

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 796 024**

51 Int. Cl.:

**G05B 19/042** (2006.01)

**G01J 5/00** (2006.01)

**G05B 19/418** (2006.01)

**G06T 7/00** (2007.01)

**G05B 19/04** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.10.2014 E 14191361 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.05.2020 EP 2874032**

54 Título: **Sistema y método de control en bucle cerrado de firma de objetivo**

30 Prioridad:

**07.11.2013 US 201314074260**

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

**25.11.2020**

73 Titular/es:

**EMHART GLASS S.A. (100.0%)  
Hinterbergstrasse 22  
6330 Cham, CH**

72 Inventor/es:

**SIMON, JONATHAN S.**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 796 024 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**

Sistema y método de control en bucle cerrado de firma de objetivo

**Antecedentes de la invención**

5 La presente invención se refiere en general al funcionamiento de una máquina de I.S. (secciones individuales – "Individual Section"–) que fabrica recipientes de vidrio, y, más particularmente, a la mejora del rendimiento y la calidad de proceso, al tiempo que se reduce la dependencia de la habilidad del operador al ajustar automáticamente la regulación temporal y los movimientos de la máquina de I.S.

10 Un sistema y método para realizar un seguimiento de recipientes de vidrio calientes en el extremo caliente a medida que avanzan desde una máquina de I.S. que los fabrica, se describe en la Publicación de Solicitud de Patente Europea N° EP 2 336 740 A1, de Holtkamp et al., titulada "Método y sistema para supervisar y controlar un proceso de formación de recipientes de vidrio"; en la Patente de los EE.UU. N° 8.462.203, de Holtkamp et al., titulada "Método y sistema para supervisar y controlar un proceso de formación de recipientes de vidrio"; y en la Publicación de Solicitud de Patente de los EE.UU. N° US 2011 0141265 A1, de Holtkamp et al., titulada "Sistema y método para supervisar recipientes de vidrio calientes para mejorar su calidad y controlar el proceso de formación", las tres asignadas al mismo asignatario de la presente Solicitud de Patente.

15 Si bien estos sistemas y métodos permiten realizar un seguimiento de la calidad de los recipientes de vidrio calientes fabricados por una máquina de I.S., sería beneficioso utilizar la gran cantidad de información disponible sobre las características de los recipientes de vidrio calientes proporcionados por estos sistemas y métodos para mejorar aún más la calidad de los recipientes de vidrio calientes que fabrica la máquina de I.S. En este sentido, sería beneficioso utilizar parte de la información sobre las características de los recipientes de vidrio calientes que proporcionan estos sistemas y métodos para controlar automáticamente el funcionamiento de la máquina de I.S. con vistas a mejorar aún más la calidad de los recipientes de vidrio calientes que se producen.

20 En general, el ajuste automático de la máquina para mantener la distribución de vidrio en función de la información disponible sobre las características de los recipientes de vidrio calientes no se ha logrado en el pasado, y, por lo tanto, representaría un nuevo desarrollo. Fundamentalmente, la mejor distribución del vidrio se logrará cuando las condiciones de funcionamiento de la máquina de I.S. se encuentren más cerca de las condiciones para las cuales se han diseñado los moldes de la preforma/pieza previa. Si las condiciones cambian, la distribución del vidrio también puede verse afectada.

25 Por lo tanto, se apreciará que sería deseable proporcionar un sistema y un método para mejorar el rendimiento y la calidad del proceso al tiempo que se reduce la dependencia de la habilidad del operador, al ajustar automáticamente la regulación temporal y los movimientos de la máquina de I.S.

30 El documento US 2012/0226378 divulga un sistema y método para la optimización de los ciclos de sucesos que se producen en una máquina de I.S. mediante la supervisión de los recipientes de vidrio calientes después de su fabricación. Se toman mediciones de los recipientes de imágenes de los recipientes, y un controlador computa los ajustes para mantener las propiedades de los recipientes medidos lo más cerca posible de los puntos de ajuste de objetivo.

35 No se debe suponer que la materia objeto expuesta en esta parte de antecedentes de la invención constituye técnica anterior simplemente como resultado de su mención en la parte de antecedentes de la invención. De manera similar, no debe suponerse que un problema mencionado en la parte de antecedentes de la invención o asociado con la materia objeto de la parte de antecedentes de la invención haya sido previamente constatado en la técnica anterior. La materia objeto de la parte de antecedentes de la invención simplemente representa diferentes soluciones que, en sí mismas y en cuenta a ellas, también pueden ser invenciones.

**Compendio de la invención**

40 De acuerdo con diversas realizaciones de la invención, se proporciona un sistema según se define en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12 adjuntas. Se proporciona además un método según se define en una cualquiera de las reivindicaciones 13 a 15 adjuntas. Las desventajas y limitaciones de la técnica anterior expuesta anteriormente son superados por la presente invención. Con esta invención, un sistema y un método mejoran el rendimiento y la calidad del proceso, al tiempo que reducen la dependencia de la habilidad del operador, al ajustar automáticamente la regulación temporal y los movimientos de la máquina de I.S. La información de datos de píxeles de recipiente indicativa de ciertas mediciones de recipientes de vidrio calientes fabricados por la máquina de I.S., obtenida con un sistema de medición de recipientes de vidrio multiespectral, en múltiples puntos, se transforma matemáticamente en una firma medida dimensionalmente reducida. Se producen señales de regulación temporal de sucesos para hacer funcionar las cavidades de la sección de la máquina de I.S. en respuesta a la firma medida y a una firma objetivo preferida, a fin de ajustar automáticamente la regulación temporal de sucesos de las operaciones en las cavidades de la sección de la máquina de I.S., con el fin de disminuir las variaciones en la firma medida.

El sistema de control en bucle cerrado de firma de objetivo de la presente invención proporciona un sistema y un método para mejorar el rendimiento y la calidad de proceso, al tiempo que se reduce la dependencia de la habilidad del operador, al ajustar automáticamente la regulación temporal y los movimientos de la máquina de I.S. La disminución de las variaciones en la firma medida puede comprender una disminución de las variaciones en la firma medida con respecto a la firma de objetivo preferida, de modo que se reduzcan las variaciones entre la firma medida y la firma de objetivo preferida. Opcionalmente, se puede calcular una señal de error entre la firma medida y la firma objetivo preferida, con el fin de determinar el ajuste automático de la regulación temporal de sucesos.

**Descripción de los dibujos**

Estas y otras ventajas de la presente invención se entienden mejor con referencia a los dibujos, en los que:

10 La Figura 1 es una representación esquemática funcional de un sistema de control en bucle cerrado de firma de objetivo que implementa una primera realización de la presente invención;

La Figura 2 es una representación esquemática funcional de un sistema de control en bucle cerrado de promedio de sección que implementa una segunda realización de la presente invención;

15 La Figura 3 es una representación esquemática funcional de un sistema de control en bucle cerrado para el control de cavidad y de promedio de sección, que implementa una tercera realización de la presente invención;

La Figura 4 es una representación esquemática funcional de un sistema de control en bucle cerrado para el control interno, que implementa una cuarta realización de la presente invención; y

La Figura 5 es una representación esquemática funcional de un sistema de control en bucle cerrado para el control de modelo interno, que implementa una quinta realización de la presente invención.

20 **Descripción detallada de un ejemplo de realización**

La invención propuesta utiliza un bucle de control de retroalimentación, una implementación del cual se ilustra esquemáticamente en la Figura 1. Un proceso físico 30 de formación de vidrio crea recipientes de vidrio calientes 32. La energía electromagnética (EM) irradiada, reflejada o transmitida a través de los recipientes de vidrio calientes 32 es detectada por un sistema de medición en múltiples puntos, o multipunto, y multiespectral 34, que proporciona datos de píxeles 36 que representan, en conjunto, cada recipiente de vidrio caliente 32 que pasa por el sistema de medición multipunto y multiespectral 34, de manera que dichos datos de píxeles 36 proporcionan una medición multipunto de cada recipiente de vidrio caliente 32. La medición puede hacerse, por ejemplo, usando una cámara de exploración de área o de línea que es sensible en las partes infrarroja y visible del espectro de EM. Los datos de píxeles 36 corresponden a la medición que emana de varios puntos de cada recipiente de vidrio caliente 32 y/o de sus entornos inmediatos, y este conjunto de m valores de píxel individuales se representa como el vector m-dimensional  $\mathbf{x}$ .

El sistema de medición multipunto y multiespectral 34 puede ser, por ejemplo, como se describe en la Publicación de Solicitud de Patente Europea N° EP 2 336 740 A1, en la Patente de EE.UU. N° 8.462.203 o en la Publicación de Solicitud de Patente de los EE.UU. N° US 2011 0141265 A1. El sistema de medición multipunto y multiespectral 34 está dispuesto y configurado para supervisar la radiación emitida por los recipientes de vidrio calientes 32 una vez que se han formado y antes de que se enfríen a medida que se transportan en alejamiento de la máquina de I.S. El sistema de medición multipunto y multiespectral 34 incluye al menos un dispositivo de obtención de imagen para supervisar la radiación emitida por los recipientes de vidrio calientes 32 una vez que han sido formados y conforme son transportados en alejamiento de la máquina de I.S.

40 Este vector de datos de píxeles  $\mathbf{x}$  es entonces transformado matemáticamente en un bloque 38 de extracción de firma para producir una firma medida 40, que puede ser un vector r-dimensional  $\mathbf{t}(\mathbf{x})$ . La longitud (número de dimensiones) r es, por lo común, menor que m (como se explica más adelante). Hay muchas opciones posibles para la transformación matemática que se lleva a cabo en el bloque 38 de extracción de firma, pero el propósito general es proporcionar un conjunto de valores dimensionalmente reducido (en relación con el número inicial de píxeles) que están correlacionados con variaciones indeseables en los recipientes de vidrio calientes 32).

45 La técnica que puede ser utilizada por el bloque 38 de extracción de firma para este propósito puede ser el análisis de componentes principales (un procedimiento matemático que utiliza la transformación ortogonal para convertir un conjunto de observaciones de variables posiblemente correlacionadas en un conjunto de valores de variables linealmente no correlacionadas llamadas componentes principales), o bien puede hacerlo mediante el uso de la regresión de mínimos cuadrados parciales (un método estadístico que encuentra un modelo de regresión lineal proyectando las variables predichas y las variables observables en un nuevo espacio). Ambos enfoques se explicarán en detalle más adelante. Se hará referencia al conjunto de valores contenidos en  $\mathbf{x}$  como la firma medida 40. Puede comprenderse que si las variaciones en la firma medida 40  $\mathbf{t}(\mathbf{x})$  pueden disminuirse, entonces también se reducirán las variaciones indeseables en los recipientes de vidrio calientes 32.

55 Para lograr la reducción deseada en la variabilidad de la firma medida 40 ( $\mathbf{x}$ ), la firma medida 40  $\mathbf{t}(\mathbf{x})$  para cada recipiente de vidrio caliente 32 se retroalimenta a un algoritmo de control 42, que computa los ajustes de las duraciones

de conformación térmica deseadas 44, cuyo propósito es mantener el valor de  $t(x)$  lo más cerca posible de un punto de referencia de firma preferido  $t(x)_{\text{objetivo}}$  para el punto de referencia de la firma. El punto de referencia de firma preferido 46 puede elegirse, por ejemplo, como un valor que previamente haya proporcionado recipientes de vidrio calientes deseables 32. El punto de referencia de firma preferido 46 constituye una firma objetivo preferida.

5 Para mantener la firma medida 40  $t(x)$  próxima a  $t(x)_{\text{objetivo}}$ , el algoritmo de control 42 computa las duraciones de conformación térmica deseadas 44  $u$  (por ejemplo, tiempo de contacto con el molde, el tiempo de estiramiento, el tiempo de contacto con la pieza previa) que se deben aplicar a la máquina de I.S. Las duraciones de conformación térmica 44  $u$  denota un vector de valores de longitud  $N_u$ , donde  $N_u$  es el número de valores ajustados. Se pueden utilizar muchos algoritmos de control diferentes para computar realmente los valores de ajuste. Una posibilidad es utilizar múltiples bucles de control individuales proporcionales-integrales-derivados ("PID") con entradas de proceso particulares vinculadas a elementos particulares del vector de firma. También puede utilizarse un controlador de entrada múltiple-salida múltiple ("MIMO" –"Multiple-Input, Multiple-Output"–) para tener en cuenta el acoplamiento entre las variables. Como se explicará más adelante, un algoritmo atractivo para este propósito sería una forma de lo que se conoce en la literatura de control como control de modelo interno, en el cual se utiliza un modelo de proceso aproximado en la computación de los ajustes del proceso.

Dado que, en general, se deben realizar múltiples cambios interrelacionados a la hora de regular temporalmente los sucesos de la máquina para lograr los cambios deseados en la duración de la conformación térmica, se utiliza un bloque de ajuste de regulación temporal de conformación térmica 48 para computar los ajustes detallados de regulación temporal requeridos. En general, debido a las limitaciones del tiempo de ciclo disponible, a los requisitos secuenciales de la regulación temporal y a la interferencia mecánica, puede que no sea posible conseguir exactamente las duraciones de conformación térmica deseadas 44. Es la función del bloque de ajuste de regulación temporal de conformación térmica 48 aproximarse a los valores deseados dentro de las restricciones permitidas.

Las restricciones pueden derivarse de entradas configuradas externamente, como una velocidad de ciclo 50  $u$  o otros límites ajustables 52, o bien pueden computarse utilizando un modelo de proceso conjuntamente con datos para este modelo de proceso, que pueden estar contenidos dentro del bloque de ajuste de regulación temporal de conformación térmica 48. Las computaciones dentro del bloque de ajuste de regulación temporal de conformación térmica 48 pueden adoptar diferentes formas y pueden incluir, por ejemplo, una optimización como se describe en las Patentes de los EE.UU. Nos. 7.489.983, 6.722.158, 6.711.916, 6.705.120, 6.705.119, 6.606.886, 6.604.386, 6.604.385, 6.604.384 y 6.604.383, todas las cuales están asignadas al mismo asignatario de la presente Solicitud de Patente. Dado que puede ser ventajoso que el algoritmo de control 42 tenga en cuenta los valores de restricción, para que el algoritmo de control 42 permanezca dentro de los límites permitidos, estos valores límite pueden ser comunicados al algoritmo de control 42, ya sea directamente como valores límite ajustables 54, ya sea como límites 56 suministrados como salida desde el bloque de ajuste de regulación temporal de conformación térmica 48.

El bloque de ajuste de regulación temporal de conformación térmica 48 proporciona señales 58 de regulación temporal de máquina para hacer funcionar una máquina 60 de conformación de recipientes. La máquina 60 de conformación de recipientes produce movimientos mecánicos 62 que llevan a efecto el proceso físico de conformación 30 del vidrio. También afectan al proceso físico de conformación 30 del vidrio las condiciones de contorno térmicas 64 de las herramientas. Finalmente, el proceso físico de conformación 30 del vidrio provoca fuerzas y flujos 66 de interfaz herramienta-vidrio que afectan al funcionamiento de la máquina 60 de conformación de recipientes.

Con respecto a las dimensiones  $m$ ,  $r$  y  $N_u$  del vector de datos de píxeles, del vector de firma y del vector de ajuste de proceso, respectivamente, puede apreciarse que, en general, el número de cantidades que pueden controlarse está limitado por el número de entradas de proceso ajustables. Es decir, no es posible controlar más de  $N_u$  cantidades. Por lo tanto, un aspecto clave del proceso de extracción de firma es reducir las  $m$  dimensiones iniciales de los datos de píxeles, que generalmente serán mayores que  $N_u$ , hasta un número menor de valores relevantes que se pueda controlar con el número disponible de entradas. En general, se requerirá que  $r$  sea menor o igual que  $N_u$ . El número de entradas ajustables  $N_u$  está limitado por la complejidad deseada del control (puede no ser deseable ajustar más que unas pocas variables) y también por el número de entradas de control efectivas. Es decir, si solo hay unos pocos ajustes esenciales del proceso que realmente afectan a lo que es importante en el proceso, entonces no es beneficioso ajustar variables adicionales.

El sistema de control en bucle cerrado de firma de objetivo que se muestra en la Figura 1 proporciona una vista de alto nivel del sistema de control general para una máquina de I.S. De hecho, la máquina de I.S., en su conjunto, está hecha de múltiples secciones, y la estructura global mostrada en la Figura 1 puede llevarse a la práctica como un conjunto de bucles de control independientes para cada sección (excepto si se varía el control de velocidad de la máquina de I.S., lo que sería aplicable a toda la máquina de I.S.). Dicha estructura de control de promedio de sección se muestra en el esquema funcional de la Figura 2. Con referencia, ahora, a la Figura 2, esta operación puede describirse como sigue. Una firma 70 de promedio de sección es restada de un punto de referencia de firma 72 por un sumador 74. La señal de error resultante se suministra a un algoritmo 76 de control de sección. El punto de referencia de firma 72 constituye una firma de objetivo preferida.

El algoritmo 76 de control de sección computa un conjunto de duraciones de conformación térmica deseadas 78 que se introducen en un sistema 80 de ajuste de regulación temporal de conformación térmica. El sistema 80 de ajuste de

regulación de conformación térmica computa valores 82 de regulación temporal común de sucesos para la sección. Este conjunto de valores 82 de regulación temporal común de sucesos se aplica a la sección. La sección produce, por lo común, múltiples flujos de recipientes. Si hay k cavidades de molde en el lado de las piezas previas y k cavidades de molde en el lado del soplado, se considerará que la sección global está compuesta por k subprocesos, cada uno de los cuales produce un flujo de recipientes, y que designamos aquí como proceso 84 de cavidad 1, proceso 86 de cavidad 2, hasta proceso 88 de cavidad k. Los recipientes calientes procedentes de cada uno del proceso 84 de cavidad 1, el proceso 86 de cavidad 2 y el proceso 88 de cavidad k, los cuales se han mostrado, respectivamente, como recipientes 90 de cavidad 1, recipientes 92 de cavidad 2 y recipientes 94 de cavidad k. se colocan en un transportador volante (no mostrado aquí) de donde pasan, junto con los recipientes calientes procedentes de las otras secciones no mostradas en la Figura 2, a un sistema de medición multipunto y multiespectral 96.

Como fue el caso en el sistema mostrado en la Figura 1, el sistema de medición multipunto y multiespectral 96 mostrado en la Figura 2 puede ser como se describe en la Publicación de la Solicitud de Patente Europea N° EP 2 336 740 A1, en la Patente de los EE.UU. N° 8.462.203 y en la Publicación de Solicitud de Patente de los EE.UU. N° US 2011 0141265 A1.

El sistema de medición multipunto y multiespectral 96 produce un flujo en serie de vectores 98 de píxeles de recipiente correspondientes a los recipientes que pasan. Estos vectores 98 de píxeles de recipiente se envían a un bloque 100 de extracción de firma que transforma el vector de píxel de cada recipiente en un vector de valor de firma 102 de dimensión reducida correspondiente. El flujo de valores de firma 102 de dimensión reducida (uno para cada recipiente caliente que ha pasado por el sistema de medición multipunto y multiespectral 96) se proporciona como una entrada a un agregador 104 de sección. El agregador 104 de sección recoge conjuntamente los valores de firma 102 de dimensión reducida correspondientes a la producción del último ciclo medido de la máquina proveniente de una sección dada, y genera k vectores de firma que se muestran como una firma 106 de cavidad 1, una firma 108 de cavidad 2 y una firma 110 de cavidad k, respectivamente correspondientes a la primera cavidad, a la segunda cavidad, hasta la cavidad k-ésima que representa la producción del último ciclo medido de una sección dada. El conjunto de k vectores de firma, incluyendo la firma 106 de la cavidad 1, la firma 108 de la cavidad 2 y la firma 110 de la cavidad k, se promedia, a continuación, mediante un bloque 112 de promediado de sección para producir la firma 70 de promedio de sección, con lo que se el bucle.

Se puede poner en práctica una elaboración adicional de la estructura básica mostrada en la Figura 2 para aprovechar los parámetros ajustables que están disponibles para cavidades individuales dentro de una sección (en oposición a los ajustes que son comunes a toda la sección). En la Figura 3 se muestra una posible implementación de una estructura de control para proporcionar un ajuste automático a los parámetros que son comunes a todas las cavidades, así como a los parámetros que son ajustables individualmente. El funcionamiento de un sistema de promedio de sección y control de cavidad se describirá con referencia a esta figura.

El bucle de control de promedio de sección principal funciona como se describe con referencia a la Figura 2, en la que se utilizan los mismos números de referencia para los mismos componentes del sistema. Además, se ha agregado una estructura en cascada, en la que la firma 70 de promedio de sección proporciona un punto de referencia para k algoritmos de control de cavidad individuales que incluyen un algoritmo de control 120 de cavidad 1, un algoritmo de control 122 de cavidad 2 y un algoritmo de control 124 de cavidad k. Cada uno de los algoritmos de control individuales ajustan, a continuación, los parámetros específicos de la cavidad con el fin de hacer que la cavidad individual coincida con el promedio de la sección lo más estrechamente posible.

Con referencia al bucle de control de la cavidad 1, un sumador 126 sustrae la firma 106 de la cavidad 1 de la firma 70 de promedio de la sección para producir una señal de error de sección resultante 1 que se suministra al algoritmo de control 120 de la cavidad 1. Basándose en esta señal de error de sección 1, el algoritmo de control 120 de la cavidad 1 computa los valores deseados para la cavidad 1 que forman una parte adicional de las duraciones de conformación térmica 78 deseadas. De manera similar, en referencia al bucle de control de la cavidad 2, un sumador 128 resta la firma 108 de la cavidad 2 de la firma 70 de promedio de sección para producir una señal de error de sección resultante 2 que se suministra al algoritmo 122 de control de la cavidad 2. Basándose en esta señal de error de sección 2, el algoritmo de control 122 de la cavidad 2 computa los valores deseados para la cavidad 2 que también forman una parte adicional de las duraciones de conformación térmica 78 deseadas. Del mismo modo, en referencia al bucle de control de la cavidad k, un sumador 130 resta la firma 110 de la cavidad k de la firma 70 de promedio de sección para producir una señal de error de sección resultante k que se suministra al algoritmo 124 de control de la cavidad k. Basándose en esta señal de error de sección k, el algoritmo de control 124 de la cavidad k computa los valores deseados para la cavidad k que forman otra parte más de las duraciones de conformación térmica 78 deseadas.

El sistema de ajuste de regulación temporal de conformación térmica 80 utiliza los valores computados por el algoritmo de control 120 de la cavidad 1, por el algoritmo de control 122 de la cavidad 2 y por el algoritmo de control 124 de la cavidad k, junto con los valores computados por el algoritmo 76 de control de sección, para computar todos los ángulos de suceso para la sección. Los valores comunes 82 de regulación temporal de sucesos que son comunes a toda la sección se aplican a todas las cavidades de la máquina (como era el caso en el sistema de la Figura 2). Los valores de suceso específicos de una cavidad, en contraste, se aplican solo a la cavidad concreta de la máquina. Por lo tanto, los valores 132 de suceso de la cavidad 1 se aplican al proceso 84 de la cavidad 1, los valores 134 de suceso de la

cavidad 2 se aplican al proceso 86 de la cavidad 2, y los valores 136 de suceso de la cavidad k se aplican al proceso 88 de la cavidad k.

5 Este uso de valores de suceso específicos de cavidades además de los valores de suceso específicos de sección da como resultado una modificación en la formación de los recipientes a partir de las cavidades respectivas, lo cual, después de ser medidos y analizados por el sistema de medición multipunto y multiespectral 96, los vectores 98 de píxeles de recipiente y el bloque 100 de extracción de firma se manifiesta como un cambio en las firmas de cada cavidad. Estos bucles de retroalimentación de cavidad adicionales funcionan para proporcionar ajustes finos a cada una de las cavidades.

Explicación detallada de elementos clave

10 Bloque de extracción de firma

En lo que sigue se describirán dos posibles implementaciones de los bloques 38, 100 de extracción de firma. La primera implementación utiliza una metodología conocida como análisis de componentes principales ("PCA"). La segunda implementación utiliza una metodología conocida como regresión de mínimos cuadrados parciales. En cualquier caso, el objetivo global es tomar un número relativamente grande de puntos de datos de píxeles y transformarlos en un número mucho menor de variables esenciales, que son a continuación controladas. Los dos enfoques difieren en sus criterios para elegir las variables esenciales. Para el enfoque de análisis de componentes principales, el criterio es captar la mayor cantidad de varianza posible en el conjunto inicial de imágenes utilizando un pequeño número de variables. Para la regresión de mínimos cuadrados parciales, el criterio es elegir una representación en la que la variabilidad de los datos de la imagen transformada se correlacione al máximo con la variabilidad de algún conjunto de variables de calidad medidas por separado (por ejemplo, a partir de datos de inspección del extremo frío).

Alternativa 1 - Análisis de componentes principales

25 En primer lugar, se recopila una colección de n imágenes de recipientes. Cada imagen de recipiente está representada por un conjunto de m valores de píxeles almacenados en un vector columna de longitud m de valores de píxeles,  $\mathbf{x}[i]$ , donde i es el recipiente i-ésimo de la colección. Se forma una matriz  $\mathbf{X}$  de n filas por m columnas, donde la fila i-ésima de  $\mathbf{X}$  viene dada por  $\mathbf{x}^T[i]$ , donde el superíndice T denota la transposición. Es deseable formar un nuevo conjunto de variables más pequeño para describir el recipiente i-ésimo, que se denota como el vector  $\mathbf{t}[k]$  de longitud r, con  $r < m$ . De esta forma, en lugar de requerir m valores para describir la imagen de un recipiente caliente, es posible utilizar solamente r valores para describir ese mismo recipiente.

30 Por supuesto, para que la técnica sea útil, los valores  $\mathbf{t}[i]$  deben en algún sentido contener los aspectos importantes de las imágenes. Específicamente, utilizando el análisis de componentes principales, se identifican las combinaciones lineales de los valores de píxeles individuales que tienen la varianza máxima. Esto capta la variabilidad clave en los datos de la nueva variable  $\mathbf{t}[i]$ , a la que se hará referencia aquí como la firma. La computación específica se realiza de la siguiente manera:

35 Defínase la matriz de covarianza  $\mathbf{C}_{xx}$  como:

$$\mathbf{C}_{xx} = \mathbf{X}^T \mathbf{X} \quad \text{Ecuación 1}$$

donde  $\mathbf{X}$  es la matriz de datos de píxeles de n filas por m columnas, en la que cada fila proporciona los valores de píxeles para un recipiente individual. Aquí se supone que los valores de los píxeles se han centrado en el valor medio (se ha restado el valor medio para cada píxel).

40 Defínase un nuevo vector  $\mathbf{t}$  como una combinación lineal de las columnas de  $\mathbf{X}$  dada por:

$$\begin{aligned} \mathbf{t}_1 &= \mathbf{X} \mathbf{w}_1 \\ \|\mathbf{w}_1\|_2 &= 1 \end{aligned} \quad \text{Ecuación 2}$$

donde  $\mathbf{w}_1$  es un vector unitario de pesos que define la combinación lineal de columnas de  $\mathbf{X}$ . Se desea encontrar los valores del vector de peso  $\mathbf{w}_1$  tales que la varianza de  $\mathbf{t}_1$  sea lo más grande posible.

La varianza viene dada por:

$$45 \quad c_{xx} = \mathbf{t}_1^T \mathbf{t}_1 \quad \text{Ecuación 3}$$

Al sustituir t de la Ecuación 2 en la Ecuación 3 se obtiene:

$$c_{xx} = \mathbf{w}_1^T \mathbf{X}^T \mathbf{X} \mathbf{w}_1 \quad \text{Ecuación 4}$$

Y sustituyendo la matriz de covarianza de la Ecuación 1 se obtiene:

$$c_{xx} = \mathbf{w}_1^T \mathbf{C}_{xx} \mathbf{w}_1 \quad \text{Ecuación 5}$$

Puesto que  $\mathbf{C}_{xx}$  es real y simétrica, se puede factorizar (véase, por ejemplo, Strang, Gilbert: "Linear Algebra and Its Applications" (Álgebra lineal y sus aplicaciones), Academic Press, Segunda edición, 1980) como:

$$5 \quad \mathbf{C}_{xx} = \mathbf{V} \mathbf{\Sigma} \mathbf{V}^T \quad \text{Ecuación 6}$$

donde  $\mathbf{V}$  = una matriz ortonormal cuyas columnas son vectores propios de  $\mathbf{C}_{xx}$ , y  $\mathbf{\Sigma}$  = matriz diagonal con los valores propios de  $\mathbf{C}_{xx}$  en la diagonal principal, ordenados de mayor a menor.

La combinación de las Ecuaciones 5 y 6 da:

$$c_{xx} = \mathbf{w}_1^T \mathbf{V} \mathbf{\Sigma} \mathbf{V}^T \mathbf{w}_1 \quad \text{Ecuación 7}$$

10 que se maximizará cuando  $\mathbf{w}$  se alinee con la primera fila de  $\mathbf{V}^T$  (es decir, el primer vector propio de  $\mathbf{C}_{xx}$ ). De manera que:

$$\begin{aligned} \mathbf{w}_1 &= \mathbf{v}_1 \\ \mathbf{t}_1 &= \mathbf{X} \mathbf{v}_1 \end{aligned} \quad \text{Ecuación 8}$$

De manera similar, la siguiente varianza más grande, para cualquier otra dirección que sea ortogonal a  $\mathbf{t}_1$ , vendrá dada por el  $\mathbf{w}_2$  alineado con el segundo vector propio de  $\mathbf{C}_{xx}$ . Continuando con este enfoque, se encuentra que las direcciones de varianza máxima están definidas por:

$$15 \quad \mathbf{T} = \mathbf{X} \mathbf{V} \quad \text{Ecuación 9}$$

La mayor varianza se producirá, por tanto, en las direcciones dadas por las columnas de  $\mathbf{T}$ , de manera que la mayor cantidad de variabilidad se capta en la primera columna de  $\mathbf{T}$ , la siguiente mayor, en la segunda columna, y así sucesivamente. Por lo tanto, podemos captar una gran proporción de la variabilidad en los datos reteniendo tan solo las  $r < m$  primeras columnas de  $\mathbf{T}$ . El valor de  $r$  necesario de captar una proporción dada de la variabilidad total depende del grado de correlación en los datos iniciales. Para los valores de píxeles de las imágenes de recipientes, que están altamente correlacionados con los píxeles vecinos, cabe esperarse que  $r$  sea mucho menor que  $m$  (por ejemplo, para una imagen de 256 x 256 píxeles se tendrán  $m = 65536$  ( $256^2 = 65536$ ); podría ser necesario retener tan solo las primeras 10 a 20 columnas de  $\mathbf{t}$  para captar una proporción suficiente de la variabilidad. Definiendo el conjunto reducido de variables  $\mathbf{T}_r$  y  $\mathbf{V}_r$  dado al retener solo las  $r$  primeras columnas de  $\mathbf{T}$  y  $\mathbf{V}$ , se obtuvieron las variables transformadas (conocidas como componentes principales) como:

$$25 \quad \mathbf{T}_r = \mathbf{X} \mathbf{V}_r \quad \text{Ecuación 10}$$

Una vez que la matriz  $\mathbf{V}_r$  se ha calculado, se guarda y, a continuación, se utiliza para transformar cada nueva imagen de recipiente subsiguiente  $\mathbf{X}_{new}$  en el nuevo vector transformado  $\mathbf{t}_{new}$ , utilizando:

$$30 \quad \mathbf{t}_{new} = \mathbf{V}_r^T \mathbf{X}_{new} \quad \text{Ecuación 11}$$

El vector  $\mathbf{t}_{new}$  de longitud  $r$ , con  $r < m$ , se denominará la firma del recipiente.

Alternativa 2 - Regresión de mínimos cuadrados parciales

35 Como en la Alternativa 1, se recopila una colección de  $n$  imágenes de recipiente. Cada imagen de contenedor está representada por un conjunto de  $m$  valores de píxeles almacenados en un vector columna de longitud  $m$  de valores de píxeles,  $\mathbf{x}[i]$ , donde  $i$  es el recipiente  $i$ -ésimo de la colección. Se forma entonces una matriz  $\mathbf{X}$  de  $n$  filas por  $m$  columnas, donde la  $i$ -ésima fila de  $\mathbf{X}$  viene dada por  $\mathbf{x}^T[i]$ . Para cada uno de estos recipientes calientes, se miden  $p$  variables relacionadas con la calidad (por ejemplo, grosor de pared, inclinación, ovalidad ...), que se denotan como el vector columna de longitud  $p$   $\mathbf{y}[k]$ . Estos se recopilan juntos en una matriz  $\mathbf{Y}$  de  $n$  filas por  $p$  columnas, de manera que la  $i$ -ésima fila de  $\mathbf{Y}$  viene dada por  $\mathbf{y}^T[i]$ . (Aquí se supone que los elementos de  $\mathbf{Y}$  ya están debidamente regulados en escala o normalizados para que las desviaciones en las variables de calidad individuales sean comparables y las columnas de  $\mathbf{Y}$  tengan un valor medio cero).

45 Se desea formar un nuevo conjunto de variables más pequeño para describir el recipiente  $i$ -ésimo, que se denota como el vector  $\mathbf{t}[k]$  de longitud  $r$ , con  $r < m$ . Por lo tanto, en vez de necesitar  $m$  valores para describir la imagen de un recipiente, es posible usar solo  $r$  valores en su lugar. Por supuesto, para que la técnica sea útil, los valores  $\mathbf{t}[i]$  deben en algún sentido contener los aspectos importantes de las imágenes. Específicamente, utilizando la regresión de mínimos cuadrados parciales, se identifican las combinaciones lineales de los valores de píxeles individuales que

tienen la covarianza máxima con las variables de calidad. Intuitivamente, se busca el aspecto de la variabilidad en las imágenes que está más estrechamente relacionado con la variabilidad de la calidad, que es el asunto más importante. La computación específica se puede realizar de la siguiente manera.

Se define la matriz de covarianza cruzada,  $\mathbf{C}_{yx}$ , como:

$$5 \quad \mathbf{C}_{yx} = \mathbf{Y}^T \mathbf{X} \quad \text{Ecuación 12}$$

Se están buscando las direcciones de covarianza máxima entre la entrada (datos de imagen) y la salida (datos de calidad). Se definen dos vectores particulares de entrada y salida,  $\mathbf{p}$  y  $\mathbf{q}$ , como:

$$\begin{aligned} \mathbf{p} &= \mathbf{Y}\mathbf{f} \\ \mathbf{q} &= \mathbf{X}\mathbf{g} \\ \|\mathbf{f}\|_2 &= \|\mathbf{g}\|_2 = 1 \end{aligned} \quad \text{Ecuación 13}$$

10 de tal manera que  $\mathbf{p}$  es una combinación lineal de las columnas de  $\mathbf{Y}$  y  $\mathbf{q}$  es una combinación lineal de las columnas de  $\mathbf{X}$ .

La covarianza  $c_{pq}$  entre  $\mathbf{p}$  y  $\mathbf{q}$  viene dada por:

$$\mathbf{c}_{pq} = \mathbf{p}^T \mathbf{q} \quad \text{Ecuación 14}$$

Sustituyendo  $\mathbf{p}$  y  $\mathbf{q}$  de la Ecuación 13 en la Ecuación 14, se obtiene:

$$\mathbf{c}_{pq} = \mathbf{f}^T \mathbf{Y}^T \mathbf{X} \mathbf{g} \quad \text{Ecuación 15}$$

15 Sustituyendo la matriz de covarianza cruzada  $\mathbf{C}_{yx}$  de la Ecuación 12 en la Ecuación 15, se tiene:

$$\mathbf{c}_{pq} = \mathbf{f}^T \mathbf{C}_{yx} \mathbf{g} \quad \text{Ecuación 16}$$

Se están buscando los valores  $\mathbf{f}^*$  y  $\mathbf{g}^*$  que maximizan  $c_{pq}$ .

Sea:

$$\mathbf{r}^* = \mathbf{C}_{yx} \mathbf{g}^* \quad \text{Ecuación 17}$$

20 Entonces, de las Ecuaciones 16 y 17:

$$\mathbf{c}_{pq} = \mathbf{f}^T \mathbf{r}^* \quad \text{Ecuación 18}$$

Puesto que  $\mathbf{f}$  es un vector unitario,  $c_{pq}$  será maximizada cuando  $\mathbf{f}$  y  $\mathbf{r}^*$  sean colineales. Por lo tanto, defínase  $\mathbf{f}^*$  como:

$$\mathbf{f}^* = \frac{\mathbf{r}^*}{\sqrt{\mathbf{r}^{*T} \mathbf{r}^*}} \quad \text{Ecuación 19}$$

Sustituyendo en la Ecuación 18, el valor máximo de la covarianza  $c_{pq}^*$  viene dado por:

$$25 \quad \mathbf{c}_{pq}^* = \sqrt{\mathbf{r}^{*T} \mathbf{r}^*} \quad \text{Ecuación 20}$$

donde el término de la derecha de la Ecuación 20 es la magnitud (longitud euclídea) de  $\mathbf{r}^*$ . Por lo tanto, para maximizar la correlación cruzada, se requeriría que la magnitud de  $\mathbf{r}^*$  fuera lo más grande posible. En consecuencia, es necesario encontrar una  $\mathbf{g}^*$  que maximice la magnitud de  $\mathbf{r}^*$ .

30 Esta se puede encontrar usando la descomposición de valores singulares (véase Strang, Gilbert: "Linear Algebra and Its Applications (Álgebra lineal y sus aplicaciones), Academic Press, Segunda edición, 1980) para factorizar  $\mathbf{C}_{yx}$  como:

$$\mathbf{C}_{yx} = \mathbf{W} \mathbf{S} \mathbf{V}^T \quad \text{Ecuación 21}$$

donde  $\mathbf{W}$  = matriz unitaria NxN ( $\mathbf{W}^T \mathbf{W} = \mathbf{I}$ , donde  $\mathbf{I}$  es la matriz identidad) de los vectores singulares izquierdos,  $\mathbf{S}$  = matriz diagonal NxM de valores singulares en orden decreciente, y  $\mathbf{V}$  = matriz unitaria MxM ( $\mathbf{V}^T \mathbf{V} = \mathbf{I}$ ) de vectores singulares derechos.

La estructura interna de S viene dada por:

$$\mathbf{S} = \begin{pmatrix} \sigma_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sigma_M \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

con  $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3 \geq \dots \geq \sigma_M$

Sustituyendo  $C_{yx}$  de la Ecuación 21 en la Ecuación 17, se tiene:

5 
$$\mathbf{r}^* = \mathbf{W}\mathbf{S}\mathbf{V}^T\mathbf{g}^*$$
 Ecuación 22

10 A partir de la estructura de la descomposición en valores singulares, se puede observar que la amplificación máxima (el mayor  $r^*$  se producirá para  $\mathbf{g}_1^* = \mathbf{v}_1$ , la primera columna de  $\mathbf{V}$ . El  $r$  correspondiente, y, por tanto, el  $f$ , se alineará con la primera columna (vector singular) de  $\mathbf{W}$ . Del mismo modo, la siguiente covarianza más grande, para cualquier otra dirección que sea ortogonal a  $\mathbf{p}_1 = \mathbf{X}\mathbf{g}_1$ , vendrá dada por  $\mathbf{g}_2$ , alineado con la segunda columna de  $\mathbf{C}_{yx}$ . Continuando con este enfoque, se encuentra que las direcciones de máxima covarianza están definidas por las variables transformadas:

$$\begin{aligned} \mathbf{T} &= \mathbf{X}\mathbf{V} \\ \mathbf{U} &= \mathbf{Y}\mathbf{W} \end{aligned}$$

Ecuación 23

15 Para obtener una firma de dimensión reducida, se retienen solo los  $r$  primeros vectores singulares y valores singulares, con  $r < m$ . Es decir, se definen  $\mathbf{V}_r$  y  $\mathbf{W}_r$  como las  $r$  primeras columnas de  $\mathbf{V}$  y  $\mathbf{W}$ , respectivamente. Una vez obtenidos  $\mathbf{V}_r$ , se guardan y se computan nuevos valores del vector de firma  $\mathbf{t}_{new}$  a partir de nuevos vectores de imagen  $\mathbf{X}_{new}$ , utilizando:

$$\mathbf{t}_{new} = \mathbf{V}_r^T \mathbf{X}_{new}$$

Ecuación 24

20 Es también posible obtener, ventajosamente, una predicción inmediata de las variables de calidad (que normalmente no está disponible hasta después de que los recipientes calientes hayan pasado por el Lehr para la inspección del extremo frío, lo que puede ser de 30 a 60 minutos), mediante una regresión de las variables de calidad transformadas  $\mathbf{U}$  en función de las variables de entrada transformadas  $\mathbf{T}$ .

Específicamente, se utiliza la regresión de mínimos cuadrados ordinaria (véase Strang, Gilbert: "Linear Algebra and Its Applications" (Álgebra lineal y sus aplicaciones), Academic Press, Segunda edición, 1980) para encontrar una matriz de valores de coeficientes  $\mathbf{B}$  para minimizar el error  $\epsilon$ :

$$\mathbf{U}_r = \mathbf{T}\mathbf{B} + \epsilon$$

Ecuación 25

25 Una vez que se ha obtenido la matriz  $\mathbf{B}$ , se obtienen nuevos valores de las variables de calidad transformadas a partir de:

$$\mathbf{u}_{new} = \mathbf{B}^T \mathbf{t}_{new}$$

Ecuación 26

También se tiene de la definición de  $\mathbf{W}_r$ :

$$\mathbf{y}_{new} = \mathbf{W}_r \mathbf{u}_{new}$$

Ecuación 27

30 Sustituyendo en la Ecuación 27 el  $\mathbf{u}_{new}$  de la Ecuación 26, y el  $\mathbf{t}_{new}$  de la Ecuación 24, se obtiene una expresión general para computar las variables de calidad predichas a partir del vector de imagen de entrada:

$$\mathbf{y}_{new} = \mathbf{W}_r \mathbf{B}^T \mathbf{V}_r^T \mathbf{X}_{new}$$

Ecuación 28

35 La predicción resultante de las variables de calidad de la Ecuación 28 bien puede presentarse visualmente al usuario para proporcionar una función de supervisión, o bien puede usarse como una señal de retroalimentación en un sistema de control en bucle cerrado. Este último uso de una medición computada como control de retroalimentación se conoce comúnmente como 'sensor blando' ("soft sensor"– abreviatura de 'sensor de software').

## Controlador en bucle cerrado

Una vez que se ha obtenido la señal de firma del recipiente (por ejemplo, utilizando análisis de componentes principales o de mínimos cuadrados parciales como se describió anteriormente), puede ser retroalimentada a un controlador en bucle cerrado. Es responsabilidad del controlador en bucle cerrado ajustar automáticamente el proceso con el fin de mantener la firma en algún valor deseado (punto de referencia). Por lo común, este valor deseado de la firma se obtendrá identificando, en primer lugar, algún conjunto ejemplar de recipientes que se consideran buenos. El valor de firma promedio para estos recipientes puede ser calculado y luego utilizado como punto de referencia. Hay muchos algoritmos de control posibles que pueden usarse para realizar el ajuste real de bucle cerrado. En general, cualquier algoritmo de este tipo debe abordar la naturaleza multivariable del problema de control, en el que se ajustan  $N_u$  duraciones de formación diferentes para controlar los  $r$  elementos del vector de firma.

A fin de realizar el ajuste en bucle cerrado real, puede utilizarse un sistema de control basado en un modelo interno, tal como el sistema de control proporcionado a modo de ejemplo y mostrado esquemáticamente en la Figura 4. Este sistema sigue el paradigma de control de modelo interno (tal y como se le denomina en la literatura de los sistemas de control), y utiliza tanto un modelo de proceso predictivo 140 como un modelo de proceso inverso 142. El modelo de proceso predictivo 140 se usa para computar la reacción esperada de la firma del recipiente a un cambio en las duraciones de conformación. El modelo de proceso inverso 142 computa un conjunto de duraciones de conformación que, cuando se aplica al sistema, proporcionará una aproximación a la firma deseada.

El control en bucle cerrado que se muestra en la Figura 4 funciona de la siguiente manera. Los puntos de referencia de firma deseados 144 se introducen en el modelo de proceso inverso 142. El modelo de proceso inverso 142 computa entonces un conjunto de duraciones de formación deseadas 146 que deberán alcanzar aproximadamente los valores de firma deseados. Las duraciones de conformación deseadas 146 se proporcionan, a continuación, a un sistema de ajuste de regulación temporal de conformación térmica 148, el cual transforma las duraciones de conformación deseadas 146 en valores 150 de ángulo de activación/desactivación de regulación temporal de sucesos usando, por ejemplo, la tecnología de optimizador de ciclo según se describe en las Patentes de los EE.UU. Nos. 7.489.983, 6.722.158, 6.711.916, 6.705.120, 6.705.119, 6.606.886, 6.604.386, 6.604.385, 6.604.384 y 6.604.383, todas las cuales están asignadas al mismo asignatario de la presente Solicitud de Patente.

Los valores 150 de ángulo de activación/desactivación de sucesos se aplican, a continuación, a un proceso físico 152 de conformación de vidrio. Esto da como resultado que los recipientes calientes 154 abandonan el proceso físico 152 de conformación de vidrio con un estado térmico y distribución de vidrio particulares que luego son medidos mediante un sistema de medición multipunto y multiespectral 156. Como era el caso en los sistemas mostrados en las Figuras 1-3, el sistema de medición multipunto y multiespectral 96 mostrado en la Figura 2 puede ser como se describe en la Publicación de la Solicitud de Patente Europea N° EP 2 336 740 A1, en la Patente de los EE.UU. N° 8.462.203 y en la Publicación de Solicitud de Patente de los EE.UU. N° US 2011 0141265 A1.

El sistema de medición multipunto y multiespectral 156 produce un vector de píxel 158 de recipiente para cada recipiente caliente 154, que envía a un bloque 160 de extracción de firma. El bloque 160 de extracción de firma proporciona una reducción dimensional con el fin de producir un valor de firma 162 para cada recipiente caliente 154 usando, por ejemplo, el análisis de componentes principales o los algoritmos de mínimos cuadrados parciales expuestos anteriormente. Las duraciones de conformación deseadas 146 también se aplican al modelo de proceso predictivo 140, el cual computa las firmas predichas 164 de los recipientes calientes 154. La firma predicha 164 se resta del valor de firma 162 en un sumador 166, produciendo una señal de error de modelado 168.

Si el modelo del proceso fuera perfecto, la señal de error de modelado 168 sería nula. Sin embargo, debido a numerosos factores reales que no se pueden tener en cuenta a la perfección, la señal de error de modelado 168 no será generalmente nula. A fin de tener en cuenta la señal de error de modelado 168, un sumador 170 resta la señal de error de modelado 168 de un punto de referencia 172 de firma de recipiente, de modo que se produce un punto de referencia modificado 174. Puede comprenderse que si, debido a la señal de error de modelado 168, el valor vigente en ese momento del punto de referencia 172 de firma de recipiente produce una respuesta demasiado grande, entonces el punto de referencia 172 de firma de recipiente puede modificarse en consecuencia con el fin de solicitar una respuesta más pequeña, o viceversa. El punto de referencia 172 de firma de recipiente constituye una firma de objetivo preferida.

Para proporcionar robustez frente a errores de modelado de alta frecuencia, y para evitar la reacción al ruido espurio de alta frecuencia, el punto de referencia modificado 174 se hace pasar a través de un filtro de paso bajo 176, por ejemplo, un valor de media móvil, a fin de producir el punto de referencia de firma deseado, modificado y filtrado, 144, con lo que se completa, así, el bucle de control. Para un sistema de control de máquina global, se pondrán en práctica múltiples controladores de modelo interno, cada uno con la misma estructura global y un funcionamiento como se describe en la presente memoria con referencia a la Figura 4. Preferiblemente, habrá al menos un controlador de modelo interno por sección para regular la firma promedio de la sección. Si se utilizan ajustes de nivel de cavidad individuales, como era el caso en el sistema descrito con referencia a la Figura 3, entonces, para cada sección, habría controladores de modelo interno adicionales, asignados para controlar también las firmas de cavidad.

Modelo interno

Una realización preferida del sistema mostrado en la Figura 4 utilizará un modelo lineal de perturbación del proceso de conformación, en el que se tiene:

$$\mathbf{z} = \mathbf{P}\mathbf{u}$$

Ecuación 29

5 donde  $\mathbf{z}$  es un vector de perturbaciones de firma,  $\mathbf{P}$  es una matriz de coeficientes de sensibilidad, y  $\mathbf{u}$  es un vector de ajustes de parámetros de conformación (duración).

La matriz  $\mathbf{P}$  puede determinarse empíricamente realizando un conjunto de pruebas en una sección real, en las que los parámetros de entrada  $\mathbf{u}$  son variados y se registran las perturbaciones resultantes  $\mathbf{z}$ . Alternativamente, si se dispone de un modelo de simulación suficientemente preciso, los 'experimentos' pueden realizarse numéricamente utilizando el modelo de simulación para obtener un modelo linealizado. En cualquier caso, utilizando técnicas de regresión, los datos resultantes pueden ajustarse a una ecuación con la misma forma de la Ecuación 29. Puede obtenerse entonces el modelo inverso utilizando el pseudoinverso de Moore-Penrose (Penrose, Roger: "A Generalized Inverse for Matrices" (Un inverso generalizado para matrices), Actas de la Cambridge Philosophical Society 51: 406-413, 1955). De manera que:

$$\mathbf{u} = \mathbf{P}^+\mathbf{z}$$

Ecuación 30

15 donde  $\mathbf{u}$  y  $\mathbf{z}$  son como en la Ecuación 28 y  $\mathbf{P}^+$  es el pseudoinverso de Moore-Penrose. Las propiedades del pseudoinverso de Moore-Penrose son particularmente adecuadas para esta aplicación.

Si el número de ajustes de entrada disponibles (elementos del vector  $\mathbf{u}$ ) es menor que el número de coordenadas de la firma, entonces no será posible, en general, lograr un conjunto arbitrario de valores de elementos de firma. La formulación de la Ecuación 30 proporcionará el conjunto de entradas  $\mathbf{u}$  que proporcionen una salida  $\mathbf{z}$  que se encuentre lo más cercana posible (en un sentido de error de mínimos cuadrados) a los valores deseados. Alternativamente, si hay más parámetros ajustables que elementos de firma, entonces hay múltiples soluciones posibles (múltiples valores de  $\mathbf{u}$ ). En este caso, el pseudoinverso de Moore-Penrose tiene la propiedad deseable de proporcionar el conjunto de entradas  $\mathbf{u}$  con la magnitud más pequeña.

25 En cualquier implementación práctica del enfoque anterior, se constatará que los ajustes de los parámetros del proceso no pueden ser arbitrariamente grandes y, por lo tanto, deben aplicarse límites apropiados. Un enfoque para proporcionar tales límites se muestra en la Figura 5, y en él un control de modelo interno con límites opera como se describe con referencia a la Figura 4, de manera que se utilizan los mismos números de referencia para los mismos componentes del sistema.

30 Además, se ha agregado un bloque 180 de límites de valor mínimo/máximo que proporciona el valor mínimo o máximo permitido al sistema de ajuste de regulación temporal de conformación térmica 148, que proporciona seguidamente una señal de salida alcanzable (limitada) 182 al modelo de proceso predictivo 140. Es de apreciar que, dado que se aplica la misma salida limitada como los valores de ángulo 150 de activación/desactivación de sucesos al proceso físico 152 de conformación de vidrio, y como la señal de salida alcanzable (limitada) 182, al modelo de proceso predictivo 140, el modelo de proceso predictivo 140 'sabe' que la señal de salida alcanzable (limitada) 182 se recorta, y el recorte de la señal de salida alcanzable (limitada) 182 no genera ningún error de modelado adicional.

Aunque la descripción anterior de la presente invención se ha mostrado y descrito con referencia a realizaciones particulares y aplicaciones de las mismas, esta se ha presentado con fines ilustrativos y descriptivos y no pretende ser exhaustiva ni limitar la invención a las realizaciones y aplicaciones particulares divulgadas. Será evidente para las personas con conocimientos ordinarios de la técnica que se pueden realizar una serie de cambios, modificaciones, variaciones o alteraciones de la invención como se describe en el presente documento, ninguno de los cuales se aleja del alcance de las reivindicaciones adjuntas. Las realizaciones y aplicaciones particulares se han elegido y descrito para proporcionar la mejor ilustración de los principios de la invención y su aplicación práctica, a fin de permitir, de este modo, a una persona con conocimientos ordinarios de la técnica utilizar la invención en diversas realizaciones y con diversas modificaciones, según sean adecuadas para el uso particular contemplado. Por lo tanto, todos estos cambios, modificaciones, variaciones y alteraciones deben considerarse como incluidos dentro del alcance de la presente invención, según lo determinado por las reivindicaciones adjuntas cuando se interpretan de acuerdo con la amplitud a la que tienen derecho de manera justa, legal y equitativa.

**REIVINDICACIONES**

1. Un sistema para ajustar automáticamente la regulación temporal de sucesos de operaciones en cavidades de una sección de una máquina de secciones individuales, I.S., que comprende:
- 5 un sistema de medición multipunto y multiespectral (96) de recipientes de vidrio, que está configurado para proporcionar información de datos de píxeles (98) de recipiente, indicativa de ciertas medidas de recipientes de vidrio calientes (90, 92, 94) fabricados por la máquina de I.S.; y
- un controlador, configurado para producir señales (82) de regulación temporal de sucesos con el fin de hacer funcionar las cavidades de la sección de la máquina de I.S.,
- estando el sistema caracterizado por que comprende, además:
- 10 un bloque (100) de extracción de firma, que está configurado para transformar matemáticamente información de datos de píxeles de recipiente en una firma medida dimensionalmente reducida (102), estando dispuesto el bloque de extracción de firma para producir firmas medidas dimensionalmente reducidas (106, 108, 110) para cada una de las cavidades de la sección de la máquina de I.S.; y
- 15 un bloque (112) de promediado de sección, que está dispuesto para promediar las firmas medidas dimensionalmente reducidas (106, 108, 110) para cada una de las cavidades de la sección de la máquina de I.S., a fin de producir una firma medida (70) de promedio de sección que se proporciona al controlador,
- de tal manera que el controlador está configurado para producir señales (82) de regulación temporal de sucesos con el fin de hacer funcionar las cavidades de la sección de la máquina de I.S. en respuesta a la firma medida (70) de promedio de sección y a una firma de objetivo preferida (72), a fin de ajustar automáticamente la regulación temporal
- 20 de sucesos de las operaciones en las cavidades de la sección de la máquina de I.S. para disminuir las variaciones en la firma medida (70) de promedio de sección.
2. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el sistema de medición de recipientes de vidrio está dispuesto y configurado para supervisar la radiación emitida por los recipientes de vidrio calientes (84, 86, 88) después de que se forman y antes de que se enfríen a medida que se transportan en alejamiento de la máquina de I.S.
- 25 3. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que el sistema de medición de recipientes de vidrio comprende:
- al menos un dispositivo de obtención de imagen para supervisar la radiación emitida por los recipientes de vidrio calientes (84, 86, 88) después de que se forman y a medida que se transportan en alejamiento de la máquina de I.S.
- 30 4. Un sistema de acuerdo con una de las reivindicaciones 1, 2 o 3, en el que el bloque de extracción de firma utiliza el análisis de componentes principales para transformar matemáticamente la información de datos de píxeles (98) de recipiente en la firma medida dimensionalmente reducida (102).
5. Un sistema de acuerdo con una de las reivindicaciones 1, 2 o 3, en el que el bloque de extracción de firma utiliza la regresión de mínimos cuadrados parciales para transformar matemáticamente la información de datos de píxeles de recipiente en la firma medida dimensionalmente reducida.
- 35 6. Un sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que las señales de regulación temporal de sucesos producidas por el controlador comprenden duraciones de conformación térmica deseadas (78) que incluyen al menos el tiempo de contacto con el molde, el tiempo de estiramiento y el tiempo de contacto con la pieza previa.
- 40 7. Un sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el controlador está dispuesto para limitar las señales de regulación temporal de sucesos mediante valores límite ajustables.
8. Un sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que, además de proporcionar la firma medida (70) de promedio de sección al controlador, el sistema está dispuesto para proporcionar al controlador las firmas medidas dimensionalmente reducidas (106, 108, 110) para cada una de las cavidades de la sección de la máquina de I.S.; y en el cual el controlador está dispuesto para proporcionar ambas señales comunes de regulación temporal de sucesos (82) a todas las secciones de la máquina de I.S. basándose en la firma medida(70) de promedio de sección, así como señales únicas de regulación temporal de sucesos (132, 134, 136) de cavidad, basadas en las firmas medidas para cada una de las cavidades de la sección de la máquina de I.S., a cada una de las secciones de la máquina de I.S.
- 45 9. Un sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el controlador comprende:
- 50 un módulo de modelo de proceso inverso (142), dispuesto para producir un conjunto de duraciones de conformación (146) en respuesta a un punto de referencia de firma deseado (144) cuyas duraciones de conformación son la base

de la regulación temporal de sucesos de las operaciones aplicadas a las cavidades de la sección de la máquina de I.S. que proporcionará una aproximación al punto de referencia de firma deseado; y

un módulo de modelo de proceso predictivo (140), dispuesto para computar una firma predicha (164) que es la respuesta calculada de la firma medida (162) a un cambio en las duraciones de conformación;

- 5 de tal manera que el controlador está dispuesto para restar la firma predicha (164) de la firma medida (162) con el fin de producir una señal de error de modelado (168); y

de tal modo que el controlador está dispuesto para restar la señal de error de modelado (168) de la firma de objetivo preferida (172) con el fin de producir un punto de ajuste modificado (174) que es la base para el punto de referencia de firma deseado (144).

- 10 10. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 9, que comprende, adicionalmente:

un filtro de paso bajo (176), que filtra el punto de referencia modificado (174) para producir el punto de referencia de firma deseado (144).

11. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 9 o la reivindicación 10, que comprende, adicionalmente:

- 15 un sistema de ajuste de regulación temporal de conformación térmica (148), que proporciona la regulación temporal de sucesos de operaciones aplicadas a las cavidades de la sección de la máquina de I.S. en respuesta a las duraciones de conformación (146) producidas por el módulo de modelo de proceso inverso (142).

12. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 11, que comprende, adicionalmente:

un bloque (180) de límites de valor mínimo/máximo, dispuesto para proporcionar valores mínimos o máximos permitidos al sistema de ajuste de regulación temporal de conformación térmica (148);

- 20 de tal manera que el sistema de ajuste de regulación temporal de conformación térmica (148) está dispuesto para proporcionar una señal de salida alcanzable (182) al modelo de proceso predictivo (140).

13. Un método para ajustar automáticamente la regulación temporal de sucesos de las operaciones en las cavidades de una sección de una máquina de secciones individuales, I.S., que comprende:

- 25 proporcionar información de datos de píxeles (98) de recipiente, indicativa de ciertas mediciones de recipientes de vidrio calientes (90, 92, 94) fabricados por la máquina de I.S., con un sistema de medición de envases de vidrio multipunto y multiespectral (96);

transformar matemáticamente la información de datos de píxeles (98) de recipiente en una firma medida dimensionalmente reducida (102), de manera que se producen firmas medidas dimensionalmente reducidas (106, 108, 110) para cada una de las cavidades de la sección de la máquina de I.S.;

- 30 promediar las firmas medidas dimensionalmente reducidas (106, 108, 110) para cada una de las cavidades de la sección de la máquina de I.S., para fin de producir una firma medida (70) de promedio de sección; y

- 35 producir señales de regulación temporal de sucesos (82) para hacer funcionar las cavidades de la sección de la máquina de I.S. en respuesta a la firma medida (70) de promedio de sección y a una firma de objetivo preferida (72), a fin de ajustar automáticamente la regulación temporal de sucesos de las operaciones en las cavidades de la sección de la máquina de I.S. para disminuir las variaciones en la firma medida (70) de promedio de sección.

- 40 14. Un método de acuerdo con la reivindicación 13, que comprende proporcionar señales comunes de regulación temporal de sucesos (82) a todas las secciones de la máquina de I.S. basándose en la firma medida (70) de promedio de sección, y señales únicas de regulación temporal de sucesos (132, 134, 136) de cavidad basándose en las firmas medidas (106, 108, 110) para cada una de las cavidades de la sección de la máquina de I.S., a cada una de las secciones de la máquina de I.S.

15. Un método de acuerdo con la reivindicación 13, en el que la etapa de producir señales de regulación temporal de sucesos (82) comprende disminuir las variaciones entre la firma medida y la firma de objetivo preferida determinando una señal de error y ajustando automáticamente la regulación temporal de sucesos en función de la señal de error.

FIG. 1

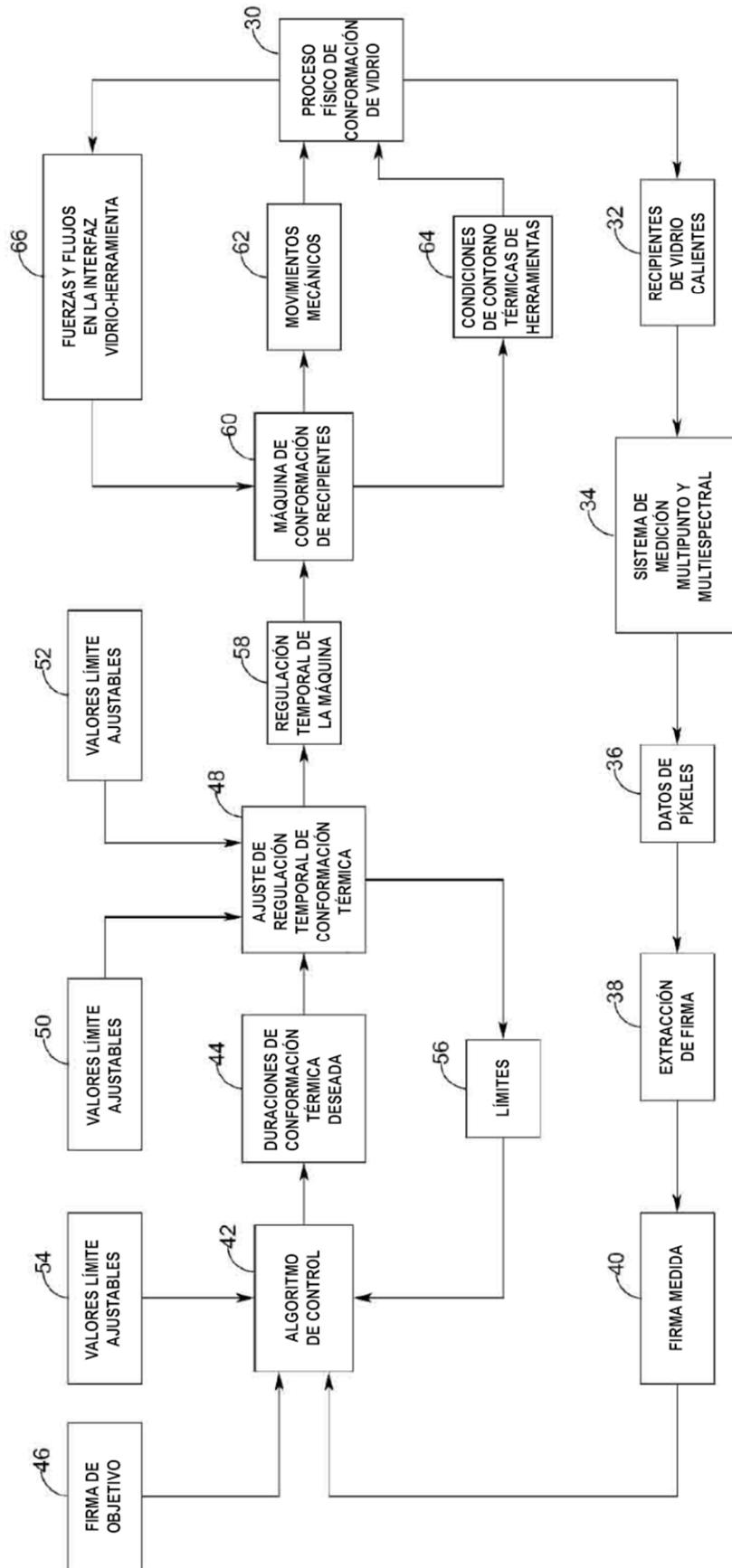
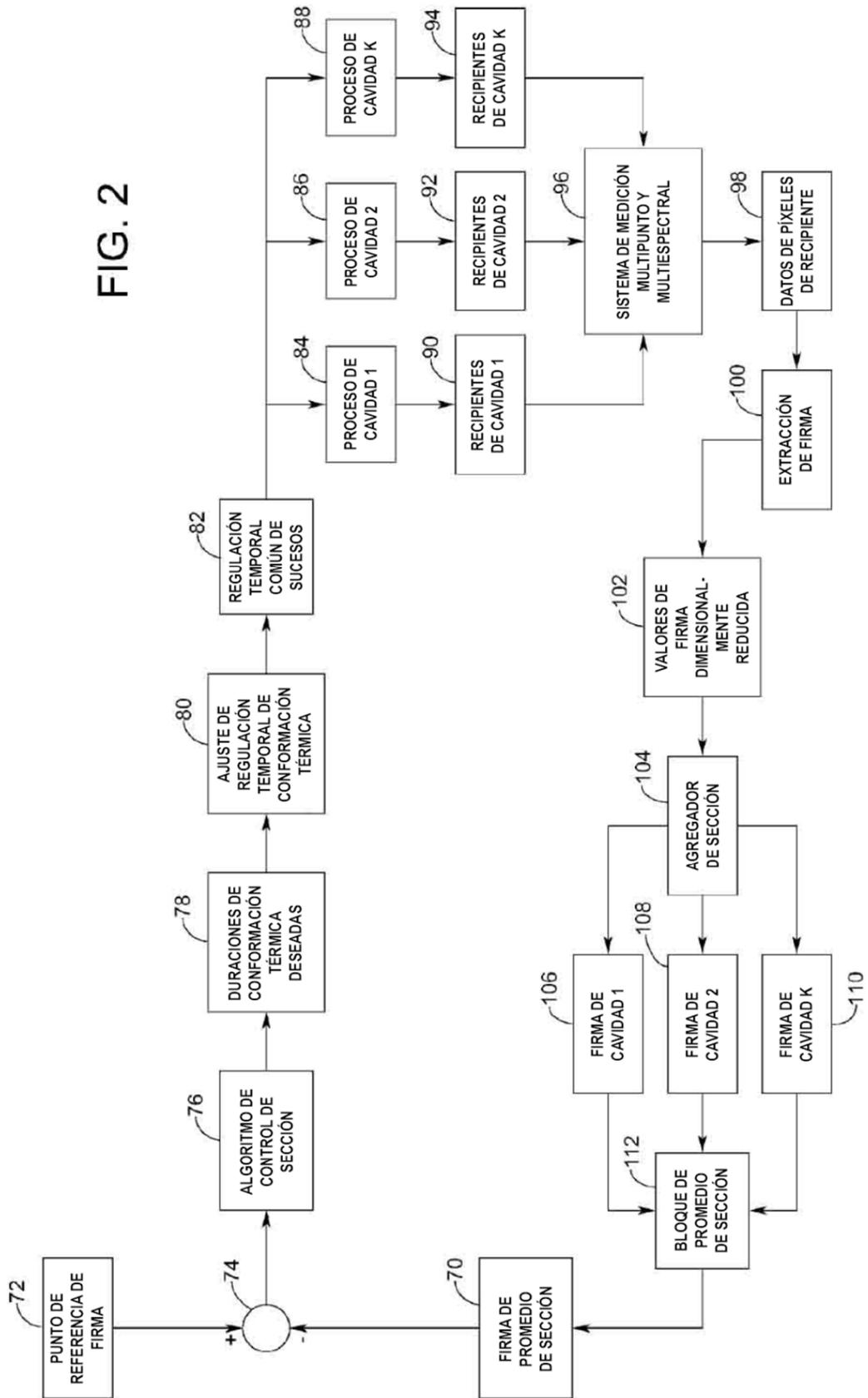


FIG. 2



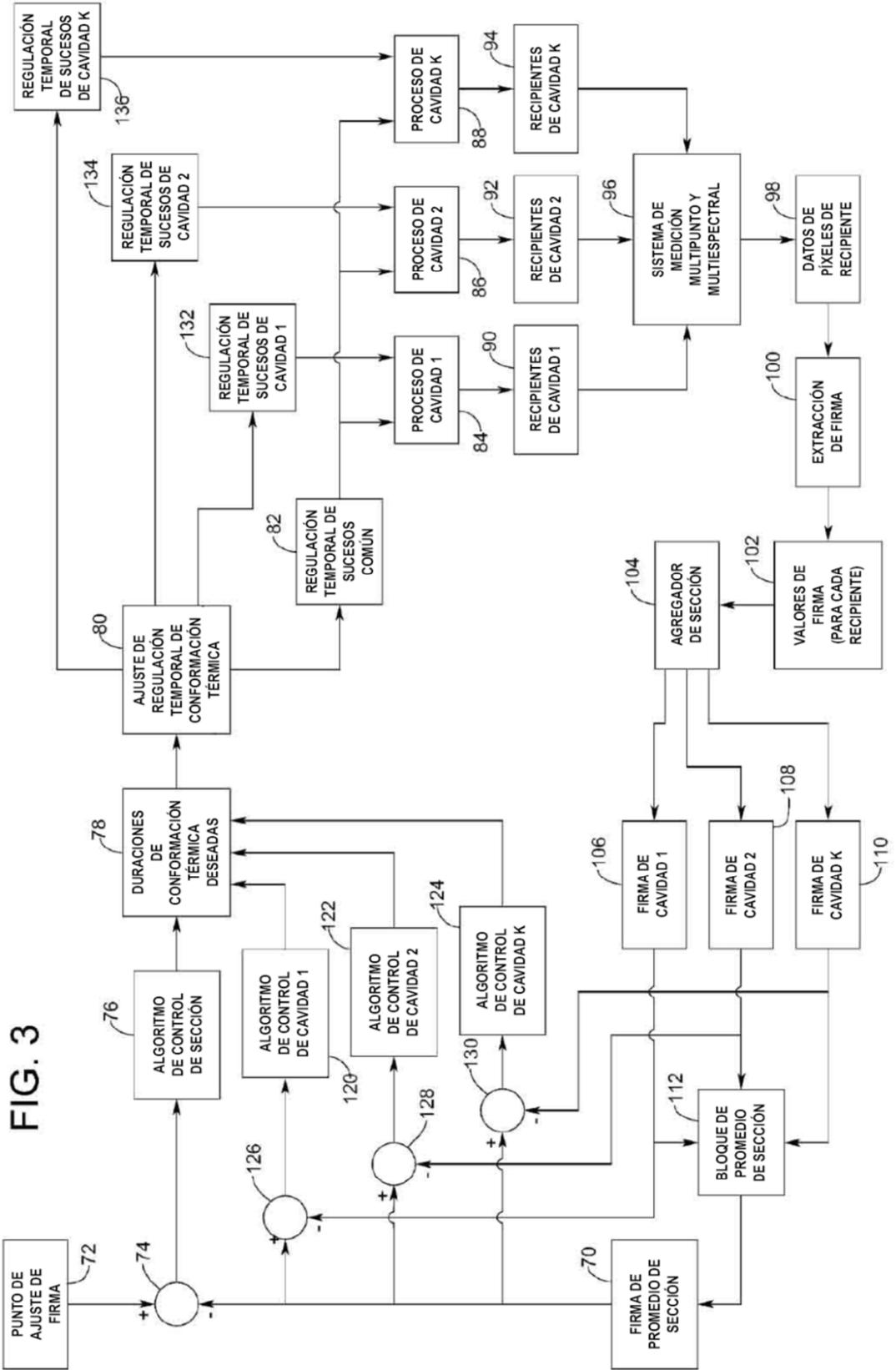


FIG. 3

