

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 645 699**

51 Int. Cl.:

**B22D 13/12** (2006.01)

**B22D 13/02** (2006.01)

**B22D 13/10** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **14.03.2014 PCT/US2014/029277**

87 Fecha y número de publicación internacional: **18.09.2014 WO14144742**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.03.2014 E 14718290 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.10.2017 EP 2969310**

54 Título: **Método y aparato para colada centrífuga**

30 Prioridad:

**15.03.2013 US 201313842303**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**07.12.2017**

73 Titular/es:

**UNITED STATES PIPE AND FOUNDRY COMPANY  
LLC (100.0%)  
Two Chase Corporative Drive Suite 200  
Birmingham, AL 35244, US**

72 Inventor/es:

**WATTS, KENNETH J y  
WOOD, TERRY M**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

**ES 2 645 699 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**

Método y aparato para colada centrífuga

**Campo técnico**

5 La invención se relaciona, en general, con el campo de colar centrífugamente objetos de metal y, más específicamente, al campo de colada centrífuga de tubos de hierro.

**Antecedentes**

10 El proceso de colada centrífuga de objetos de metal, y en particular de tubos de hierro, es bien conocido y ha sido practicado durante cerca de un siglo. El documento de patente de EE.UU. US2763041 divulga un método de colar centrífugamente un objeto a partir de un recipiente de metal líquido, teniendo el metal líquido una temperatura de liquidus y cuando es vaciado, una temperatura de vaciado. El método que comprende medir la temperatura de liquidus del metal líquido en el recipiente mediante un pirómetro y vaciar el metal líquido en un canal para entregar el metal líquido a un molde rotativo. El documento de patente de EE.UU. US2943369 divulga un mecanismo de control para una máquina de colada que permite que la máquina sea operada semiautomáticamente para reducir el criterio humano permitiendo inicio de movimiento, parada manual y enderezado de la cuchara automáticos.

15 Una máquina de colada centrífuga incluye un sistema de entrega, tal como un canal, y un molde rotativo. El hierro líquido se vacía desde una cuchara de la máquina en el canal. El canal se extiende en el interior del molde rotativo generalmente de manera axial. Un extremo del molde incluye usualmente un macho, tal como un macho de arena, para conformar exactamente lo que se denomina la campana del tubo. Al extremo opuesto del tubo se le denomina como la espiga y la sección alargada entre ellos es la caña. El hierro líquido fluye por el canal bajo la influencia de la gravedad. El molde y el canal son movidos uno con respecto al otro para llenar el molde con hierro, típicamente desde el extremo de la campana a lo largo de la caña hasta la espiga. Según rota el molde, la fuerza centrífuga deposita el hierro circunferencialmente alrededor del molde de una manera relativamente uniforme. Típicamente, la máquina de colada es movida por vía de medios mecánicos hidráulicos o de otro tipo, como se conoce en la técnica, para depositar el hierro según se desee.

25 Una variación en la mezcla de carga (es decir, la fuente de materia prima para la fundición, tal como hierro de chatarra), el coque y la operación del cubilote da como resultado una variación de la temperatura y la composición química del hierro líquido. Esto, a su vez, causa variaciones en las fuerzas de fricción, la tensión superficial, la difusividad del calor y la fluidez del hierro líquido a partir del cual se cuela cada tubo, dando como resultado una inconsistencia del caudal de hierro hacia el molde. Incluso con sistemas hidráulicos controlados mediante controladores lógicos programables (PLCs), la uniformidad de los resultados y la adherencia a las especificaciones puede ser difícil de conseguir. Por ejemplo, el espesor de pared del tubo puede no ser uniforme de un extremo al otro. El operador de la colada no puede detectar cambios en el hierro que afectan a la uniformidad del espesor de pared de manera temprana con el fin de ajustar los controles de la máquina de colada. La variación en el contenido del hierro líquido no puede ser eliminada de manera económica en una fábrica que usa material de fuentes recicladas o de chatarra.

30 La variación en el contenido del hierro líquido se manifiesta en la temperatura de liquidus y la fluidez del hierro líquido. La temperatura de liquidus (LA) es la temperatura a la cual el metal líquido cambia de fase a un estado sólido. Aunque la temperatura de liquidus se puede calcular si se conoce la composición química precisa del metal líquido, esta composición puede no ser conocida. Esto es cierto, por ejemplo, en fundiciones que usan chatarra u otras fuentes recicladas de metal, el cual contiene cantidades variables de los componentes químicos clave carbono, silicio y fósforo, así como cantidades de materiales desconocidos que pueden afectar a la fluidez de la aleación.

35 Las variaciones en la temperatura de liquidus causan variaciones en la fluidez del metal líquido a una temperatura dada. La fluidez es una característica tecnológica del metal líquido que indica lo bien que el metal líquido fluye dentro del molde. La fluidez es impulsada por la presión metalostática y dificultada por la tensión superficial, la difusividad térmica y la fricción. El término fluidez, según se usa en la industria de la fundición y según se usa en esta memoria, es diferente al uso por los físicos, quienes usan el término como el inverso de la viscosidad. La fluidez se cuantifica en términos de la distancia (pulgadas-centímetros) que un metal líquido tal como el hierro fluiría a través de un patrón espiral de fluidez estándar hasta que la solidificación bloquea el flujo.

40 La fluidez del hierro líquido puede expresarse en términos de un carbono equivalente o factor de composición de acuerdo con ecuaciones conocidas.

$$\text{Fluidez} = 14,9 * \text{CE} + 0,05T - 155 \tag{1}$$

Donde CE es una cantidad conocida como carbono equivalente y T es la temperatura de vaciado. CE puede expresarse como sigue:

$$\text{CE} = \%C + \frac{1}{4} \%Si + \frac{1}{2} \%P \tag{2}$$

55 El carbono equivalente puede usarse para aproximar la temperatura de liquidus LA de acuerdo con la ecuación

siguiente:

$$LA = (CE - 15,38) / (-0,005235) \quad (3)$$

No obstante, donde la composición química del hierro líquido varía, tal como cuando el proceso de colada usa chatarra o materiales reciclados más bien que arrabio de fundiciones para las masas fundidas, los efectos combinados de tal variación tienen efectos sobre la temperatura de liquidus que no son tenidos en cuenta en la ecuación anterior y ya no es exacta.

La fluidez tiene una influencia determinante en el volumen de hierro entregado durante el tiempo al molde. El volumen de hierro que entra en el molde por unidad de tiempo aumenta inicialmente según se llena el canal con hierro a partir de la inclinación inicial de la cuchara. La tasa de entrega volumétrica de hierro al molde alcanza, típicamente, un estado estable durante la mitad del proceso de colada y, luego, cuando la cuchara es enderezada al final del vaciado, la entrega de hierro se reduce. La tasa de incremento, el estado volumétrico estable alcanzado y la tasa de decrecimiento son todas una función de la fluidez.

La fluidez está afectada no sólo por la temperatura de liquidus sino también por la temperatura de vaciado del metal líquido. Múltiples objetos pueden ser colados a partir de un único recipiente de metal líquido y el metal se enfría con el tiempo de tal forma que la fluidez del metal líquido usado para la última colada puede ser significativamente menor que la fluidez del metal líquido del mismo lote usado para el primer objeto. Así, si el movimiento de la máquina de colada permanece el mismo desde el primer hasta el último objeto, los dos objetos tendrán probablemente propiedades físicas diferentes en bruto de colada, tal como diferencias en el espesor de pared.

La fluidez presenta, así, un problema compuesto. La fluidez puede cambiar de lote a lote de hierro líquido según varía la composición y la fluidez puede cambiar de vaciado en vaciado del mismo lote según se enfría el hierro líquido. Además, la fluidez real del hierro líquido a ser usado en una colada no puede conocerse hasta que es vaciado en el canal.

La tecnología actual de máquinas de colada no tiene en cuenta estas variaciones en la fluidez y no proporciona ninguna manera de ajustar el movimiento de la máquina basándose en la fluidez real del hierro líquido que desciende por el canal hacia el molde. Como resultado, los controles de la máquina de colada deben ser ajustados para tener en cuenta la fluidez en el casi peor caso para asegurar que todas las tuberías están dentro de especificación. Esto, sin embargo, puede dar como resultado una falta de uniformidad en el espesor de pared del tubo y requiere la aceptación de tolerancias amplias con respecto a la especificación. La colada de tubería de pared delgada es, por lo tanto, altamente desafiante usando la tecnología actual.

Así, hay una necesidad de un aparato y un método que mida y tenga en cuenta los cambios en la fluidez de cada colada con el fin de colar centrifugamente objetos de metal con resultados uniformes y una adhesión cercana a especificaciones predeterminadas.

### Resumen

Realizaciones de la presente invención de acuerdo con las reivindicaciones satisfacen estas necesidades, pero debe entenderse que no todas las realizaciones satisfacen cada necesidad. Una realización comprende un método de colar centrifugamente un objeto a partir de un recipiente de metal líquido que comprende medir la temperatura de liquidus del metal líquido en el recipiente, vaciar el metal líquido en un canal para entregar el metal líquido a un molde rotativo, medir la temperatura de vaciado del metal líquido vaciado en el canal, calcular la fluidez del metal líquido basándose en la temperatura de liquidus medida y la temperatura de vaciado medida y mover el molde con respecto al canal para depositar metal líquido en el molde, en el que el movimiento se controla basándose en la fluidez calculada para entregar un volumen de metal líquido al molde para colar el objeto de acuerdo con especificaciones predeterminadas. En una realización, el movimiento se controla de acuerdo con una función de transferencia que relaciona la fluidez con los requerimientos volumétricos para un objeto de dichas especificaciones predeterminadas en dicho molde. El objeto puede ser, por ejemplo, tubo de hierro que tiene un espesor de pared especificado.

Otra realización comprende un método de desarrollar ecuaciones de control para relacionar la fluidez del metal líquido con los requerimientos volumétricos de un molde rotativo para colar centrifugamente un objeto a partir de metal líquido vaciado desde un recipiente. El método comprende registrar la temperatura de liquidus del metal líquido en el recipiente; vaciar el metal líquido en un canal para entregar el metal líquido a un molde rotativo; registrar la temperatura de vaciado del metal líquido vaciado en el canal; mover el molde rotativo con respecto al canal para depositar metal líquido en el molde, en el que el movimiento se controla para entregar un volumen de metal líquido a dicho molde para colar dicho objeto de acuerdo con especificaciones predeterminadas; registrar un conjunto predeterminado de parámetros que caracterizan dicho movimiento y especificaciones reales de dicho objeto en bruto de colada; repetir los pasos que anteceden un número estadísticamente significativo de veces; y ejecutar un análisis de regresión sobre los parámetros registrados, especificaciones registradas y fluideces calculadas a partir de las temperaturas de liquidus y temperaturas de vaciado para producir ecuaciones de control que relacionen dichos parámetros, especificaciones y fluideces.

Otra realización comprende un aparato para colar centrífugamente un objeto a partir de metal líquido, que comprende un molde rotativo; un canal para recibir metal líquido vaciado desde un recipiente y entregar metal líquido en dicho molde; un sistema de accionamiento para mover dichos canal o molde uno con respecto al otro; un controlador para controlar dicho sistema de accionamiento; una computadora para programar dicho controlador para controlar dicho sistema de accionamiento para proporcionar un movimiento prescrito de dicho molde y sistema de entrega uno con respecto al otro; una copa que comprende un termopar en comunicación con dicha computadora para medir la temperatura de liquidus de dicho metal líquido; y un pirómetro para medir la temperatura de vaciado de dicho metal líquido. La computadora calcula la fluidez de dicho hierro líquido a partir de las temperaturas medidas de liquidus y vaciado. La computadora está programada con una función de transferencia que relaciona la fluidez con los requerimientos volumétricos de metal líquido para colar un objeto de especificaciones predeterminadas en el molde y el correspondiente movimiento relativo del canal y el molde para hacer la colada según se especifica. La computadora, entonces, programa el controlador para controlar dicho sistema de accionamiento para causar el movimiento relativo para depositar metal líquido en el molde de acuerdo con los requerimientos volumétricos.

**Breve descripción de los dibujos**

La presente invención se explicará, solamente a modo de ejemplo, con referencia a ciertas realizaciones y las figuras adjuntas, en las cuales:

la figura 1 es un ejemplo de realización de una máquina de colada, la cual forma parte de un aparato de la presente invención;

la figura 2 es un diagrama de bloques de una realización del aparato de la presente invención;

la figura 3A es un ejemplo de perfil de entrega de hierro líquido vaciado desde una cuchara de la máquina que desciende por un canal hasta un molde;

la figura 3B es un ejemplo de función de transferencia que relaciona el movimiento de la máquina de colada con le entrega del perfil de la figura 3A para conseguir una entrega volumétrica uniforme;

la figura 3C es un perfil de entrega volumétrica uniforme conseguido mediante el movimiento de la máquina de colada de acuerdo con la función de transferencia de la figura 3B y el perfil de entrega de metal líquido de la figura 3A;

la figura 4 es un diagrama de flujo de una realización del método de la presente invención, concretamente, un proceso para determinar ecuaciones de control que constituyen una función de transferencia que relaciona la fluidez del metal líquido con los requerimientos volumétricos de un molde para colar un objeto en una máquina de colada con especificaciones predeterminadas;

las figuras 5A-D son gráficas de ejemplos de ecuaciones de control para tubos de hierro líquido, las cuales se desarrollaron de acuerdo con la realización de la figura 4;

la figura 6 es un diagrama de flujo de otra realización del método de la presente invención, concretamente, un proceso para colar centrífugamente objetos de metal;

las figuras 7A-B son ejemplos de gráficas que muestran la uniformidad del espesor de pared de tubos de hierro, con la figura 7A que muestra tubo colado de acuerdo con realizaciones de la presente invención y la figura 7B que muestra tubo colado de acuerdo con métodos de la técnica anterior; y

la figura 8 es un ejemplo función de transferencia que relaciona el movimiento de la máquina de colada con la entrega de hierro, en la cual hay múltiples tasas de entrega para secciones del tubo.

**Descripción detallada**

Realizaciones de la presente invención proporcionan un método para controlar automáticamente el movimiento de la máquina de colada en el proceso de colada centrífuga de un objeto como una función de la fluidez del metal líquido con el cual el objeto está siendo colado, incluso donde la composición química precisa del metal líquido es desconocida, basándose en la temperatura de liquidus medida del metal líquido y su temperatura de vaciado. Una realización preferida calcula la fluidez del hierro líquido usado en cada colada teniendo en cuenta variaciones de un vaciado al siguiente y, en tiempo real, determina el movimiento preciso de la máquina de colada requerido para colar un objeto de las especificaciones deseadas a partir de metal de tal fluidez y programa un controlador lógico programable para tal movimiento de la máquina de colada haciendo, así, los necesarios ajustes para el movimiento de la máquina de colada dinámicamente después de que el metal líquido es vaciado a un sistema de transporte y antes de que llegue al molde. Realizaciones adicionales de la presente invención proporcionan un método de determinar la función de transferencia de la fluidez del metal líquido para el movimiento de la máquina de colada para la colada de un objeto particular de acuerdo con especificaciones predeterminadas en una máquina de colada dada. Otra realización de la presente invención comprende un aparato para poner en práctica los métodos que anteceden.

Esta descripción describirá ciertas realizaciones de la invención con respecto a un ejemplo de aplicación de colada centrífuga de tubos de hierro de diámetro uniforme con un espesor de pared constante. Realizaciones de la presente invención pueden aplicarse fácilmente a producir tubo de diámetro variable (que se estrecha) o perfiles en sección transversal (por ejemplo hexagonales) con espesor de pared variable a lo largo de la longitud del tubo. Debe entenderse, también, que realizaciones de la presente invención pueden ponerse en práctica con respecto a la colada centrífuga de cualquier objeto a partir de metal líquido de otras aleaciones, usando relaciones metalúrgicas conocidas para tales aleaciones en lugar de las relaciones que se describen en esta memoria con respecto al hierro. Además, una referencia al hierro debe entenderse como una referencia a una aleación de hierro, que comprende típicamente cantidades de carbono, silicio y fósforo, pero la cual también puede comprender cantidades de otros elementos o compuestos que pueden afectar a sus propiedades. Realizaciones del método y aparato de la presente invención son adecuados, idealmente, para colar objetos dentro de una tolerancia deseada a partir de hierro u otro metal líquido que tenga composición variable o desconocida de lote a lote en el proceso de colada.

La figura 1 ilustra un ejemplo de realización 100 de un aparato de la presente invención. Según se muestra en la figura 1, una máquina de colada 5 es una máquina de colada centrífuga típica como se conoce en la técnica, la cual comprende un sistema de transporte 10 para transportar una cantidad de hierro líquido a un molde rotativo 20. En una realización preferida, el sistema de transporte 10 comprende una cuchara de la máquina u otro recipiente 25 que contiene el hierro líquido y un canal 30 en forma de U. La cuchara 25 de máquina dispensa, preferiblemente, un volumen constante de hierro por grado de rotación. (Debe notarse, no obstante, que el método de la presente invención puede usarse con cualquier tipo de cuchara, en tanto en cuanto provea un perfil de vaciado consistente de un vaciado al siguiente). El canal 30 está angulado ligeramente hacia abajo y se extiende axialmente hacia en interior del molde 20, terminando en una boca de descarga 35. Cuando la cuchara 25 de la máquina es inclinada, el hierro líquido fluye desde el pico de la cuchara 25, bajando por el canal 30, saliendo por la boca de descarga 35 y entrando en el molde 20 bajo la influencia de la gravedad. El molde 20 está montado sobre un sistema de accionamiento 40. El sistema de accionamiento 40 comprende actuadores 45 para mover el molde en vaivén dentro de un intervalo fijo de movimiento con respecto al extremo fijo (es decir, la boca de descarga 35) del sistema de transporte 10. Los actuadores 45 pueden ser cualquier tipo de actuador conocido en la técnica para mover el molde 20, incluyendo hidráulicos, motores eléctricos, un acoplamiento mecánico accionado por cadena o correa a un motor eléctrico o térmico, cualquier combinación de los mismos u otros medios conocidos en la técnica para mover un molde. En algunas realizaciones, el sistema de transporte 10 es movido longitudinalmente por un sistema de accionamiento 40 con respecto al molde 20, el cual permanece fijo en su posición. En esta descripción, los términos velocidad de la máquina de colada o movimiento de la máquina de colada se refieren al movimiento (o la velocidad del mismo) del sistema de actuación 40 con respecto al molde 20 y pueden describir un aparato en el cual cualquiera de los dos o ambos componentes se mueven con respecto al otro. Según se muestra en la figura 2, en cada realización, el sistema de accionamiento 40 está controlado, preferiblemente, mediante un controlador lógico programable (PLC) 50 que recibe órdenes de un sistema de computadora 55. La máquina de colada comprende, además, un motor 60 que hace rotar el molde 20 durante el proceso de colada. Por tanto, se entrega hierro líquido al molde rotativo 20 por vía del sistema de transporte 10 y el molde 20 es movido con respecto al sistema de transporte 10 de tal manera que se deposita hierro líquido a lo largo de la longitud del molde en un volumen previsto para proveer un objeto colado (según se ilustra, un tubo) que tiene especificaciones predeterminadas que incluyen, por ejemplo, el espesor de pared.

La realización 100 comprende, además, instrumentos para medir la temperatura de liquidus y la temperatura de vaciado del hierro líquido. Debido a que la composición química del metal líquido puede variar de carga a carga, la temperatura de liquidus no puede ser calculada directamente. Según se enfría el metal líquido, la temperatura de liquidus (así como la información referente a su composición química) puede determinarse a partir del perfil de su variación de temperatura en el tiempo, es decir, su curva de enfriamiento, como se conoce en la técnica. Esta determinación se hace, típicamente, usando una copa desechable disponible comercialmente, que comprende un termopar, para análisis térmico del metal líquido. El metal líquido es vaciado en la copa y la señal de salida del termopar se analiza para determinar las propiedades del metal líquido. En una realización preferida, se usa una QuiK-Cup QC 4010 fabricada por la compañía Heraeus Electro-Nite para determinar la temperatura de liquidus del hierro líquido. Según se muestra en la figura 2, en una realización preferida, la señal de salida de la copa 65 es capturada por un sistema de computadora 55. El sistema de computadora 55 analiza la curva de enfriamiento del hierro líquido en la copa 65 para determinar la temperatura de liquidus.

La temperatura de vaciado (T) del metal líquido es la temperatura real del metal líquido cuando es vaciado desde la cuchara 25 de la máquina al canal 30. Hay muchos instrumentos conocidos en la técnica para medir la temperatura de vaciado de un metal líquido y puede usarse cualquiera de tales instrumentos. En una realización preferida, se usa un pirómetro 70 infrarrojo de color dual. El pirómetro 70 permite una medida exacta de la temperatura de vaciado incluso en presencia de humo oclusivo y variaciones en la emisividad de la corriente de muestra. La señal de salida del pirómetro 70 es introducida en el sistema de computadora 55, preferiblemente, acoplado el pirómetro directamente a la adquisición de datos u otro puerto de entrada del sistema de computadora 55.

La figura 3A ilustra un ejemplo de perfil del volumen de hierro entregado desde un sistema de transporte 10 a un molde 20 en el tiempo. Cuando el hierro líquido es vaciado inicialmente sobre el pico de la cuchara 25 de máquina y desciende por el canal 30, el volumen de hierro aumenta como se muestra por el segmento 310 del perfil. Cuando el ciclo continúa, el flujo de hierro alcanza un estado constante, como se muestra por el segmento 320. Cerca del final

del ciclo de colada, cuando la cuchara 25 de la máquina es enderezada en el punto 330, el volumen de flujo se reduce, como se muestra por el segmento 340, y luego de detiene. La curva del flujo de entrega de hierro real para un vaciado dado de hierro líquido, especialmente cuando su fuente es materiales reciclados, es muy difícil de predecir y varía de lote a lote de hierro líquido. Como resultado, colar un objeto dentro de tolerancias estrechas de un conjunto de especificaciones dado puede ser difícil.

En una realización, el objeto a ser colado es un tubo de espesor de pared uniforme, según se muestra en la figura 3C. El espesor de pared es función de la entrega de hierro al molde y, por lo tanto, el volumen de hierro entregado por unidad de distancia debería ser constante sobre la longitud del molde para proporcionar tubería de espesor de pared uniforme, mostrada como línea 380. El espesor de pared uniforme (u otra especificación deseada) puede conseguirse mediante control del movimiento del sistema de transporte 10 con respecto al molde 20 de acuerdo con una función de transferencia que relacione de manera exacta la aceleración, deceleración y velocidad requeridas del movimiento relativo de la máquina de colada 5 con los requerimientos de entrega volumétrica del molde 20 para conseguir las especificaciones deseadas. Un ejemplo de tal función de transferencia, que muestra la velocidad de la máquina de colada hasta la posición de la boca de descarga 35 y el canal 30, se muestra en la figura 3B. La máquina de colada acelera a través de la sección  $S_1$ , que corresponde a la campana del tubo, como se muestra por la curva 350. La máquina alcanza una velocidad constante en la sección  $S_2$ , que corresponde a la caña del tubo, como se muestra por la línea 360. La máquina, entonces, decelera en la sección  $S_3$ , que corresponde a la porción de la caña cerca de la espiga y la espiga del tubo, como se muestra por la curva 370. En una realización, la posición de la boca de descarga sobre estos segmentos puede caracterizarse mediante las ecuaciones siguientes:

$$S_1 = 0,5 \cdot at^2$$

$$S_2 = vt$$

$$S_3 = 0,5 \cdot at^2$$

donde  $a$  es la aceleración de la máquina de colada,  $t$  es tiempo y  $v$  es velocidad. El PLC 50 está programado, así, por la computadora 55 para controlar la máquina de colada 5 de acuerdo con la señal de salida de tal función de transferencia para proveer el movimiento apropiado para colar el objeto con las especificaciones deseadas.

Otro ejemplo de función de transferencia se muestra en la figura 8 para la velocidad de la máquina de colada hasta la posición de la boca de descarga 35 del canal 30. En esta función de transferencia, hay múltiples curvas de aceleración y deceleración para diferentes porciones del tubo para proporcionar el perfil de entrega de hierro mostrado en la figura 3A y el espesor de tubo uniforme de la figura 3C. La máquina de colada acelera inicialmente a una primera tasa a través de la sección  $S_1$ , que corresponde a al menos una porción de la campana del tubo, como se muestra por la curva 850. La máquina, entonces, ralentiza la tasa de aceleración en la sección  $S_2$  cuando el volumen de hierro en el canal aumenta más despacio, como se muestra por la curva 855. La máquina alcanza una velocidad constante en la sección  $S_3$ , que corresponde con la caña del tubo, como se muestra por la línea 860. La máquina, entonces, decelera a una primera tasa en la sección  $S_4$ , que corresponde a la porción de la caña cerca de la espiga del tubo, como se muestra por la curva 870. La máquina, a continuación, incrementa la tasa de deceleración más en la sección  $S_5$  cuando el volumen de hierro en el canal decrece, como se muestra por la curva 875. En una realización, la posición de la boca de descarga sobre estos segmentos puede caracterizarse mediante las ecuaciones siguientes:

$$S_1, S_2 = 0,5 \cdot at^2$$

$$S_3 = vt$$

$$S_4, S_5 = 0,5 \cdot at^2$$

con  $a$ ,  $t$ , y  $v$  teniendo los mismos significados que arriba.

La fluidez es un determinante crítico de la tasa de movimiento de metal líquido asociado con la curva de flujo de entrega, tal como se muestra en la figura 3A. La fluidez del hierro líquido puede calcularse a partir de la temperatura de liquidus y la temperatura de vaciado. Una función de transferencia puede desarrollarse para relacionar la fluidez calculada con el movimiento de la máquina de colada 5 para producir un objeto que tiene un conjunto de especificaciones predeterminado.

Primero, debe calcularse la fluidez. La ecuación (1) es la ecuación estándar para calcular la fluidez a partir de un carbono equivalente:

$$\text{Fluidez} = 14,9 \cdot CE + 0,05T - 155 \quad (1)$$

Como se resaltó, la presencia de compuestos desconocidos en el hierro líquido de materiales reciclados impide la confianza en la fórmula estándar (ecuación (2)) para calcular con exactitud el carbono equivalente. Sin embargo, puede determinarse una ecuación para determinar un factor de composición para el hierro líquido, el cual puede ser sustituido por el valor del carbono equivalente en la ecuación (1), mediante análisis de regresión múltiple de las propiedades térmicas del hierro líquido en un entorno dado. Tal análisis de regresión se ejecuta por los fabricantes

## ES 2 645 699 T3

de copas desechables para análisis térmico de hierro líquido, tal como la copa 65. La compañía Heraeus Electro-Nite, la fabricante de la QuiK-Cup QC 4010, la cual se usa preferiblemente como copa 65, provee la ecuación siguiente, desarrollada a partir de análisis de regresión múltiple, para el cálculo de un factor de composición de hierro líquido a partir de la temperatura de liquidus medida en la copa QC 4010:

$$5 \quad CF = 14,45 - 0,0089 * ((LA - 32) * 0,5556) \quad (4)$$

donde LA es la temperatura de liquidus medida en grados Fahrenheit.

Sustituir la ecuación (4) por el carbono equivalente en la ecuación (1) proporciona una ecuación a partir de la cual puede calcularse la fluidez basándose en la temperatura de vaciado (T) y la temperatura de liquidus (LA) medidas:

$$\text{Fluidez} = 14,9 * (14,45 - 0,0089 * ((LA - 32) * 0,5556)) + 0,05T - 155 \quad (5)$$

10 donde la fluidez está en pulgadas y todas las temperaturas en grados Fahrenheit. La Tabla 1 que va abajo muestra la fluidez, de acuerdo con la ecuación (5), a diversas temperaturas de liquidus (LA) y vaciado (T), mientras que la Tabla 1A muestra los mismos datos donde la temperatura está en °C y la fluidez está en cm.

		LA (°F)										
		2.040	2.060	2.080	2.100	2.120	2.140	2.160	2.180	2.200	2.220	2.240
T (°F)	2.250	24,86	23,39	21,91	20,44	18,97	17,49	16,02	14,54	13,07	11,60	10,12
	2.275	26,11	24,64	23,16	21,69	20,22	18,74	17,27	15,79	14,32	12,85	11,37
	2.300	27,36	25,89	24,41	22,94	21,47	19,99	18,52	17,04	15,57	14,10	12,62
	2.325	28,61	27,14	25,66	24,19	22,72	21,24	19,77	18,29	16,82	15,35	13,87
	2.350	29,86	28,39	26,91	25,44	23,97	22,49	21,02	19,54	18,07	16,60	15,12
	2.375	31,11	29,64	28,16	26,69	25,22	23,74	22,27	20,79	19,32	17,85	16,37
	2.400	32,36	30,89	29,41	27,94	26,47	24,99	23,52	22,04	20,57	19,10	17,62
	2.425	33,61	32,14	30,66	29,19	27,72	26,24	24,77	23,29	21,82	20,35	18,87
	2.450	34,86	33,39	31,91	30,44	28,97	27,49	26,02	24,54	23,07	21,60	20,12

Tabla 1

		LA (°C)										
		1.115	1.126	1.137	1.148	1.160	1.171	1.182	1.193	1.204	1.215	1.226
T (°C)	1.232	63,14	59,41	55,65	51,92	48,18	44,42	40,69	36,93	33,20	29,46	25,70
	1.246	66,32	62,59	58,53	55,09	51,36	42,60	43,87	40,11	36,37	32,64	28,88
	1.260	69,49	65,76	62,00	58,27	54,53	50,77	47,04	43,28	39,55	35,81	32,05
	1.273	72,67	68,94	65,18	61,44	57,71	53,95	50,22	46,46	42,72	38,99	35,23
	1.287	75,84	72,11	68,35	64,62	60,88	57,12	53,39	49,63	45,90	42,16	38,40
	1.301	79,02	75,29	71,53	67,79	64,06	60,30	56,57	52,81	48,07	44,34	41,58
	1.315	82,19	78,46	74,70	70,97	67,23	63,47	59,74	55,98	52,25	48,51	44,75
	1.329	85,37	81,64	77,88	74,14	70,41	66,65	62,92	59,16	55,42	51,69	47,93
	1.343	88,54	84,81	81,05	77,32	73,58	69,82	66,09	62,33	58,60	54,86	51,10

Tabla 1A

15 Habiendo establecido un método para calcular la fluidez, pueden desarrollarse ecuaciones para proporcionar una función de transferencia para relacionar la fluidez con el movimiento de la máquina de colada para colar un objeto de acuerdo con especificaciones predeterminadas a partir de un análisis de regresión de una muestra estadísticamente

significativa de datos para colar el objeto. Preferiblemente, se desarrolla una función de transferencia para cada objeto con un conjunto de especificaciones dado para cada máquina de colada en la cual cada uno de tales objetos será colado. Por ejemplo, con respecto al tubo, se desarrolla una función de transferencia – repitiendo el proceso descrito en los párrafos siguientes – para cada diámetro y clase de tubo (tal como tubo de hierro dúctil clase 52 de 8” (20,3 cm)) y para cada máquina de colada individual en la cual será colada cada una de tales categorías de tubería.

La figura 4 ilustra una realización de un proceso para determinar ecuaciones de control que proporcionen la función de transferencia para relacionar la fluidez del metal líquido con los requerimientos volumétricos de un molde rotativo para la colada centrífuga de un objeto particular de acuerdo con especificaciones predeterminadas en una máquina de colada dada, mediante el movimiento controlado de la máquina de colada. Un aparato tal como el mostrado en las figuras 1-2 puede utilizarse para poner en práctica este método. Como una cuestión preliminar, toda la instrumentación debe estar calibrada y en buen orden de funcionamiento. Según se muestra en el paso 405, se mide y se registra la temperatura de liquidus del metal líquido, preferiblemente, transfiriendo una muestra de metal líquido desde el recipiente que contiene el metal a la copa 65 lo que permite a la computadora 55 capturar la temperatura de liquidus real del metal líquido que se usará en la colada. Debe notarse que en un establecimiento de fundición típico, cada lote de hierro líquido se hace en un recipiente al que se hace referencia denomina como una cuchara de tratamiento (la cual contiene un volumen suficiente de hierro para colar múltiples objetos) y, luego, un volumen de hierro para colar una unidad se transporta hasta la cuchara 25 de la máquina. Por lo tanto, en una instalación de este tipo, la temperatura de liquidus puede medirse para una carga individual de metal líquido de la cuchara de tratamiento mejor que de la cuchara 25 de la máquina. A continuación, según muestra el paso 410, se vacía metal líquido en el canal 30 para entregar el hierro líquido al molde rotativo 20. Cuando se vacía el metal, se mide y se registra la temperatura de vaciado en el paso 415 usando el pirómetro 70 u otro instrumento adecuado, preferiblemente en comunicación con la computadora 55. A continuación, en el paso 420, el objeto es colado, en un ejemplo de realización un tubo, moviendo la máquina de colada (es decir, el molde 20 con respecto al sistema de transporte 10 o viceversa) preferiblemente con el sistema de accionamiento 40 controlado por la computadora 55 y el PLC 50 para entregar un volumen deseado de metal líquido al molde para tratar de colar el objeto de acuerdo con las especificaciones requeridas, mediante práctica industrial típica.

Las especificaciones pueden incluir un espesor de pared en puntos o intervalos definidos sobre el objeto. Según se muestra en el paso 425, todos los parámetros relevantes del proceso de colada se registran y se calcula la fluidez del hierro líquido de acuerdo con la ecuación (5) basándose en las temperaturas de liquidus y vaciado medidas y registradas durante la colada del objeto. Los parámetros relevantes incluyen el tiempo transcurrido y el movimiento de la máquina de colada (por ejemplo, posición, velocidad y aceleración) durante cada porción del ciclo de entrega representado en la figura 3A. El registro de esos parámetros se ejecuta, preferiblemente, por el PLC 50 en conjunto con la computadora 55, aunque puede usarse otra instrumentación.

Sin limitación, los parámetros incluyen lo siguiente. El retardo inicial correspondiente al tiempo transcurrido desde cuando el metal líquido sale de la boca de descarga del canal hasta que un volumen predeterminado de metal líquido es depositado en el molde se registra con el correspondiente movimiento de la máquina. En el ejemplo de colar tubo, esto corresponde al tiempo desde cuando el hierro líquido sale de la boca de descarga hasta que la campana del molde de tubo se llena, lo cual se conoce como el tiempo de de retardo de inicio, durante el cual la máquina de colada está estacionaria con el canal cerca del final de la caña del tubo depositando hierro líquido en la campana. La aceleración y posicionamiento de la máquina y el tiempo transcurrido cuando el volumen de hierro se incrementa durante la siguiente fase del ciclo de entrega se registran. En el ejemplo de un tubo, esto corresponde típicamente al llenado de una porción de la caña cerca del extremo de la campana del molde 20. De la misma manera, el tiempo transcurrido y la velocidad de la máquina mientras el movimiento de la canal con respecto al molde es a velocidad constante se registran. En el ejemplo de un tubo, esto corresponde al llenado del molde a lo largo de mucha de la longitud de la caña. La deceleración de la máquina y el tiempo transcurrido cuando el volumen de hierro decrece después de que la cuchara de la máquina para de vaciar hierro líquido en el canal se registran. En el ejemplo de un tubo, esto corresponde al llenado de una porción de la caña cerca del extremo de la espiga del tubo. Finalmente, un tiempo de retardo correspondiente al tiempo transcurrido desde el momento en el cual la máquina de colada se detiene en el extremo del molde 20 hasta que el metal líquido cesa de vaciar desde la boca de descarga 35 del canal 30 en el molde 20. En el ejemplo de un tubo, esto corresponde al tiempo en el cual la máquina de colada está estacionaria en el extremo del extremo de la espiga del molde y se hace referencia a él como el tiempo de parada en la espiga o tiempo de reposo.

Además, para registrar parámetros que relacionan el tiempo transcurrido y el correspondiente movimiento de la máquina de colada durante cada fase del ciclo de entrega de metal, se miden las especificaciones reales del objeto en bruto de colada, según se muestra en el paso 430. El conjunto de especificaciones medidas corresponde al conjunto de especificaciones deseadas o predeterminadas para el objeto que el proceso de colada estaba destinado a conseguir, incluyendo, por ejemplo, el espesor de pared. Para el ejemplo de un tubo, típicamente se toman múltiples medidas del espesor de pared a intervalos regulares a lo largo de la longitud del tubo, típicamente dos medidas en ubicaciones diametralmente opuestas (es decir, separadas 180 grados) a intervalos de un pie (30,5 cm) desde la campana hasta la espiga del tubo. Estas especificaciones al ser medidas realmente indican la uniformidad del objeto sobre su longitud, la conformidad con las especificaciones predeterminadas, y la extensión a la cual se ajusta el movimiento de la máquina de colada al perfil de entrega de metal líquido para proveer el volumen requerido de metal a lo largo de la longitud del molde.

Según se muestra en el paso 435, el proceso que antecede se repite para un número de objetos estadísticamente significativo, para lo cual se usan múltiples lotes de hierro líquido. Preferiblemente, la composición del metal líquido cambia algo de un lote al siguiente, y las temperatura de vaciado se varían deliberadamente para modelizar condiciones que pueden encontrarse en producción usando materiales de fuentes recicladas, de forma que se harán coladas con hierro líquido de diversas fluideces. El movimiento de la máquina de colada puede ajustarse según se analizan los datos registrados para colar objetos que estén más cerca de las especificaciones deseadas. Después de que están colados un número estadísticamente significativo de objetos, en el paso 440, se selecciona un subconjunto de los objetos que son conformes lo más cercanamente a las especificaciones predeterminadas y los cuales se hicieron también a partir de metal líquido de diversas fluideces. En el paso 445, se ejecuta un análisis de regresión sobre los datos reunidos para el subconjunto de objetos seleccionado, incluyendo los parámetros de proceso registrados, las especificaciones de los objetos en bruto de colada y la fluidez calculada a partir de las temperaturas de liquidus y vaciado medidas. El análisis de regresión proporciona ecuaciones de control para cada fase del proceso de colada, incluyendo el tiempo de retardo inicial, el período de aceleración, el período de entrega constante (si es necesario) y el período de deceleración y el segundo tiempo de retardo. Dependiendo de la forma y el tamaño del objeto a ser colado y del correspondiente molde, podría haber otros períodos para acomodar la forma del molde, por ejemplo, una fase de deceleración para proporcionar un espesor de pared aumentado en una zona particular o para llenar una sección de molde de volumen más elevado. En el ejemplo de un tubo, se desarrollan ecuaciones de control para el tiempo de retardo de inicio, la aceleración en la campana, la deceleración en la espiga y el tiempo de parada en la espiga. En otra realización, puede haber más de una ecuación de control para la aceleración en la campana y la deceleración en la espiga, consistente con la figura 8.

En un ejemplo del proceso que antecede, se colaron 100 tubos (clase 52, diámetro de 8" (20,3 cm)) a partir de lotes de hierro líquido de fluidez variable en una única máquina de colada. La temperatura de liquidus, la temperatura de vaciado y los parámetros de proceso para cada tubo se registraron, así como el espesor de pared de cada tubo en ubicaciones diametralmente opuestas a intervalos de un pie (30,5 cm) en toda la longitud del tubo. Se calcularon y se registraron las fluideces para cada tubo basándose en la ecuación (5) y la temperatura de liquidus y la temperatura de vaciado. Se seleccionó un subconjunto de los diez tubos que tenían el espesor de pared más uniforme. Se ejecuta un análisis de regresión sobre los datos recogidos en estos tubos. Se desarrollaron la ecuaciones de control siguientes para el tiempo de retardo de inicio, la aceleración en la campana, la deceleración en la espiga y el retardo de parada en la espiga, las cuales se muestran en las figuras 5A-D:

30

$$\text{Tiempo de retardo de inicio} = -0,129(\text{Fluidez}) + 4,2654 \quad R^2 = 0,9837$$

$$\text{Aceleración en la campana} = 0,3814(\text{Fluidez}) + 12,34 \quad R^2 = 0,9952$$

$$\text{Deceleración en la espiga} = 0,058(\text{Fluidez})^2 - 0,6828(\text{Fluidez}) + 1,5036 \quad R^2 = 0,9993$$

$$\text{Tiempo de parada en la espiga} = 0,0082(\text{Fluidez})^2 - 0,3994(\text{Fluidez}) + 5,1153 \quad R^2 = 0,9831$$

35

donde  $R^2$  es el factor de correlación que indica cuánto cercanamente se correlaciona la ecuación con los datos. Debe entenderse que las ecuaciones de control mostradas en las figuras 5A-D se ilustran solamente para un único diámetro y clase de tubo en una máquina de colada individual.

Juntas, las ecuaciones de control proporcionan una función de transferencia que relaciona el movimiento de la máquina de colada con el perfil de entrega de metal líquido, según se determinan mediante la fluidez calculada para cada vaciado, para colar el objeto que tiene especificaciones predeterminadas. Las ecuaciones de control se cargan, preferiblemente, en la computadora 55 para controlar el PLC 50, el cual a su vez controla el movimiento del sistema de transporte 10 con respecto al molde 20 de acuerdo con la función de transferencia.

Con las ecuaciones de control cargadas en la computadora 55, el proceso para colar un objeto de acuerdo con una realización de la presente invención se muestra en la figura 6. Un recipiente, tal como una cuchara de tratamiento o cuchara 25 de máquina se llena con metal líquido. Típicamente, un lote de hierro líquido de la cuchara de tratamiento contiene suficiente metal líquido como para colar múltiples objetos. Como se describe en otra parte de esta descripción, cada lote de metal líquido puede variar en composición, especialmente cuando viene de una fuente de chatarra o materiales reciclados. En el paso 605, se mide la temperatura de liquidus del metal líquido, preferiblemente transfiriendo una muestra del metal desde el recipiente (cuchara de tratamiento o cuchara 25 de máquina) a la copa 65 lo cual permite que la computadora 55 capture la temperatura de liquidus real del metal líquido que se usará en la colada. A continuación, como muestra el paso 610, se vacía metal líquido en el canal 30 para entregar el hierro líquido al molde rotativo 20. Cuando se vacía el metal, la temperatura de vaciado se mide en el paso 615 usando el pirómetro 70 u otro instrumento adecuado, preferiblemente en comunicación con la computadora 55. Con las temperaturas de liquidus y de vaciado que han sido medidas, se calcula la fluidez del hierro líquido en el paso 620. Preferiblemente, las temperaturas de liquidus y de vaciado fueron capturadas por la computadora 55 la cual, automática y rápidamente, calcula la fluidez. En una realización preferida que usa un QuiK-Cup QC 4010 de Heraeus Electro-Nite, la fluidez se calcula de acuerdo con la ecuación (5).

Usando las ecuaciones de control y la fluidez calculada, puede determinarse el movimiento apropiado de la máquina de colada, preferiblemente con la computadora 55, y los controles de la máquina de colada (el PLC 50) pueden programarse dinámicamente, en el paso 625, antes de que salga el metal líquido de la boca de descarga del canal. Así, los controles de la máquina de colada y el movimiento consiguiente, se ajustan en tiempo real para compensar cualquier cambio en la fluidez a partir del enfriamiento, no obstante ligero, del metal líquido de un vaciado al siguiente, o a partir de un cambio en la composición del metal líquido en la cuchara 25 de la máquina, de un lote al siguiente.

A continuación, en el paso 630, el objeto es colado moviendo el molde con respecto al canal para depositar metal líquido en el molde, donde el movimiento se controla basándose en la fluidez calculada para entregar un volumen de metal líquido al molde para colar el objeto de acuerdo con las especificaciones predeterminadas. En una realización preferida, este movimiento se lleva a cabo con el sistema de accionamiento 40 controlado por la computadora 55 y el PLC 50, programado dinámicamente como se describió en conformidad con la función de transferencia que relaciona la fluidez con los requerimientos volumétricos del objeto que está siendo colado, para sus especificaciones predeterminadas, y para la máquina de colada particular que está siendo usada. La posición y el movimiento de la máquina de colada se controlan para ajustar el perfil de entrega de metal al volumen requerido de metal líquido para cada porción del molde. Típicamente, esta entrega se lleva a cabo en conformidad con las ecuaciones de control que incluyen el tiempo de retardo inicial, la fase de aceleración, la fase de deceleración y el tiempo de retardo final, descritos arriba. Después de que ha transcurrido el tiempo de retardo final, se deja que el molde rotativo deje de girar, como muestra el paso 635, se deja que el objeto colado se enfríe y el objeto es extraído del molde para procesado y acabado posterior según se necesite.

Donde se pueden colar múltiples objetos a partir del volumen de metal líquido contenido por un recipiente tal como una cuchara de tratamiento o por la cuchara 25 de máquina, la temperatura de liquidus puede medirse sólo una vez para el colado de todos los objetos a partir de ese lote de metal líquido. La temperatura de vaciado, sin embargo, debe medirse para cada colada, pues el metal líquido de la cuchara 25 de máquina se enfría con el tiempo y la temperatura de vaciado, por lo tanto, típicamente, decrece. Como resultado, la fluidez del metal líquido puede cambiar para cada objeto colado a partir de la misma carga de metal líquido. Debido a que la composición del metal líquido puede variar de lote a lote, la temperatura de liquidus debe medirse para cada lote.

Como los objetos se cuelan en un ambiente de producción, los parámetros de proceso relevantes, especificaciones del objeto y las fluideces pueden ser registradas para cada colada. Análisis de regresión adicionales pueden ejecutarse sobre este conjunto de datos creciente para refinar más las ecuaciones de control y la función de transferencia para cada clase de objeto y máquina de colada.

El proceso que antecede puede usarse para colar centrífugamente tubos de hierro. En una realización, el tubo tiene una campana, una espiga y una caña entre la campana y la espiga, con el molde 20 teniendo las secciones correspondientes. Especificaciones del tubo pueden incluir una sección transversal redonda que tenga una caña de diámetro constante con espesor de pared que es uniforme dentro de tolerancias predefinidas. En otras realizaciones, el tubo puede ser hexagonal o de otra forma, tener un diámetro o dimensiones en sección trasversal no uniforme o que disminuye uniformemente y tener espesor de pared uniforme o no uniforme, según pueda requerir la aplicación particular. Por ejemplo, puede desearse tener paredes más gruesas en una base más ancha de un báculo de instalaciones de hierro colado hexagonal que se estrecha hasta una sección transversal más pequeña hacia su parte superior o extremo de punta. En cualquier realización, pueden desarrollarse ecuaciones de control para el objeto de especificaciones deseadas, según se describe en este documento.

Volviendo a la realización de un tubo de diámetro constante que tiene una campana, una espiga y una caña con espesor de pared uniforme, al menos una ecuación de control para cada uno de el tiempo de retardo de inicio, la aceleración en la campana, la deceleración en la espiga y el tiempo de parada en la espiga se cargan en la computadora 55. La temperatura de liquidus de un lote de hierro líquido a ser usado en la colada se mide, preferiblemente mediante una copa 65 la cual proporciona una señal indicativa del perfil de enfriamiento de la temperatura del hierro a la computadora 55. Se vacía hierro líquido desde la cuchara 25 de máquina al canal 30 y se mide la temperatura de vaciado, preferiblemente mediante un pirómetro 70 en comunicación con la computadora 55. La computadora 55 calcula la fluidez basándose en las temperaturas de liquidus y de vaciado medidas, calcula los resultados de las ecuaciones de control y proporciona los órdenes correspondientes al PLC 50. El PLC 50 mueve, entonces, el canal 30 con respecto al molde rotativo 20 en conformidad con las ecuaciones de control anteriores y la fluidez calculada para colar un tubo con las especificaciones deseadas.

Se ha encontrado que realizaciones del aparato y métodos de la presente invención producen tubo con espesor de pared de uniformidad mayor, y con tolerancias más ajustadas, que los métodos de la técnica anterior. La figura 7A ilustra el espesor de pared de un tubo de 20 pies (610 cm) colado de acuerdo con una realización de la presente invención. La figura 7B ilustra el espesor de pared de un tubo de 20 pies (610 cm) de las mismas especificaciones, colado en la misma máquina de colada, de acuerdo con métodos de la técnica anterior tal como se describen en el documento de patente de EE.UU. US4370719. Se tomaron medidas del espesor de pared en ubicaciones diametralmente opuestas a intervalos de un pie (30,5 cm) a lo largo de la longitud de cada tubo. Las figuras trazan los espesores de pared en cada lado del tubo como líneas separadas. Como puede verse fácilmente, el espesor de pared del tubo de la figura 7A, colado de acuerdo con una realización de la presente invención, es mucho más uniforme sobre su longitud y circunferencia que el tubo mostrado en la figura 7B colado de acuerdo con métodos de

la técnica anterior.

5 La precisión aumentada y el control ofrecidos por realizaciones de la presente invención permiten que se haga tubo con paredes más delgadas de lo que era posible previamente. Esto ahorra coste de material significativo en metal líquido y reduce el peso del producto terminado. Además, con tubo de paredes más gruesas, se asegura la conformidad con especificaciones y estándares y se gasta menos material haciendo paredes de tubo más gruesas de lo requerido para una clase dada. A continuación de la colada, el tubo de hierro se transporta hasta un horno de recocido, donde el tubo es recocido a alta temperatura. Debido a que el tubo colado de acuerdo con realizaciones de la presente invención se adhiere estrechamente a la especificación y usa menos material que las técnicas de la técnica anterior, hay menos hierro para recocer, ahorrando costes de energía en el tiempo.

10

**REIVINDICACIONES**

1. Un método de colar centrífugamente un objeto a partir de un recipiente de metal líquido, teniendo dicho metal líquido una temperatura de liquidus y, cuando es vaciado, una temperatura de vaciado, que comprende:
  - 5        medir la temperatura de liquidus del metal líquido en el recipiente;
  - vaciar el metal líquido en un canal para entregar el metal líquido a un molde rotativo;
  - medir la temperatura de vaciado del metal líquido vaciado en el canal;
  - calcular la fluidez del metal líquido basándose en la temperatura de liquidus y la temperatura de vaciado medidas;
  - 10       mover el molde con respecto al canal (30) para depositar metal líquido en el molde (20), en el que dicho movimiento se controla basándose en dicha fluidez calculada para entregar un volumen de metal líquido a dicho molde (20) para colar dicho objeto de acuerdo con especificaciones predeterminadas.
2. El método de la reivindicación 1, en el que dicho movimiento es controlado de acuerdo con una función de transferencia que relaciona la fluidez con los requerimientos volumétricos para un objeto de dichas especificaciones predeterminadas en dicho molde.
3. El método de la reivindicación 2, en el que dicha función de transferencia se obtiene empíricamente.
4. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 2 y 3, en el que dicho paso de vaciado comprende un período de tiempo predeterminado y en el que dicha función de transferencia comprende una pluralidad de ecuaciones, correspondiendo cada una de dichas ecuaciones a un segmento identificado de dicho período de tiempo.
- 20    5. El método de la reivindicación 4, en el que dichas ecuaciones se seleccionan del grupo que consta de:
  - (a) una primera ecuación de retardo correspondiente al segmento de tiempo desde cuando el metal líquido sale del extremo del canal hasta que se deposita en el molde un volumen predeterminado de metal líquido;
  - (b) una primera ecuación de aceleración correspondiente a un segmento de tiempo en el cual el caudal de dicho metal líquido en dicho canal aumenta después de que dicho volumen predeterminado de metal líquido llegue a dicho molde; y
  - 25       (c) una primera ecuación de deceleración correspondiente a un segmento de tiempo en el cual el caudal de dicho metal líquido en dicho canal se reduce después de que el recipiente para de vaciar metal líquido en el canal.
6. El método de la reivindicación 5, en el que dicha función de transferencia comprende al menos una de:
  - 30       (a) una segunda ecuación de aceleración correspondiente a un segmento de tiempo en el cual el caudal de dicho metal líquido en dicho canal aumenta menos que durante el segmento de tiempo correspondiente a dicha primera ecuación de aceleración;
  - (b) una segunda ecuación de deceleración correspondiente a un segmento de tiempo en el cual el caudal de dicho metal líquido en dicho canal se reduce más con respecto al segmento de tiempo correspondiente a dicha primera ecuación de deceleración; o
  - 35       (c) una segunda ecuación de retardo correspondiente a un segmento de tiempo desde el final de dicho período de tiempo hasta que el metal líquido para de ser depositado en dicho molde desde dicho canal.
7. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 4-6, en el que dicho molde tiene una pluralidad de secciones, teniendo cada sección dicha un requerimiento volumétrico, un segmento identificado de dicho período de tiempo corresponde a cada sección dicha.
- 40    8. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1-7, en el que múltiples cargas de recipiente de metal líquido son coladas en objetos, teniendo cada carga de recipiente de metal líquido una composición química, en el que la composición química de dicho metal líquido es variable de una primera carga de recipiente a una segunda carga de recipiente.
- 45    9. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1-8, en el que una cuchara de tratamiento contiene un volumen suficiente de metal líquido para colar múltiples objetos y un primer volumen de dicho metal líquido para colar un objeto individual es transferido a dicho recipiente y la temperatura de vaciado de dicho metal líquido en dicho recipiente se mide cada vez que el metal líquido es vaciado para colar cada objeto dicho.

10. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1-9, en el que la temperatura de liquidus de dicha cuchara de tratamiento de hierro líquido se mide sólo una vez para tal colada de múltiples objetos.
11. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1-10, en el que dicho objeto es tubo y dicho metal líquido es una aleación de hierro.
- 5 12. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1-11, en el que dicho molde comprende una pluralidad de secciones, comprendiendo dichas porciones una campana, una espiga y una caña entre dicha campana y dicha espiga.
13. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1-12, en el que dicho movimiento se controla de acuerdo en concordancia con una función de transferencia que relaciona la fluidez con los requerimientos volumétricos para un tubo que tiene una campana, una espiga y una caña con especificaciones predeterminadas.
- 10 14. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1-13, en el que dichas especificaciones predeterminadas comprenden el espesor de pared de dicho tubo.
- 15 15. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1-14, en el que dichas especificaciones predeterminadas comprenden el espesor de pared de dicho tubo a intervalos predeterminados a lo largo de la longitud de dicha tubería.
16. El método de la reivindicación 15, en el que el espesor de pared a dichos intervalos predeterminados se selecciona de entre el grupo que consta de: espesor constante dentro de una tolerancia definida; espesor variable dentro de una tolerancia predefinida.
- 20 17. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1-16, en el que dichas especificaciones predeterminadas comprenden un tubo que tiene una sección transversal que cambia de dimensiones a través de al menos una porción de la longitud del tubo.
18. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 2-17, en el que dicha función de transferencia comprende una pluralidad de ecuaciones, al menos una ecuación correspondiendo a cada sección de dicho molde.
19. El método de la reivindicación 18, en el que dichas ecuaciones comprenden:
- 25 (a) una ecuación de tiempo de retardo de inicio;
- (b) una ecuación de aceleración en la campana; y
- (c) una ecuación de deceleración en la espiga.
20. El método de la reivindicación 19, que comprende, además, al menos una de:
- (a) una segunda ecuación de aceleración en la campana;
- 30 (b) una segunda ecuación de deceleración en la espiga; o
- (c) una ecuación de parada en la espiga.
21. Un aparato para colar centrífugamente un objeto a partir de metal líquido, teniendo dicho metal líquido una temperatura de liquidus y, cuando es vaciado, una temperatura de vaciado, que comprende:
- un molde rotativo (20);
- 35 un canal (30) para recibir metal líquido vaciado desde un recipiente y entregar metal líquido en dicho molde (20);
- un sistema de accionamiento (40) para mover dichos canal o molde con respecto al otro;
- un controlador (50) para controlar dicho sistema de accionamiento;
- una computadora (55) para programar dicho controlador para controlar dicho sistema de accionamiento para proporcionar el movimiento prescrito de dicho molde y dicho canal uno con respecto al otro;
- 40 una primera sonda de temperatura para medir la temperatura de liquidus de dicho metal líquido; y
- una segunda sonda de temperatura para medir la temperatura de vaciado de dicho metal líquido;
- en el que dicha computadora calcula la fluidez de dicho metal líquido a partir de dichas temperaturas de liquidus y vaciado medidas, dicha computadora programada con una función de transferencia que relaciona la fluidez con los requerimientos volumétricos de metal líquido para colar un objeto de especificaciones predeterminadas en dicho molde y el correspondiente movimiento relativo de dicho canal (30) y dicho molde (20), y dicha computadora (55)
- 45 programando dicho controlador (50) para controlar dicho sistema de accionamiento (40) para causar dicho

movimiento relativo para depositar metal líquido en el molde en concordancia con dichos requerimientos volumétricos.

22. El aparato de la reivindicación 21, en el que el sistema de accionamiento (40) comprende actuadores (45) para mover dicho molde (20) o dicho canal (30) en vaivén dentro de un intervalo fijo de movimiento.
- 5 23. El aparato de la reivindicación 22, en el que dichos actuadores (45) comprenden hidráulicos, motores eléctricos, un acoplamiento por cadena o correa a un motor térmico.
24. El aparato de una cualquiera de las reivindicaciones 21-23, en el que ambos, dicho canal (30) y dicho molde (20), son movidos uno con respecto al otro.
- 10 25. El aparato de una cualquiera de las reivindicaciones 21-24, en el que dicha primera sonda de temperatura es un termopar.
26. El aparato de la reivindicación 25, en el que dicho termopar comprende una copa (65) desechable.
27. El aparato de una cualquiera de las reivindicaciones 21-26, en el que dicha segunda sonda de temperatura es un pirómetro (70) infrarrojo de color dual.
- 15 28. El aparato de la reivindicación 26 o 27, en el que al menos uno de dichas primera sonda de temperatura y segunda sonda de temperatura está en comunicación con dicha computadora.
29. El aparato de una cualquiera de las reivindicaciones 21-28, en el que dicho controlador (50) es un controlador lógico programable que recibe órdenes de dicha computadora (55).
30. El aparato de una cualquiera de las reivindicaciones 21-29, en el que dicho canal (30) está angulado hacia abajo hacia dicho molde y se extiende axialmente en el interior del molde (20).
- 20 31. El aparato de una cualquiera de las reivindicaciones 21-30, en el que dicho recipiente es una cuchara (25) de máquina.

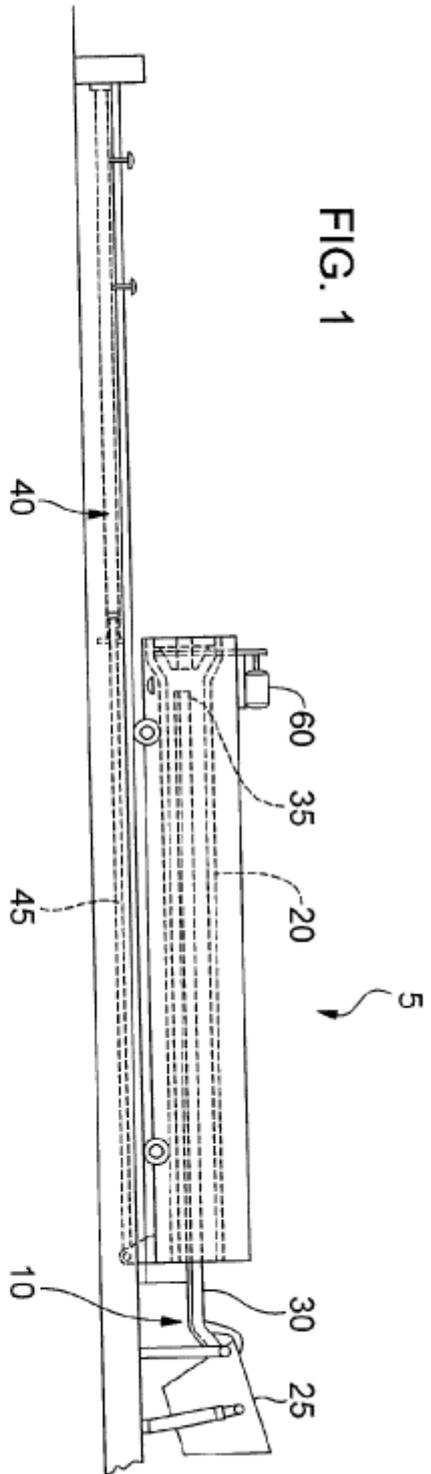


FIG. 1

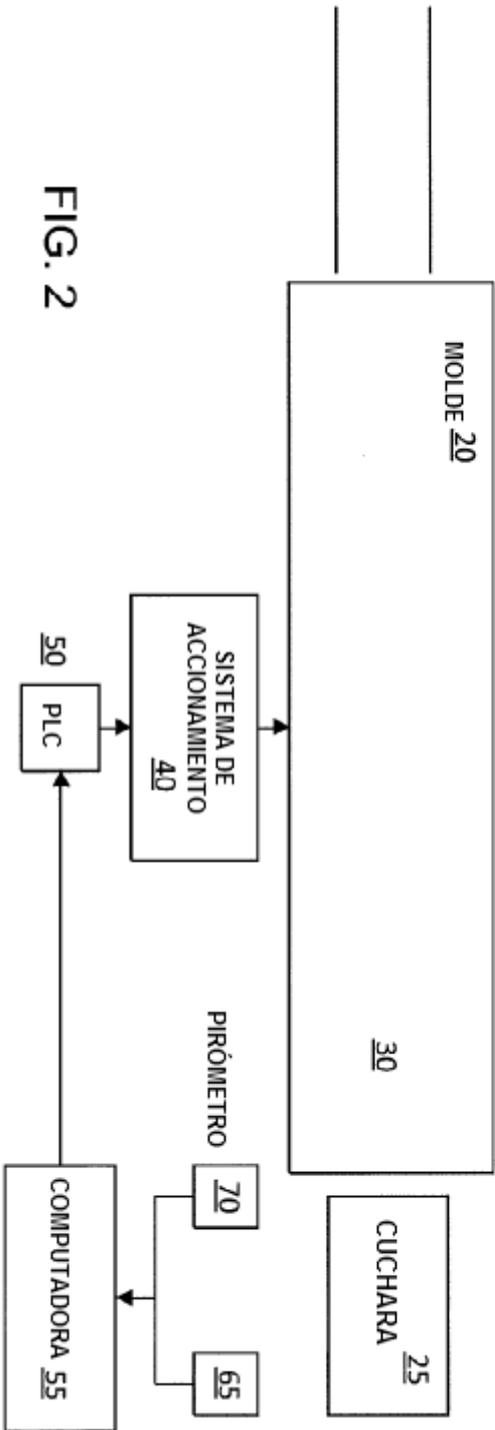
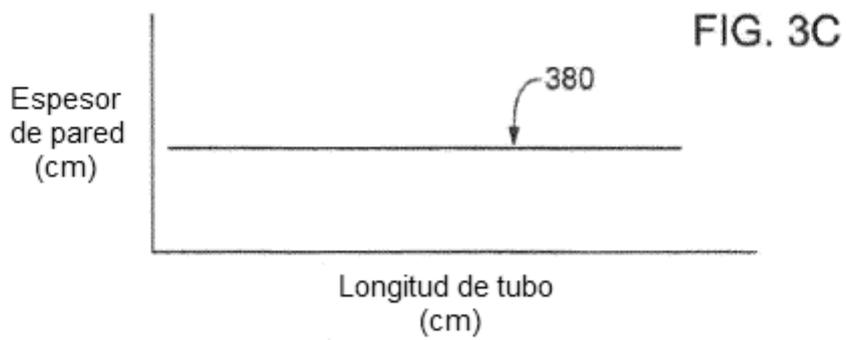
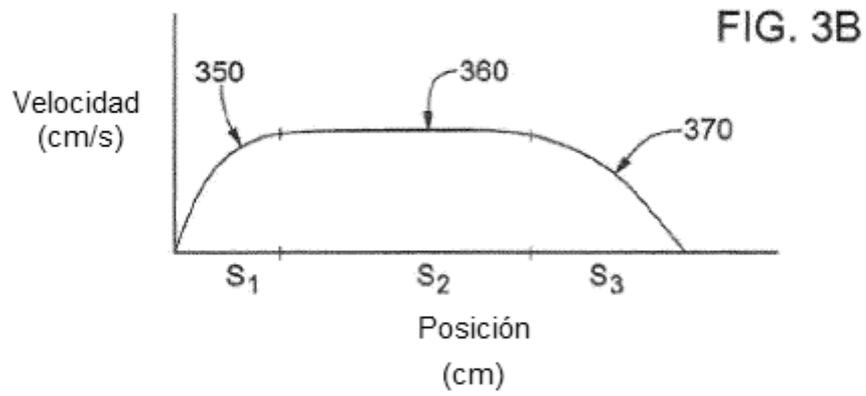
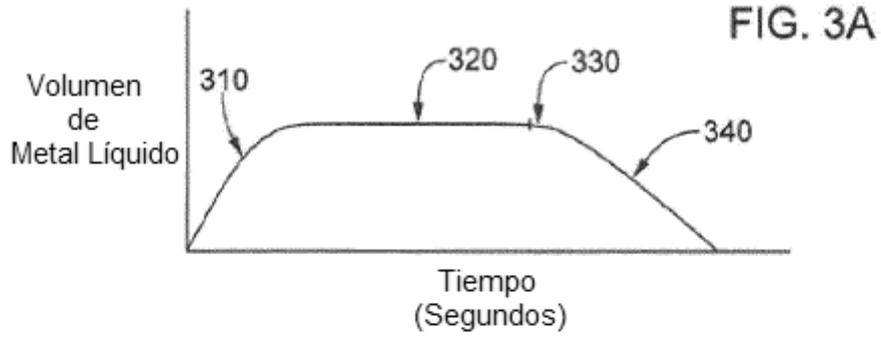


FIG. 2

r



J

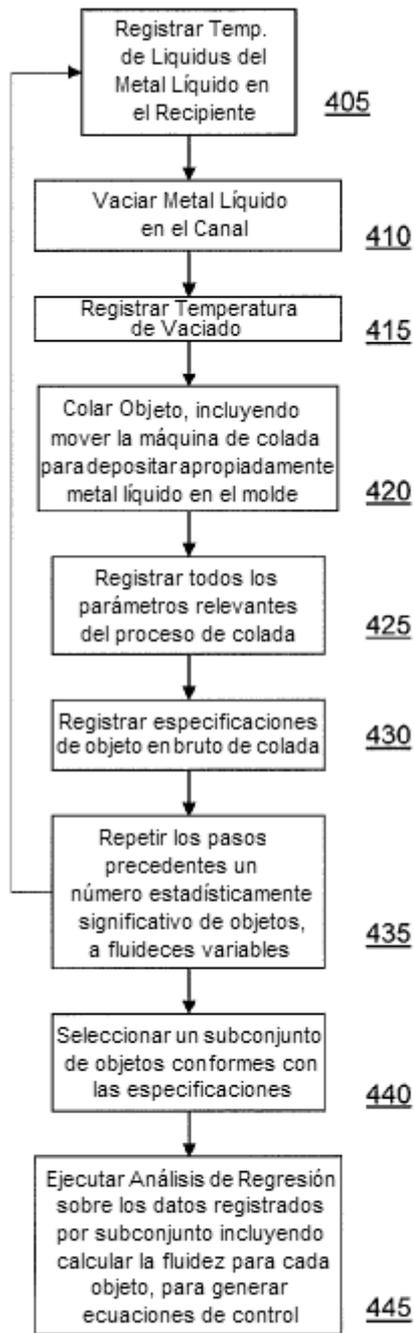


FIG. 4

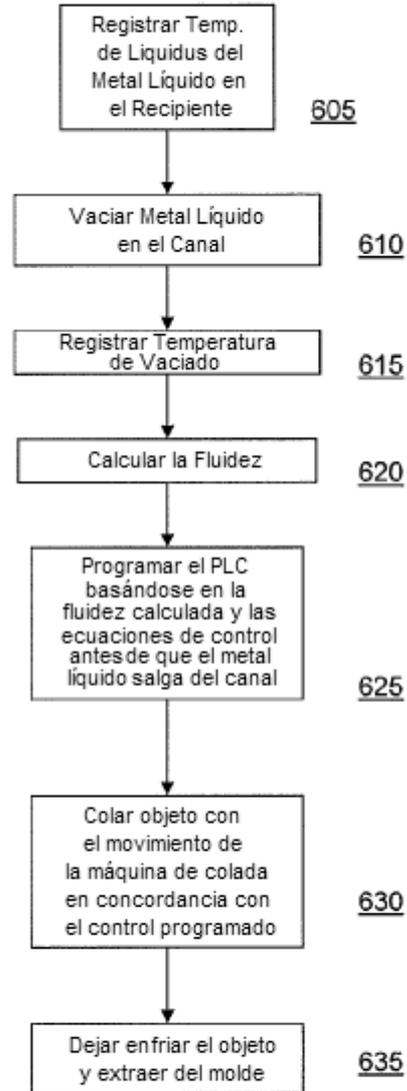
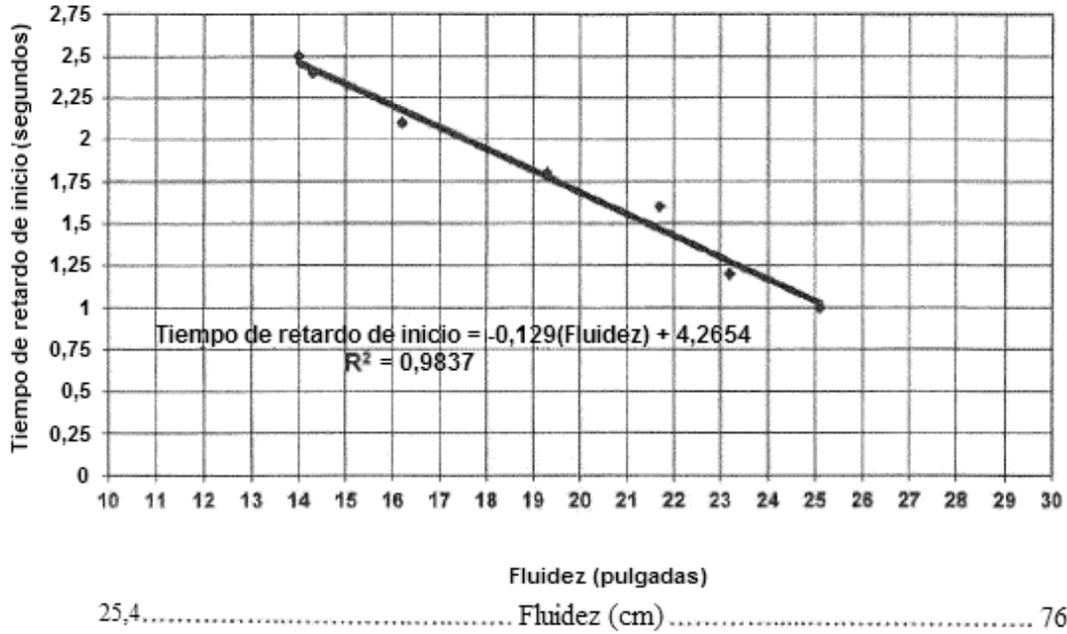
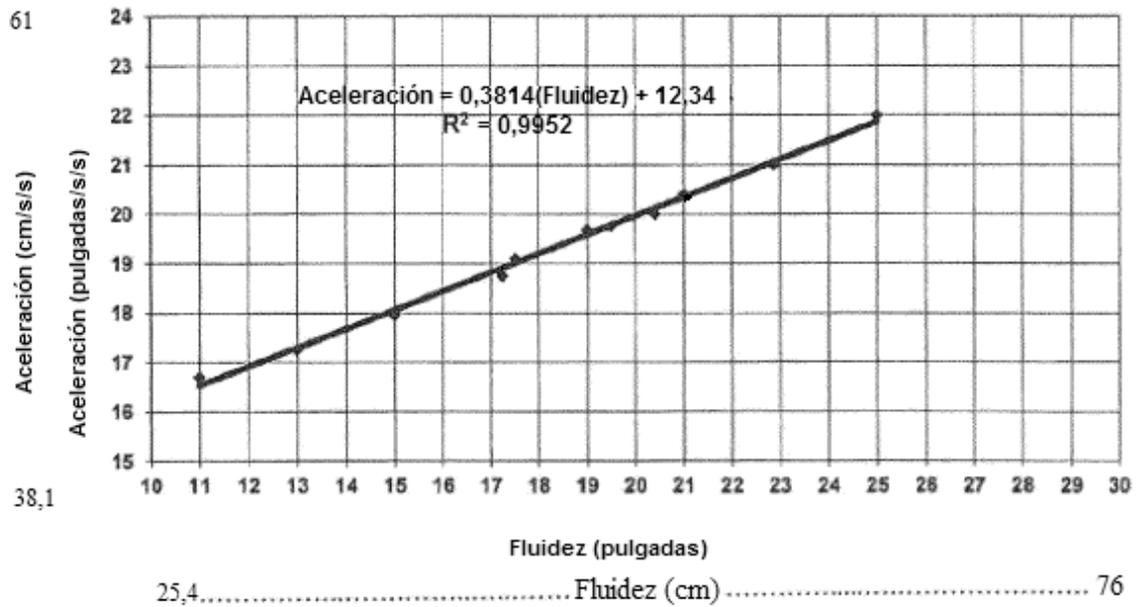


FIG. 6

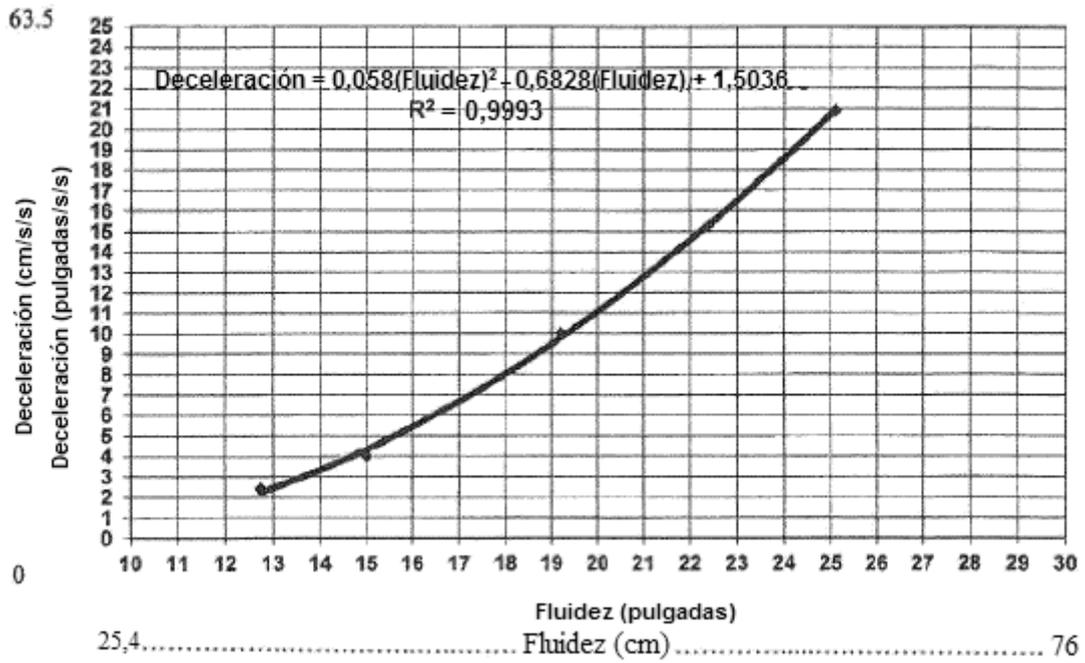
**FIG 5A**  
**Ecuación del tiempo de retardo de inicio**



**FIG 5B**  
**Ecuación de aceleración en la campana**



**FIG. 5C**  
**Ecuación de deceleración en la espiga**



**FIG. 5D**  
**Ecuación de parada en la espiga**

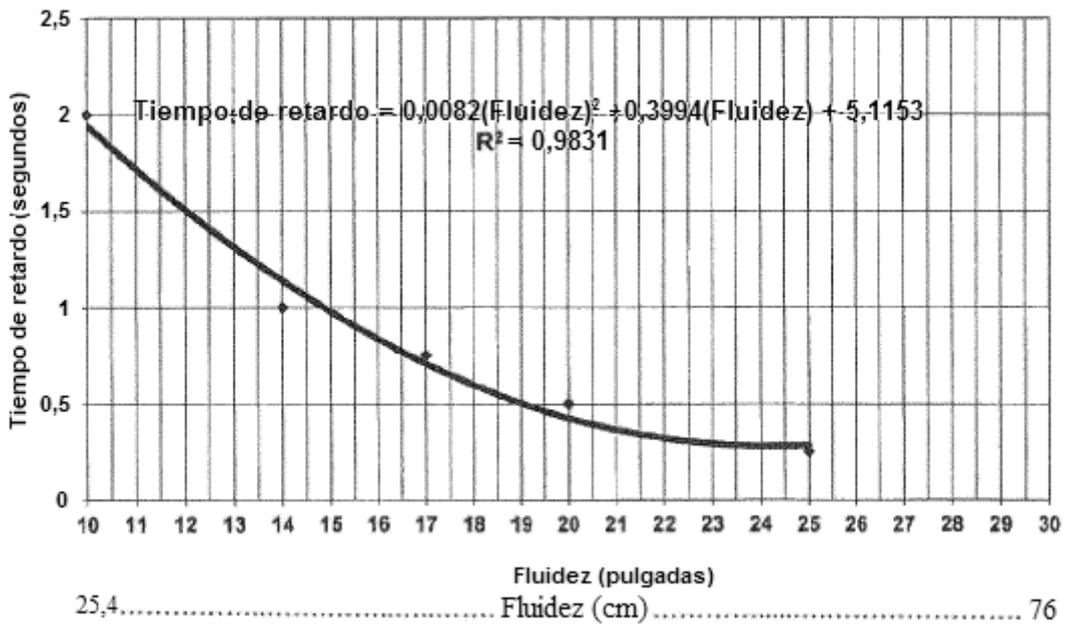


FIG. 7A

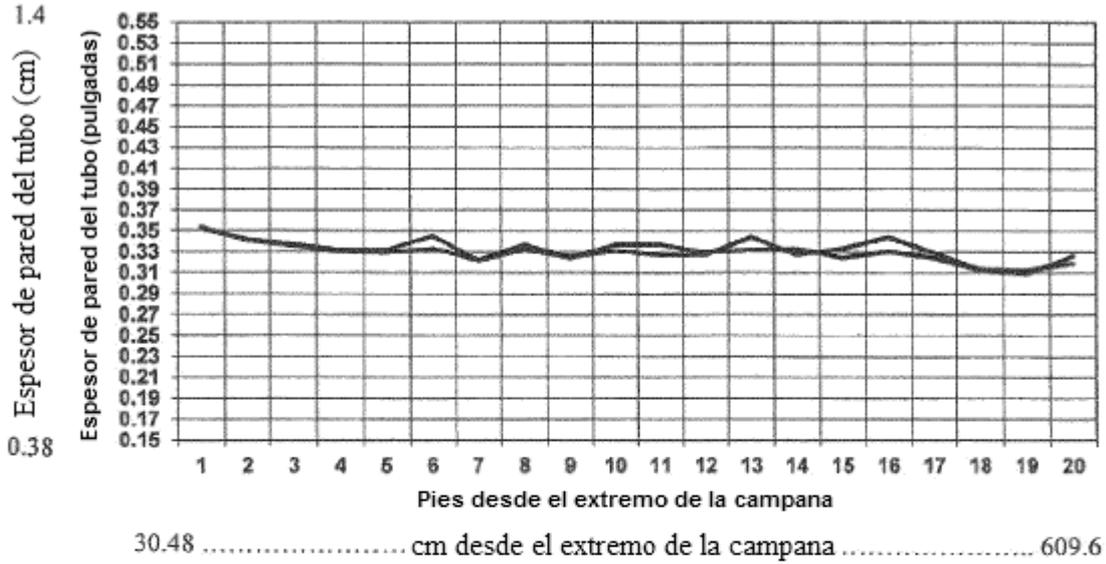
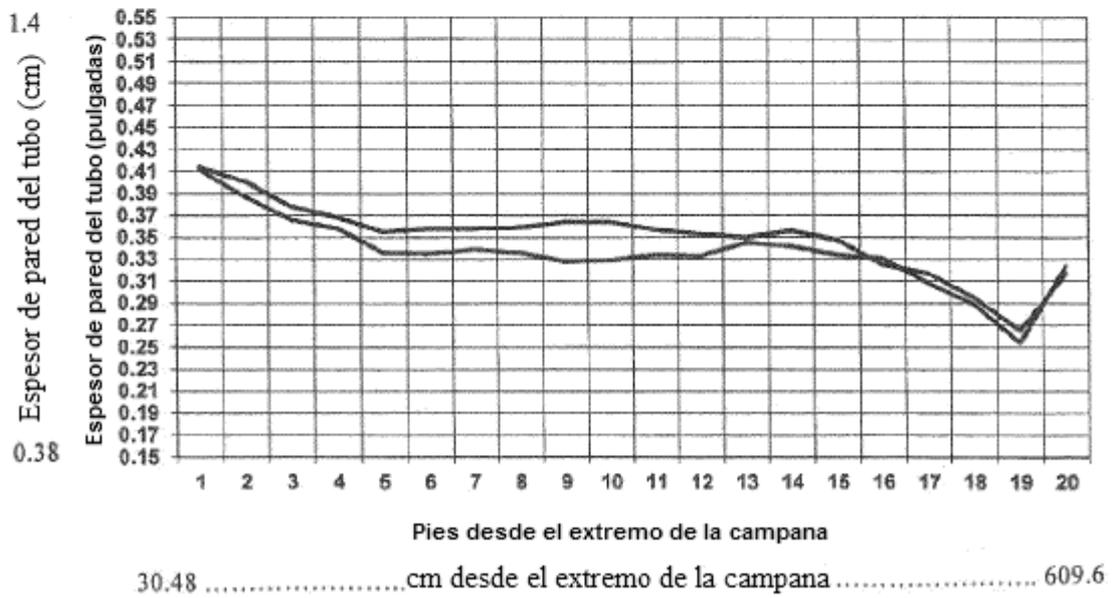


FIG. 7B (Técnica anterior)



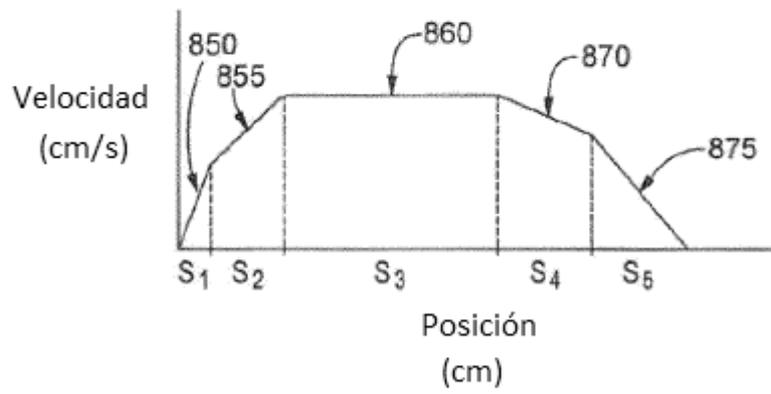


FIG. 8