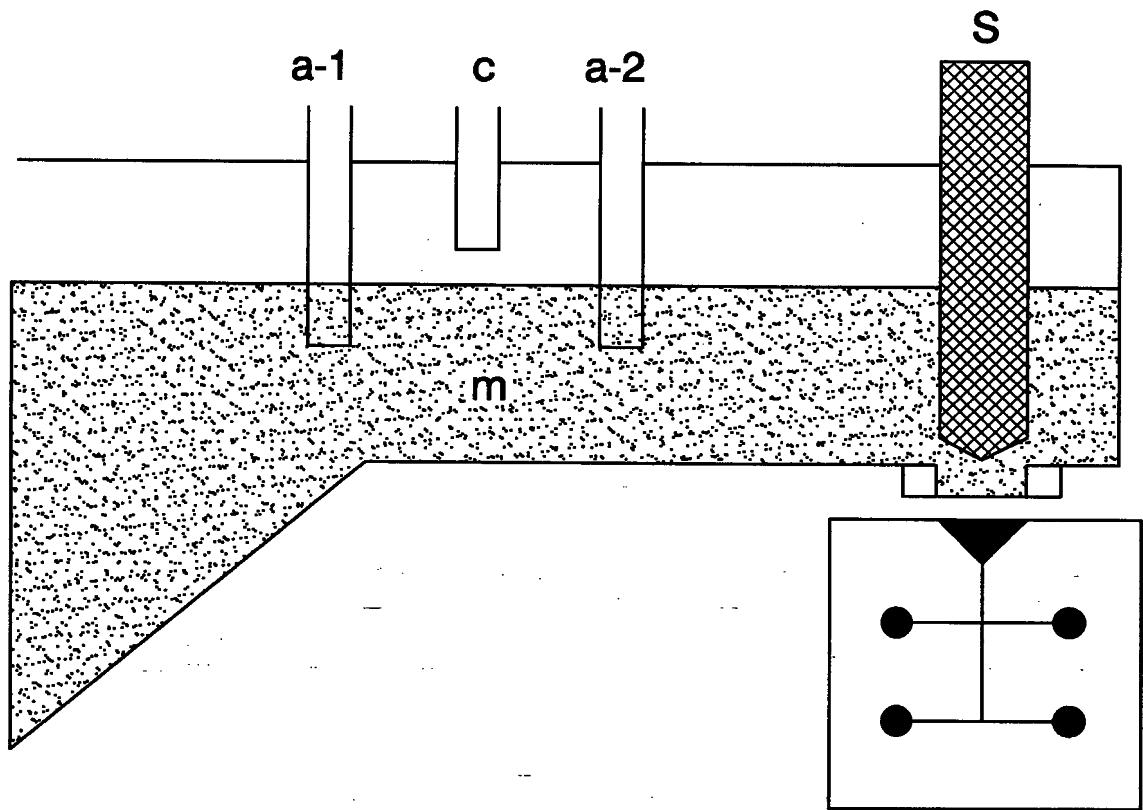
El consumo de cátodo fue de 0,4 gramos/Kw.

10 En la Figura 6 muestra la curva de enfriamiento de la aleación de hierro colado, indicando la evolución del TeLow y Recalescencia.



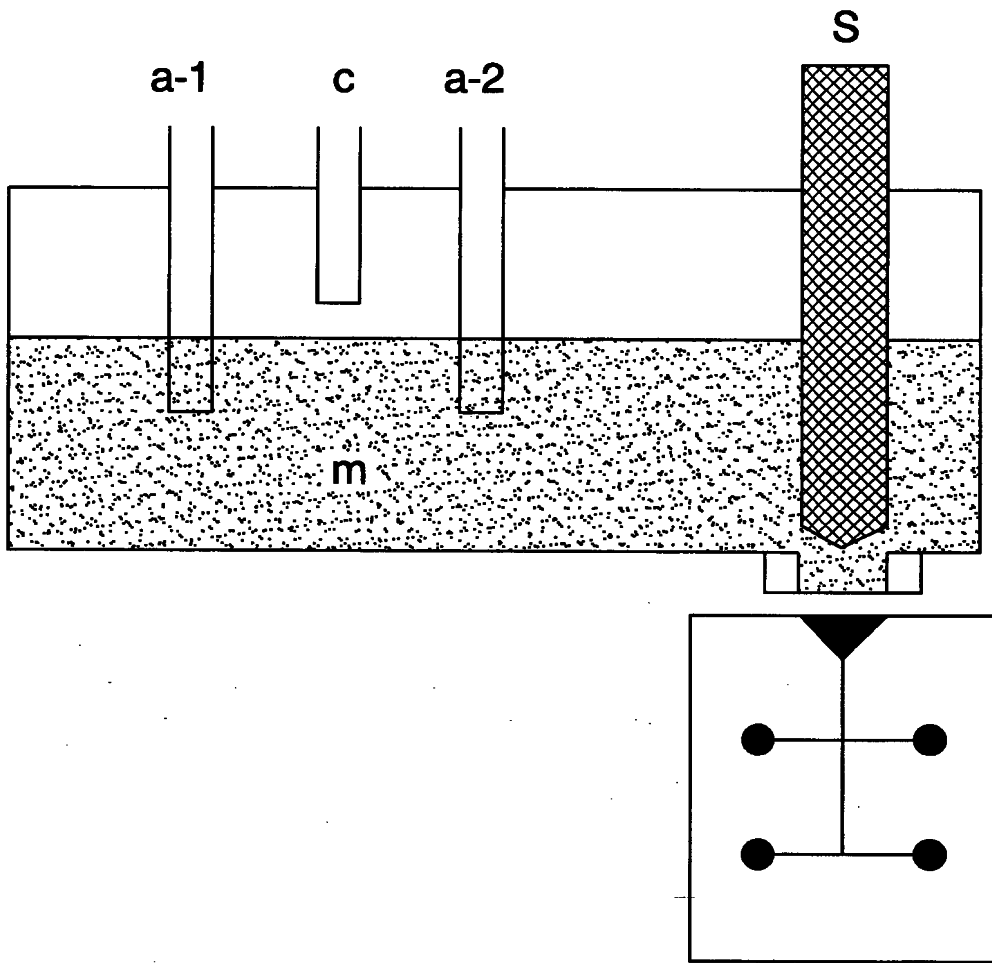
## REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento de inoculación para inocular una aleación de hierro colado, que comprende establecer un arco de plasma entre la superficie de dicha aleación y un cátodo de una antorcha de plasma de arco transferido dispuesta en un distribuidor de colada situado antes de la línea de moldeo de la aleación, comprendiendo la citada antorcha de plasma de arco transferido un ánodo parcialmente sumergido en la aleación de hierro colado y estando el cátodo dispuesto sobre la aleación, y comprendiendo el ánodo o el cátodo o ambos grafito, el cual aporta a la aleación de hierro un aditivo de nucleación.
- 10 2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que el cátodo es de grafito.
3. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que el ánodo es de grafito.
- 15 4. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que el cátodo y el ánodo son de grafito.
5. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que el grafito es grafito cristalino sintético.
- 20 6. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1, 2, 4 o 5, en el que el aditivo de nucleación se desprende del cátodo y se incorpora a la aleación de hierro colado por arrastre del gas de plasma generado por el arco de plasma, comprendiendo grafito sintético cristalino la parte del cátodo en contacto con el gas de plasma.
- 25 7. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1, 3, 4 o 5, en el que el aditivo de nucleación se desprende del ánodo y se incorpora a la aleación de hierro colado por contacto del ánodo con la aleación de hierro colado, comprendiendo grafito sintético cristalino la parte del ánodo en contacto con la aleación de hierro colado.
- 30 8. Procedimiento según las reivindicaciones 4 o 5, en el que el ánodo y el cátodo están dispuestos de forma que la radiación del arco de plasma generada en el cátodo actúe sobre la parte no sumergida del ánodo, provocando el calentamiento del ánodo.
- 35 9. Dispositivo de inoculación para inocular una aleación de hierro colado que comprende (i) una antorcha de plasma de arco transferido y (ii) un distribuidor de colada situado antes de una línea de moldes, estando dicha antorcha de plasma dispuesta en dicho distribuidor de colada, comprendiendo la citada antorcha de plasma un ánodo parcialmente sumergido en una aleación de hierro colado presente en el distribuidor de colada y un cátodo situado sobre la superficie de dicha aleación de hierro colado, para establecer un arco de plasma entre el cátodo y la superficie de la aleación fundida, comprendiendo el ánodo o el cátodo o ambos grafito.
- 40 10. Dispositivo de inoculación según reivindicación 9, en el que el grafito es grafito cristalino sintético.
11. Dispositivo según las reivindicaciones 9 o 10, que comprende además medios para regular el área de la superficie del ánodo que se sumerge en la aleación de hierro colado.
- 45 12. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11, en el que el distribuidor de colada presenta una configuración seleccionada de entre: 1) canal de colada de un horno de colada; 2) una artesa; 3) una cuchara de colada basculante; y 4) una cuchara con trasvase a bandeja de colada.
- 50 13. Dispositivo según reivindicación 12, en el que ánodo y cátodo se encuentran en el distribuidor de colada situados en el eje de circulación y en la dirección de vaciado hacia el molde de la aleación de hierro fundido.
14. Dispositivo según la reivindicación 13, en el que el ánodo o el cátodo o ambos se encuentran dentro de una cámara cerrada en atmósfera inerte.
- 55 15. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 9 a 14, que comprende además medios de regulación de la potencia del arco de plasma.
16. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 9 a 15, en el cual la antorcha de plasma es un medio de calentamiento que puede aumentar la temperatura de la aleación de hierro colado para su ajuste a una temperatura de referencia de colada, con una tolerancia inferior a  $\pm 5$  °C.



**FIG. 1**

**M**



**FIG. 2**

**M**

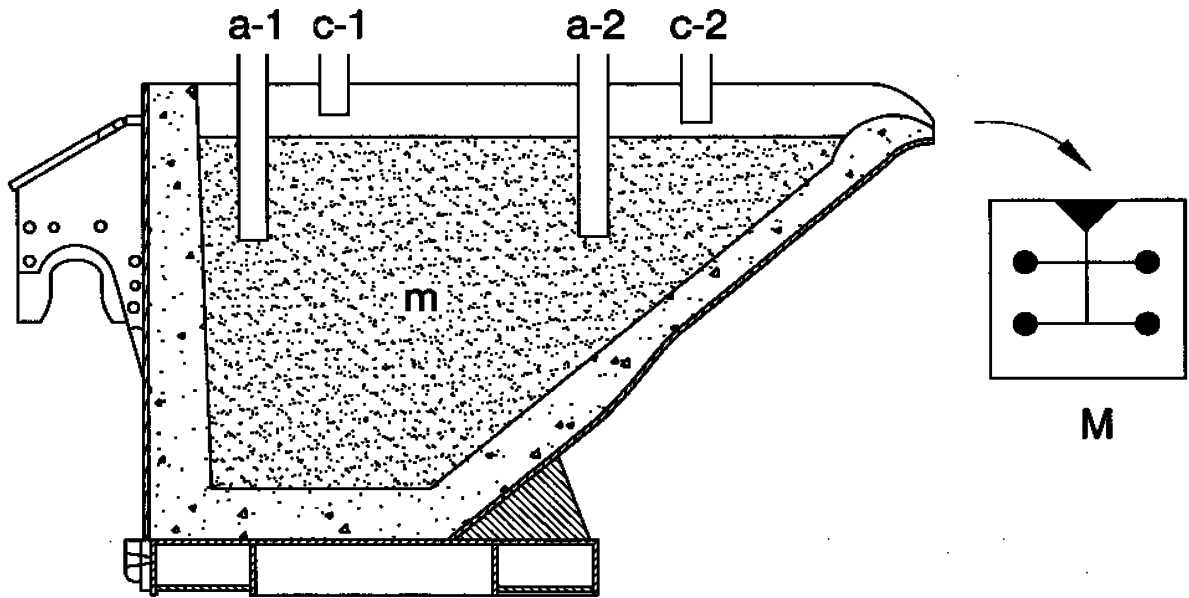


FIG. 3

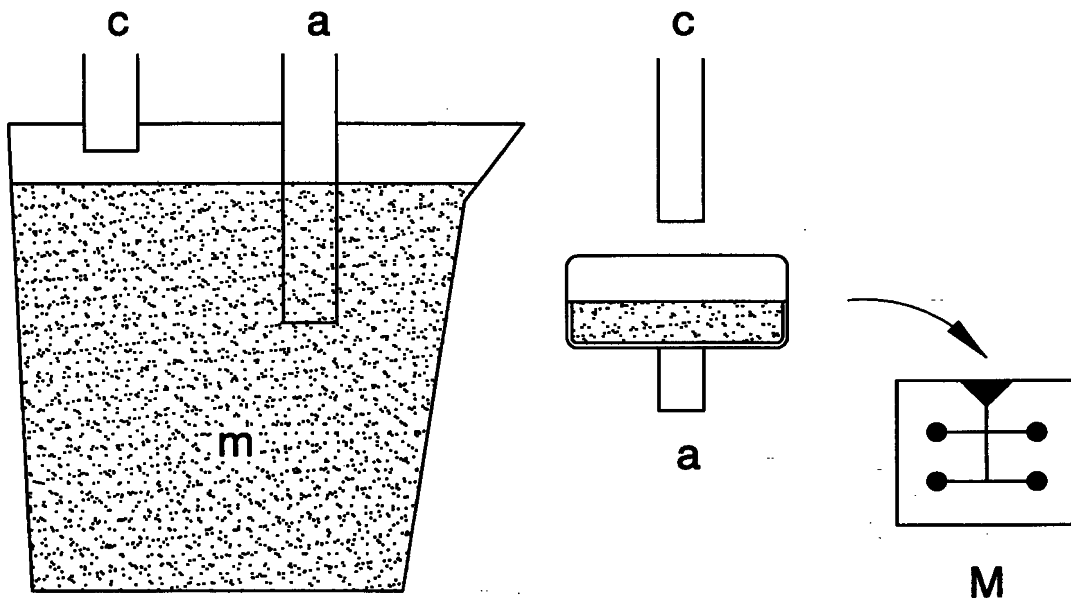


FIG. 4

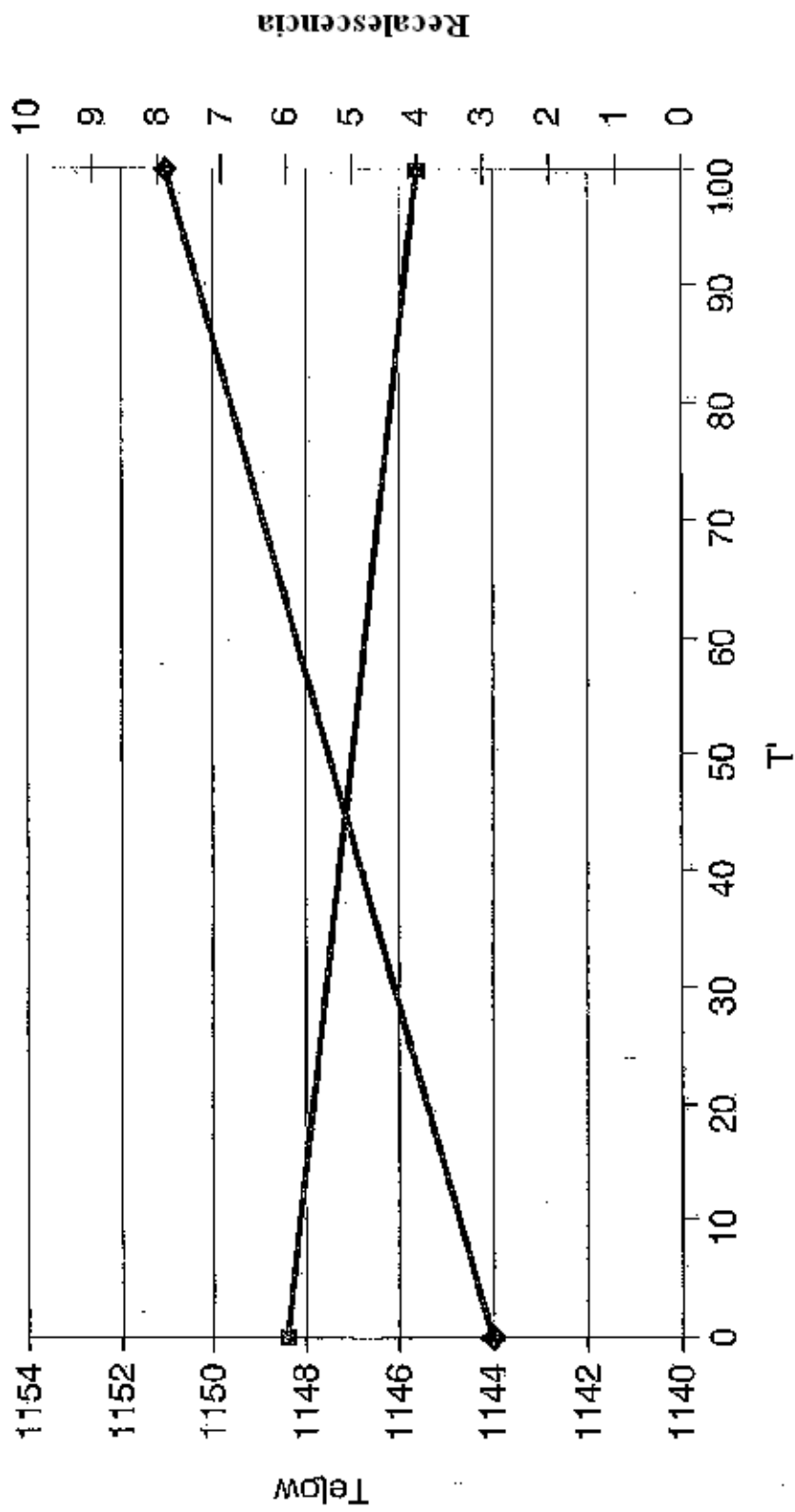


FIG. 5

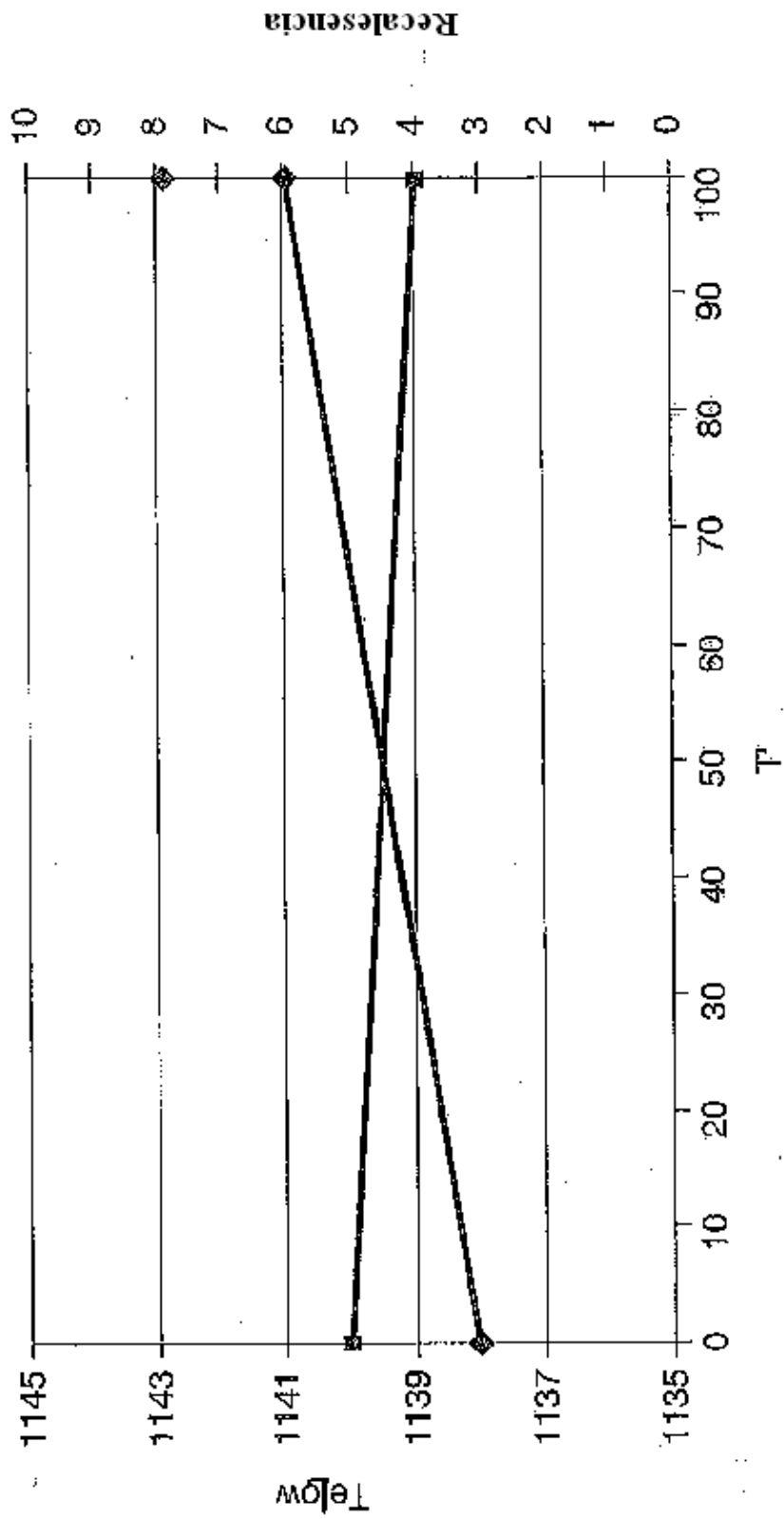


FIG. 6