

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 615 489**

51 Int. Cl.:

**B01L 7/00** (2006.01)

**B01L 3/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.09.2002 PCT/US2002/29012**

87 Fecha y número de publicación internacional: **20.03.2003 WO03022442**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.09.2002 E 02761632 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.11.2016 EP 1425102**

54 Título: **Dispositivos de microfluidos con un número reducido de conexiones de entrada y salida**

30 Prioridad:

**12.09.2001 US 949763**

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

**07.06.2017**

73 Titular/es:

**HANDYLAB, INC. (100.0%)  
1 Becton Drive  
Franklin Lakes, NJ 07417, US**

72 Inventor/es:

**GANESAN, KARTHIK**

74 Agente/Representante:

**SALVA FERRER, Joan**

ES 2 615 489 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

Dispositivos de microfluidos con un número reducido de conexiones de entrada y salida

## 5 1. CAMPO DE LA INVENCION

[0001] La presente invención se refiere a dispositivos de microfluidos y, más particularmente, a técnicas para reducir el número de conexiones de entrada y salida necesario para conectar un dispositivo de microfluidos a un controlador externo para controlar el dispositivo de microfluidos.

10

## 2. ANTECEDENTES DE LA INVENCION

[0002] Los dispositivos de micro/nano tecnología son conocidos en la técnica como dispositivos con componentes en la escala de 1 a 100 micras que cooperan para llevar a cabo diversas funciones deseadas. En particular, los dispositivos de microfluidos son dispositivos de micro/nano tecnología que realizan funciones de manipulación de fluidos que, por ejemplo, cooperan para llevar a cabo una reacción o un análisis químico o bioquímico.

15

[0003] Los dispositivos de microfluidos incluyen una variedad de componentes para la manipulación y el análisis de los fluidos dentro de los dispositivos. Típicamente, estos elementos se microfabrican a partir de sustratos hechos de silicio, vidrio, cerámica, plástico y/o cuarzo. Los diversos componentes de procesamiento de fluidos están unidos por microcanales, grabados en el propio sustrato, a través de los cuales fluye el fluido bajo el control de un mecanismo de propulsión del fluido. Los componentes electrónicos también se pueden fabricar en el sustrato, permitiendo que los sensores y los circuitos de control se incorporen en el propio dispositivo. Debido a que todos los componentes se hacen usando técnicas fotolitográficas convencionales, los dispositivos de múltiples componentes se pueden montar fácilmente en sistemas integrados complejos.

20

25

[0004] La mayoría de los dispositivos de microfluidos de la técnica anterior se basan en que fluye fluido a través de cámaras y conductos de micro-escala, ya sea continuamente o en alícuotas relativamente grandes. El flujo de fluido se inicia y controla generalmente por fuerzas electro-osmóticas y electroforéticas. Véase, por ejemplo, las patentes de EE. UU. n.º: 5.632.876, expedida el 27 de abril de 1997, y titulada "Apparatus and Methods for Controlling Fluid Flow in Microchannels"; 5.992.820, expedida el 30 de noviembre de 1999, y titulada "Flow Control in Microfluidics Devices by Controlled Bubble Formation"; 5.637.469, expedida el 10 de junio de 1997 y titulada "Methods and Apparatus for the Detection of an Analyte Utilizing Mesoscale Flow Systems"; 5.800.690, expedida el 1 de septiembre de 1998, y titulada "Variable Control of Electroosmotic and/or Electrophoretic Forces Within a Fluid-Containing Structure Via Electrical Forces"; y 6.001.231, expedida el 14 de diciembre de 1999 y titulada "Methods and Systems for Monitoring and Controlling Fluid Flow Rates in Microfluidic Systems". Véanse también los productos de, por ejemplo, Orchid, Inc. ([www.orchid.com](http://www.orchid.com)) y Caliper Technologies, Inc. ([www.calipertech.com](http://www.calipertech.com)).

30

35

[0005] Los dispositivos de microfluidos que manipulan alícuotas de fluidos muy pequeñas (denominadas aquí como "micro-gotitas") en los conductos de micro-escala se basan principalmente en la presión y otras fuerzas no eléctricas para mover el volumen de líquido. Estos dispositivos son ventajosos porque requieren volúmenes más pequeños de reactivos y porque se pueden generar fuerzas de propulsión no eléctricas utilizando tensiones relativamente pequeñas, en el mismo orden de magnitud que las tensiones necesarias para componentes microelectrónicos estándar. Véanse, por ejemplo, las siguientes patentes: patentes de EE. UU. n.º:

40

45

6.057.149, expedida el 2 de mayo de 2000 y titulada "Microscale Devices And Reactions In Microscale Devices"; 6.048.734, expedida el 11 de abril de 2000 y titulado "Thermal Microvalves in a Fluid Flow Method"; y 6.130.098, expedida el 10 de octubre de 2000. (La cita o identificación de cualquier referencia en esta sección o cualquier sección de esta solicitud no se entenderá como si tal referencia estuviera disponible como técnica anterior a la presente invención).

50

[0006] La patente de EE. UU. n.º 6.130.098 ("la patente 098"), por ejemplo, describe dispositivos de microfluidos que incluyen canales de micro-gotitas para el transporte de gotitas de fluidos a través de un sistema de procesamiento de fluido. El sistema incluye una variedad de componentes de micro-escala para el procesamiento de las gotitas de fluido, incluyendo cámaras de micro-reacción, módulos de electroforesis y detectores (tales como detectores de radiación). En algunas realizaciones, los dispositivos también incluyen cámaras de aire acopladas a calentadores resistivos para generar internamente presión de aire para retirar automáticamente un volumen medido de fluido desde un puerto de entrada, y para propulsar la micro-gotita medida a través del dispositivo de microfluidos.

55

**[0007]** Estos componentes están conectados a las clavijas de entrada/salida (E/S) en el borde del dispositivo de micro-fluidos que se acoplan a las clavijas de E/S correspondientes del controlador externo. El controlador externo hace funcionar estos componentes mediante el envío y la recepción de señales de control a través de las clavijas de entrada/salida. Por ejemplo, un dispositivo de control, externo al dispositivo de microfluidos, activa un calentador resistivo dentro de un dispositivo de microfluidos mediante el suministro de corriente al calentador a través de las clavijas de entrada/salida. Los dispositivos de microfluidos pueden incluir un gran número de esos componentes que se controlan mediante dispositivos externos. Por consiguiente, un objeto de la presente invención es reducir el número de clavijas de entrada/salida necesarias para el control de dichos dispositivos de microfluidos a partir de dichos controladores externos.

### 3. RESUMEN DE LA INVENCION

**[0008]** El alcance de protección se define en las reivindicaciones independientes, a las que se hace referencia a continuación. En las reivindicaciones dependientes se presentan las características ventajosas.

**[0009]** La invención se refiere en general a técnicas para reducir el número de conexiones de entrada/salida necesario para conectar un sustrato de microfluidos a un controlador externo para controlar el sustrato. En un aspecto, la invención implica un dispositivo de procesamiento de microfluidos fabricado sobre un sustrato que tenga una pluralidad de N componentes controlables independientemente, (por ejemplo, elementos de calefacción resistivos), donde cada uno tiene al menos dos terminales. El sustrato incluye una pluralidad de contactos de entrada/salida para conectar el sustrato a un controlador externo y una pluralidad de cables para la conexión de los contactos a los terminales de los componentes.

**[0010]** Los cables están dispuestos para permitir que el controlador externo suministre señales de control a los terminales de los componentes a través de los contactos usando sustancialmente menos contactos que el número total de terminales de los componentes. Por ejemplo, en una realización, cada cable conecta el contacto correspondiente a una pluralidad de terminales para permitir que el controlador suministre señales a los terminales sin necesidad de un contacto separado para cada terminal. El número de contactos puede ser menos de aproximadamente el 50% del número de componentes. Sin embargo, para asegurar que los componentes pueden controlarse cada uno independientemente de los otros, los cables también están dispuestos de modo que los terminales de cada componente estén conectados a una combinación única de contactos. Por lo tanto, el controlador externo puede activar un componente seleccionado mediante el suministro de señales de control a la combinación de contactos asociados de forma única con dicho componente.

**[0011]** El sustrato del dispositivo microfabricado incluye una válvula accionada térmicamente y, preferiblemente, incluye elementos tales como bombas que cooperan para manipular el fluido dentro de los canales y las cámaras del sustrato. Al menos uno de los N componentes controlables independientemente es un elemento de calefacción en comunicación térmica con la válvula accionada térmicamente. El accionamiento del elemento de calefacción activa la válvula, después de lo cual la válvula se abre o se cierra. El sustrato puede incluir una pluralidad de válvulas accionadas térmicamente y una pluralidad de los N componentes controlables independientemente son elementos de calefacción en comunicación térmica con las válvulas respectivas accionadas térmicamente.

**[0012]** El sustrato puede incluir una bomba térmicamente accionada que comprende un volumen de fluido. Al menos uno de los N componentes controlables independientemente es un elemento de calefacción en comunicación térmica con el volumen del fluido, con lo que el accionamiento del elemento de calefacción calienta el fluido y acciona la bomba térmicamente accionada. Por ejemplo, el fluido puede ser un gas, por lo que la expansión del gas impulsa una muestra de microfluidos a lo largo de un canal del sustrato. El sustrato puede incluir una pluralidad de bombas accionadas térmicamente. El fluido de cada bomba está en comunicación térmica con al menos un elemento de calefacción.

**[0013]** El sustrato incluye al menos una cámara de reacción microfabricada, como una cámara configurada para realizar una reacción en cadena de la polimerasa. Al menos uno de los N componentes controlables independientemente es un elemento de calefacción en comunicación térmica con la cámara de reacción, con lo que el accionamiento del elemento de calefacción puede elevar la temperatura del material presente en la cámara de reacción. Al menos uno de los N componentes controlables independientemente puede ser un sensor de calor en comunicación térmica con la cámara de reacción, con lo que se puede determinar la temperatura del material presente en la cámara de reacción.

#### 4. BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

**[0014]** La presente invención se puede entender mejor por referencia a la siguiente descripción detallada de la realización preferida de la presente invención, los ejemplos ilustrativos de las realizaciones específicas de la invención y las figuras adjuntas, donde:

- la figura 1 ilustra un sistema de control de microfluidos que tiene un dispositivo de procesamiento de microfluidos de gotitas discretas, un controlador externo y un ordenador de propósito general;
- 10 - la figura 2 ilustra el dispositivo de procesamiento de microfluidos de gotitas discretas de la figura 1;
- la figura 3 ilustra el controlador externo de la figura 1;
- las figuras 4A-B ilustran un actuador de micro-válvula;
- la figura 5 ilustra un componente de calefacción que tiene detectores de temperatura de resistencia;
- las figuras 6A-B ilustran un actuador de micro-válvula que tiene un número reducido de contactos de E/S.
- 15 - las figuras 7A-B ilustran una técnica para el intercambio de cables conductores que suministran corriente a los calentadores resistivos dentro de un dispositivo de procesamiento de microfluidos;
- las figuras 8A-B ilustran una técnica para el intercambio de cables conductores de los detectores de temperatura resistivos ("RTD");
- las figuras 9A-B ilustran una técnica para el intercambio de cables conductores para los calentadores resistivos y
- 20 RTD.

#### DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA REALIZACIÓN PREFERIDA

##### Descripción general del sistema

**[0015]** La figura 1 representa un sistema de procesamiento de microfluidos que incluye un sustrato de microfluidos 10, un cartucho de soporte de chip 20, una tarjeta de control y de adquisición de datos ("DAQ") 26 y un ordenador portátil 27, como un ordenador portátil o palmtop. El sustrato de microfluidos 10 tiene microcanales y elementos de control de fluido formados en un sustrato sólido, como silicio, vidrio u otro material adecuado, preferiblemente microfabricado utilizando técnicas fotolitográficas convencionales. El sustrato de microfluidos 10 está montado en el cartucho de soporte de chip 20. El sustrato de microfluidos 10 tiene conexiones eléctricas y ópticas 12 con el cartucho de soporte de chip para llevar las señales eléctricas y ópticas entre el sustrato del microfluído y el soporte de chip. Por ejemplo, las conexiones eléctricas se pueden formar con técnicas de unión wire bonding conocidas. Por otra parte, el cartucho de soporte de chip 20 tiene contactos eléctricos y ópticos 21 para llevar las

35 señales eléctricas y ópticas entre el sustrato del microfluído y la tarjeta de adquisición de datos 26.

**[0016]** El cartucho de soporte de chip 20 se muestra insertándolo en (o sacándolo de) un receptáculo de hardware de la DAQ 26 que tiene contactos eléctricos y ópticos 25 estandarizados para acoplarse con el correspondiente contacto 21 del cartucho de soporte de chip. La mayoría de los contactos son para señales eléctricas, mientras que algunos son para señales ópticas (IR, visible, ultravioleta, etc.) en el caso de los procesadores de microfluidos ópticamente-supervisados u ópticamente-excitados. Alternativamente (no se muestra), toda la placa de control y adquisición de datos 26 puede ser un único chip ASIC que se incorpora en el cartucho de soporte de chip 20, donde los contactos 21, 25 se convertirían en líneas en una placa de circuito impreso.

**[0017]** En general, la DAQ 26 controla el funcionamiento del sustrato del microfluído 10 a través de los contactos 12, 21, 25 utilizando señales eléctricas y ópticas. El ordenador portátil 27 generalmente lleva a cabo funciones de alto nivel, tales como el suministro de una interfaz de usuario que permita al usuario seleccionar las operaciones deseadas y ver los resultados de dichas operaciones. Como se muestra en la figura 1, el ordenador 27 está conectado a una DAQ 26 a través de una conexión 28 que proporciona E/S de datos, alimentación, tierra, restablecimiento, y otra conectividad de función. El ordenador 27 también se puede utilizar, como se muestra, para controlar un robot de laboratorio 24 a través del enlace 31. Alternativamente, se puede proporcionar un enlace inalámbrico 32 entre el ordenador 27 y la DAQ 26 para el intercambio de señales de control y datos a través de elementos inalámbricos 32(a) y 32(b). Cuando el enlace de datos es un enlace inalámbrico, por ejemplo, la DAQ 26 puede tener una fuente de energía separada, como, por ejemplo, una batería.

**[0018]** La presente invención se refiere a técnicas para reducir el número de contactos 12, 21, 25 necesarios para la comunicación entre el sustrato de microfluidos 10, el cartucho de soporte de chip 20 y el controlador o controladores externos como la DAQ 26.

**[0019]** Como se explica a continuación, el número de tales contactos puede llegar a ser extremadamente grande para sustratos de microfluidos que incluyen muchos componentes que se controlan de forma independiente mediante un controlador externo. La siguiente descripción del funcionamiento de un sustrato de microfluidos 10 y la DAQ 26 demuestra la relación entre la complejidad del sustrato de microfluidos y el número necesario de contactos 5 12, 21, 25.

### Estructura del procesador de microfluidos

**[0020]** En el ejemplo mostrado en la figura 1, un sustrato de microfluidos 10 incluye tres puertos de entrada 22 para aceptar reactivos fluidos o muestras. Preferiblemente, estos puertos de entrada están en una posición estándar en el sustrato para que el robot de laboratorio 24, cuando esté disponible, se pueda programar fácilmente para la carga automática de los puertos de varios tipos de procesadores de microfluidos. De lo contrario, los puertos deben ser accesibles para la carga manual. Siempre que sea posible, los reactivos también se pueden envasar previamente, en el sustrato de microfluidos y/o el soporte de chip 20. Además, el soporte de chip 20 tiene un micro-15 circuito 23 accesible a través de conectores estándar para el almacenamiento de, por ejemplo, información del procesador auto-descriptiva. Alternativamente, el soporte de chip 20 puede tener marcas tales como un código de barras para indicar el tipo de dispositivo o información adicional.

**[0021]** La figura 2 ilustra, esquemáticamente y no a escala, la estructura general de un sustrato de 20 microfluidos integrado de ejemplo. Este sustrato de microfluidos se construye a partir de tres tipos de subconjuntos. En particular, este sustrato tiene cuatro subconjuntos separados: dos subconjuntos de medición de micro-gotitas, medición1 y medición2; un subconjunto de mezcla, mezcla1; y un subconjunto de reacción/detección, reacción/detección1.

**[0022]** Estos subconjuntos se construyen de una variedad de componentes o actuadores tal y como se muestra. Los componentes incluyen actuadores de calentador, actuadores de válvulas y un detector óptico, todos ellos interconectados con entradas pasivas, desbordamientos, ventilaciones y depósitos. Más específicamente, el subconjunto medición1 incluye entrada1, desbordamiento1, válvula1, calentador1 y conducto1. Del mismo modo, el subconjunto medición2 incluye entrada2, desbordamiento2, válvula2, calentador2 y conducto2. El subconjunto de 30 mezcla, mezcla1, incluye calentador1, calentador2, válvula3, válvula4, ventilación1, ventilación2, conducto3 en forma de Y y conducto4. Por último, el subconjunto reacción/detección1 incluye válvula5, válvula6, calentador3 y conducto5.

**[0023]** El funcionamiento de los subconjuntos es el resultado del funcionamiento coordinado de sus 35 componentes actuadores bajo el control de un controlador externo, la DAQ 26. El funcionamiento específico del sustrato de microfluidos 10 se describe con mayor detalle en la Publicación de Solicitud de Patente de Estados Unidos n.º 2002/0143437. Sin embargo, a continuación se describen el funcionamiento general del procesador de fluidos bajo el control de la DAQ 26.

**[0024]** En primer lugar, se introduce fluido en inlet1, por ejemplo, mediante un dispositivo robótico externo y fluye hacia arriba a la posición estable creada por la primera región hidrofóbica h3 justo después de la ampliación del conducto 1. Cualquier exceso del fluido sale a través del puerto overflow1. A continuación, la DAQ 26 indica al subconjunto metering1 que mida una micro-gotita de volumen determinado de una parte alícuota de fluido introducido a través del puerto inlet1, como se describe en la Publicación de la Solicitud de Patente de Estados 45 Unidos n.º 2002/0143437. El subconjunto metering2 se construye y funciona de manera similar para extraer una micro-gotita medida de fluido de una segunda muestra de fluido suministrada asimismo por la entrada 2.

**[0025]** Después de que el par de micro-gotitas se extraiga de los puertos de entrada, la DAQ 26 suministra corriente a heater1 y heater2 para generar presión de gas para propulsar las dos micro-gotitas a través del conducto 50 3 en forma de Y y a lo largo del conducto 4 a la posición estable en el conducto 5 justo después del cruce del conducto lateral a la vena. Durante este paso, los dos micro-gotitas se funden y se mezclan para formar una sola micro-gotita más grande.

**[0026]** A continuación, la DAQ 26 suministra corriente a valve5 y valve6 para cerrar estas válvulas y aislar la 55 micro-gotita a lo largo del conducto 5. La DAQ 26 dirige el subconjunto reacción/detección1 para estimular una reacción en la micro-gotita atrapada mediante, por ejemplo, el suministro de corriente a heater3, que calienta la micro-gotita. La DAQ luego monitorea los resultados de la reacción estimulada mediante la detección de la radiación ópticamente realizada por las rutas ópticas o1 y o2. La DAQ 26 realiza estas funciones de control suministrando selectivamente las señales eléctricas (y, a veces ópticas) al sustrato de microfluidos a través de los contactos 12, 21, 60 25.

## Arquitectura de la DAQ

**[0027]** La figura 3 ilustra una arquitectura de hardware preferida para la DAQ 26. La tarjeta DAQ tiene uno o más receptáculos, ranuras o tomas, donde se pueden colocar uno o más procesadores de microfluidos reemplazables sujetos de manera firme con un buen contacto con sus contactos externos.

**[0028]** Como se muestra, los contactos eléctricos 25(a) en la DAQ se acopla con los contactos correspondientes 21(a) del cartucho de soporte de chip 20. Por lo tanto, los cables 39, 40 de la DAQ están conectados eléctricamente a los cables correspondientes del cartucho de soporte de chip 20. Del mismo modo, los contactos 25(b) de la DAQ se acoplan con los contactos 21(b) del cartucho de soporte de chip, conectándose de esta manera a través de canales de luz, líneas de visión u otros medios adecuados, los acoplamientos ópticos de la DAQ 41,42 a los acoplamientos ópticos correspondientes en el cartucho de soporte de chip. Los cables eléctricos y ópticos del cartucho de soporte de chip se conectan, a su vez, al sustrato de microfluidos 10 a través de los contactos 12. Por lo tanto, la DAQ 26 puede enviar y recibir señales eléctricas y ópticas a través de los contactos 12, 21, 25 a y desde el sustrato de microfluidos 10 con el fin de acoplar y controlar una variedad de componentes o actuadores situados sobre la misma.

**[0029]** Los contactos eléctricos, que pueden tener muchas formas de realización, se ilustran aquí como contactos de borde que se acoplan cuando el soporte de chip y el sustrato de microfluidos se insertan en un receptáculo de tarjeta DAQ. Alternativamente, los contactos pueden ser adecuados para acoplarse a un cable de cinta flexible o mediante tomas de terminales múltiples, por ejemplo. Los contactos ópticos pueden ser de los tipos conocidos para la conexión de cables de fibra óptica.

**[0030]** La DAQ incluye uno o más conductores del calentador 47 para el suministro de una cantidad especificada de corriente. La salida de cada controlador de calentador 47 está conectada a un multiplexor analógico 48 que envía la corriente desde el controlador a un contacto de E/S 25(a) seleccionado. Para las funciones de detección, la DAQ incluye uno o más controladores de sensores de temperatura 49 que están conectados a un multiplexor analógico 50 que multiplexa cada controlador del sensor de temperatura 49 a uno de los múltiples contactos de E/S 25(a). La DAQ también incluye uno o más fotodiodos 51 para la detección óptica. El multiplexor 52 multiplexa estos detectores ópticos a un conversor analógico a digital ("ADC") 55 a través de uno de los múltiples contactos de E/S 25(b) seleccionados. Por último, la DAQ se muestra incluyendo uno o más diodos láser 53. El registro de activación de láser 54 activa los controladores de diodo láser seleccionados que emiten señales luminosas en los acoplamientos ópticos 42 y los contactos ópticos 25(b) correspondientes.

**[0031]** Como también se muestra en la figura 3, la DAQ también incluye un microprocesador y una memoria 43 para controlar el funcionamiento de los conductores 47, los sensores 49, los fotodiodos 51, los diodos láser 53 y sus multiplexores analógicos asociados 48, 50, 52, así como el registro de activación de láser 54. Más específicamente, el microprocesador envía señales de control a estos dispositivos a través de un controlador de bus 45 y el bus 46, y lee la información de estado de los elementos de detección a través del mismo controlador 45 y el bus 46. Por último, la interfaz de host 44 permite al microprocesador 43 comunicarse con el ordenador de propósito general 27 (figura 1) mediante los cables 38(c) o, como se describió anteriormente, a través de medios inalámbricos.

**[0032]** El funcionamiento de la DAQ se ejemplifica mediante la siguiente descripción del control de un calentador resistivo simple, como el calentador resistivo que se muestra en la válvula 1 del dispositivo de microfluidos representado en la figura 2. Como se muestra en la figura 2, valve1 incluye un elemento de calefacción resistivo 9 que está conectado en sus terminales 11, 13 a un par de contactos de E/S 12(a) a través de los cables 8. La DAQ activa este elemento de calefacción resistivo indicándole al multiplexor analógico 48 que conecte la salida de controlador del calentador 47 a un par de contactos de E/S 25(a) que están conectados a los contactos de E/S 21(a) correspondientes del soporte de chip 20, que están conectados a los contactos 12(a) correspondientes del sustrato. A continuación, le indica al controlador del calentador 47 que suministre una cantidad seleccionada de corriente. La corriente suministrada por el controlador 47 fluye a través del multiplexor analógico 48 y al elemento de calefacción resistivo 9 a través de los cables 39 y 8 seleccionados.

55 La relación entre el número de clavijas 110 y el número de elementos de control en el procesador de microfluidos

**[0033]** Para un dispositivo de dos terminales, como el calentador resistivo descrito anteriormente, el sistema debe utilizar dos contactos de E/S para suministrar las señales de control para el funcionamiento del dispositivo. Por lo tanto, si el número de dispositivos de dos terminales en el proceso de microfluidos es N, entonces son suficientes

2xN contactos de E/S para permitir que la DAQ 26 controle de forma independiente cada uno de los dispositivos.

**[0034]** Sin embargo, para los dispositivos de microfluidos complejos el número de contactos de E/S puede ser excesivamente grande. En el dispositivo de microfluidos simple que se muestra en la figura 2, donde se muestran solo nueve elementos de calefacción resistivos diferentes, se requieren solo dieciocho contactos. Para los dispositivos de microfluidos cada vez más complejos que tiene cientos de componentes controlados de forma independiente, el número de contactos se hace excesivo.

**[0035]** Además, para sistemas discretos de procesamiento de fluido de gotitas como los descritos en la publicación de la solicitud de patente de EE.UU. n.º 2002/0143437, incluso los procesadores de microfluidos relativamente simples pueden emplear un gran número de contactos. Por ejemplo, las figuras 4A y 4B representan una estructura de válvula preferida para dichos sistemas de procesamiento de fluidos que incluye tres calentadores resistivos independientes para cada válvula. Haciendo referencia a las figuras 4A y 4B, el funcionamiento de la estructura de válvulas preferida se describe en detalle a continuación.

**[0036]** La figura 4A representa la válvula en su posición abierta que tiene un tapón de cera 76 colocado dentro del canal lateral 77. Para cerrar esta válvula, el controlador de la DAQ suministra corriente al calentador resistivo HTR2 a través de los contactos de E/S 80, 81. Esto hace que HTR2 se caliente, fundiendo así el tapón 76. Luego, la DAQ 26 suministra corriente a HTR1 a través de los contactos de E/S 82, 84 para de ese modo calentar el gas dentro de la cámara 75. A medida que se expande el gas, obliga al tapón 76 a moverse por el canal 78, como se muestra en la figura 4B. Luego, la DAQ 26 apaga el calentador HTR2 y permite que el tapón se enfríe, bloqueando de este modo el canal 78 y el canal lateral 77. Cuando el tapón está frío, la DAQ 26 apaga HTR1. Cuando HTR1 se enfría, la presión en la cámara 75 desciende, creando así una presión negativa que, como se explicará más adelante, se puede utilizar para volver a abrir la válvula.

**[0037]** Para abrir la válvula, la DAQ 26 suministra corriente a HTR3 a través de las patillas de E/S 86, 88 para calentar el calentador y, por lo tanto, fundir el tapón. Una vez que se funde el tapón, la presión negativa en la cámara 75 extrae el tapón de nuevo al canal lateral 77, con lo que el canal 78 se vuelve a abrir.

**[0038]** Si se usan dichas válvulas bidireccionales para implementar el dispositivo de microfluidos que se muestra en la figura 2, el número de elementos resistivos controlados independientemente casi se triplica de nueve a veintiuno. Sin embargo, para controlar con precisión la temperatura de cada uno de estos elementos resistivos, se pueden utilizar incluso más componentes.

**[0039]** La figura 5 representa un dispositivo de calefacción resistivo de seis terminales. El dispositivo incluye un elemento de calefacción de dos terminales R1 que funciona de acuerdo con el elemento de calefacción 9 de la figura 2. El dispositivo también incluye un elemento direccional de flujo de corriente 70, lo que permite que la corriente fluya sustancialmente solo en una única dirección entre los cables 55, 56. Como se muestra en la figura 5, el elemento direccional del flujo de corriente 70 es un diodo configurado para permitir que la corriente fluya desde el cable 56 al cable 55. El elemento direccional de flujo de corriente 70 impide sustancialmente y, preferiblemente, excluye el flujo de corriente desde el cable 55 al cable 56. El elemento direccional del flujo de corriente 70 puede ser cualquier elemento que permita que la corriente fluya predominantemente en una dirección entre los puntos de un circuito. Los diodos son los elementos direccionales de flujo de corriente preferidos.

**[0040]** El dispositivo de la figura 5 también incluye un elemento sensor resistivo de cuatro terminales R2 en las proximidades de R1 con el fin de estar en comunicación térmica con ello. Un elemento direccional flujo de corriente 71, que en general tiene las mismas características funcionales que el elemento direccional de flujo de corriente 70, permite que la corriente fluya sustancialmente en una dirección entre los cables 57, 58 y los cables 59, 60. En la configuración mostrada, el elemento direccional de flujo de corriente 71 permite que la corriente fluya desde los cables 59, 60 a los cables 57, 58, pero previene sustancialmente y, preferiblemente, excluye el flujo de corriente de los cables 57, 58 a los cables 59, 60.

**[0041]** Los elementos direccionales de flujo de corriente 70 y 71 pueden estar formados, aunque no es necesario que lo estén, por microfabricación en un sustrato con elementos R1 y R2. Más bien, los elementos direccionales de flujo de corriente 70 y 71 pueden estar dispuestos en otras posiciones a lo largo de las rutas de corriente que incluyen respectivamente R1 y R2. Los elementos direccionales de flujo de corriente 70 y 71 están dispuestos preferentemente en series con R1 y R2.

**[0042]** El sensor R2 puede funcionar como sigue. Mientras la DAQ 26 suministra corriente a R1 (a través de

- los cables 55, 56), también suministra una corriente relativamente baja a R2 a través de los cables 57, 60. R2 es un elemento resistivo cuya resistencia aumenta con la temperatura. En consecuencia, la tensión a través de R2 aumenta con la temperatura en la región cercana calentándose con el elemento de calefacción R1 y, por lo tanto, el elemento R2 se puede utilizar para medir la temperatura en esta región. La DAQ 26 determina la temperatura mediante la medición de la tensión a través de R2 mediante los cables 58, 59. Más específicamente, con referencia ahora a la figura 3, la DAQ 26 indica al multiplexor analógico que conecte el sensor de temperatura 49 a las clavijas de contacto 25(a) que están conectadas a los cables 58, 59. El sensor 49 determina entonces la tensión a través de R2, proporcionando de ese modo una medida de la temperatura en el entorno de R1.
- 10 **[0043]** Por lo tanto, si se utilizan tales dispositivos en un procesador de microfluidos, el número de contactos de E/S aumenta aún más. Por ejemplo, se requieren ciento veintiséis contactos para el procesador micro-fluido mostrado en la figura 2.
- 15 **[0044]** La presente invención se refiere a técnicas para reducir el número de contactos de E/S requeridos para un controlador externo, como la DAQ 26, para controlar independientemente un gran número de componentes dentro de dispositivos de microfluidos, tales como los descritos anteriormente.
- 20 **[0045]** Las figuras 6A, 6B ilustran una técnica de ejemplo, no dentro del alcance de las reivindicaciones, para reducir el número de contactos de E/S mediante la estructuración de los cables del dispositivo de microfluidos de modo que cada cable sirve a más de un componente, al tiempo que permite que la DAQ 26 controle cada componente del dispositivo de microfluidos independientemente de los demás. Específicamente, las figuras 6A, 6B representan una técnica para el intercambio de contactos de E/S entre tres de las resistencias de dos terminales de una estructura de valor bidireccional, como se muestra en las figuras 4A-B tratadas anteriormente. La válvula funciona esencialmente igual que la válvula mostrada en las figuras 4A, B, excepto que utiliza solo cuatro contactos en lugar de seis. En este ejemplo, cada resistencia está conectada a un par de contactos de E/S y, por lo tanto, la DAQ la puede controlar de la misma manera que se describió anteriormente. Aunque las otras resistencias comparten estos contactos de E/S, ninguna resistencia comparte el mismo par de contactos con otra. En consecuencia, la DAQ es capaz de suministrar corriente a cualquier resistor dado a través del par de contactos asociados, sin activar ninguna otra resistencia.
- 25 30 **[0046]** De forma más general, el número de contactos de E/S requeridos para el control independiente de una pluralidad de calentadores de resistencia se puede reducir mediante la disposición de los cables de contacto para cada resistencia en forma de matriz lógica. La compresión resultante del número de los contactos de E/S simplifica ventajosamente la comunicación con todo el procesador. Dado que cada resistencia requiere dos cables para completar un circuito eléctrico, de acuerdo con una disposición convencional de los cables y los contactos, un dispositivo que tiene N resistencias requiere 2N cables y 2N contactos. Sin embargo, al configurar el cableado de contacto en una matriz compartida, el número de contactos necesarios se puede reducir a tan solo  $2\sqrt{N}$ . Por ejemplo, en un dispositivo que comprende 100 resistencias, el número de contactos externos puede reducirse de 200 a 20.
- 35 40 **[0047]** Las figuras 7A, 7B representan una DAQ 26 conectada directamente a un sustrato de microfluidos 22, sin el uso de un soporte de chip intermedio 20, y muestran una matriz de calentadores resistivos dentro del sustrato 22. Los cables entre los contactos 12(a) y los calentadores resistivos 100-109 se muestran colocados en columnas y filas. Sin embargo, la disposición física real de los cables no será necesariamente una matriz física. Más bien, los cables irán directamente desde los componentes resistivos a los contactos 12(a) de cualquier manera que permita que cada cable se conecte a una pluralidad de resistencias sin dejar de estar eléctricamente aislado de los otros cables.
- 45 50 **[0048]** De acuerdo con esta disposición, los contactos eléctricos para N resistores están asignados a las filas R y las columnas C de forma que el producto  $RC \leq N$ , preferiblemente donde R es aproximadamente igual a C y, más preferiblemente, donde  $R=C$ . Con esta disposición, las resistencias asignadas a la misma fila comparten un cable eléctrico común y un contacto de E/S 12(a). Del mismo modo, las resistencias asignadas a la misma columna también comparten un cable y un contacto de E/S 12(a). Sin embargo, cada resistencia tiene una dirección única, lo que corresponde a un único par de contactos de E/S, (es decir, a su combinación de fila/columna única en la matriz).
- 55 **[0049]** Por lo tanto, cada resistencia se acciona individualmente mediante el suministro de corriente eléctrica al par apropiado de contactos de E/S.
- Tal como se utiliza aquí, una "resistencia" o "componente" que está asociado de forma única con un par de contactos también se puede referir a una red resistiva (que tiene una pluralidad de sub-componentes



resistivos en contacto en serie y/o paralelo) o un componente de red (que tiene una pluralidad de sub-componentes conectados en serie o en paralelo). En dichas formas de realización, todos los sub-componentes se activan a la vez cuando el controlador externo suministra señales a través del par de contactos asociados de forma única con los sub-componentes.

5

**[0050]** Como se muestra en la figura 7A, los conductores están dispuestos en tres filas ( $R_j$ , donde  $j= 1-3$ ) y tres columnas ( $C_i$ , donde  $i= 1-3$ ). Para cada resistencia, un terminal se conecta a una fila y el otro terminal se conecta a una columna. Aunque cada resistencia comparte estos cables con otras resistencias, no hay dos resistencias que compartan el mismo par de cables. En otras palabras, cada resistencia está asociada únicamente con un par de fila/columna en particular  $R_j, C_i$ .

10

**[0051]** Las figuras 7A, 7B ilustran el funcionamiento de esta estructura. El controlador del calentador 47 suministra una tensión de salida de veinte voltios en sus terminales para suministrar corriente a los elementos calefactores 100-109. El terminal de salida positivo 90 está conectado a un primer multiplexor analógico 48(a). Como se muestra, este terminal se puede conectar a cualquiera de las filas de la matriz de cables mediante elementos de conmutación individuales dentro del multiplexor analógico 48(a). Del mismo modo, el terminal de salida negativo 92 de calentador 47 está conectado a un segundo multiplexor analógico 48(b). El multiplexor 48(b) permite que el terminal 92 se conecte a cualquier columna de la matriz de cables.

15

**[0052]** En la figura 7A, los elementos de conmutación dentro de los multiplexores analógicos 48(a,b) están todos abiertos. En consecuencia, ninguno de los elementos de calefacción 100-109 como se muestran están activos. La figura 7B representa la condición de los multiplexores analógicos 48(a,b) después de que la DAQ 26 les haya indicado que cierren ciertos conmutadores internos para de ese modo suministrar corriente a una de las resistencias seleccionadas de la matriz. En este ejemplo, el elemento conmutador de la fila 50 está cerrado, para conectar de ese modo el terminal positivo del calentador 47 a la fila superior de la matriz de cables. El elemento conmutador de la columna 52 también se cierra para conectar el terminal negativo del calentador 47 a la columna del medio de la matriz de cables. Por lo tanto, el terminal positivo 90 del calentador 47 está conectado a las resistencias 100, 102, 103 y el terminal negativo está conectado a las resistencias 102, 105, 108. Sin embargo, solo una de estas resistencias, 102, está conectada a través de ambos terminales del calentador 47. En consecuencia solo la resistencia 102 recibe corriente y se calienta.

20

25

30

**[0053]** Los calentadores de las resistencias 100-109 están dispuestos en serie con los respectivos elementos direccionales de flujo de corriente de 215-223, que permiten que la corriente fluya en una dirección entre el terminal positivo 90 de un controlador de calentador 47 y un terminal negativo o de tierra 92 del controlador de calentador 47 a lo largo de una trayectoria de corriente que incluye uno de los elementos resistivos 100-109. Los elementos direccionales de flujo de corriente 215-223 están configurados preferentemente para permitir que la corriente fluya solamente desde el terminal positivo 90 al terminal 92. Así, por ejemplo, la corriente puede fluir desde un punto 224 a un punto 225, a través de un calentador de resistencia 102 al punto 226 y luego al punto 227. Los elementos direccionales de flujo de corriente, sin embargo, impiden que la corriente pase a través de las trayectorias de corriente, incluyendo calentadores resistivos distintos del calentador resistivo 102. Por ejemplo, el elemento direccional de flujo de corriente 219 impide el flujo de corriente entre los puntos 228 y 229. Los elementos direccionales de flujo de corriente 215-223 pueden ser diodos como se indicó anteriormente para los elementos direccionales de flujo de corriente 70, 71.

35

40

**[0054]** Las figuras 8A, 8B, 9A, 9B representan matrices similares para los elementos resistivos utilizados para detectar la temperatura y, como  $R_2$ , se muestran en la figura 5. La figura 8A representa una matriz de cables que suministra corriente a las resistencias de detección 110-118. La figura 8B representa otro conjunto de cables para medir la tensión a través de las mismas resistencias. Con esta estructura, los cables que se utilizan para estimular los sensores resistivos no llevan corriente desde el controlador de calentador 47, ya que se aíslan eléctricamente del conductor 47. Del mismo modo, los cables para detectar la tensión de los sensores resistivos 110-118 (figura 8B) no llevan esencialmente corriente, ya que están aislados de los cables que suministran corriente de los conductores 47 y 49(a) (mostrado en las figuras 7A, 7B y 8A). Esta estructura proporciona la medición de temperatura más precisa.

45

50

**[0055]** Las figuras 9A, 9B representan una estructura alternativa. Al igual que con la estructura mostrada en las figuras 8A, 8B, los cables para detectar la tensión a través de las resistencias de detección de temperatura, 110-118, se aíslan de las dos fuentes de corriente (controlador del calentador 47 y controlador RTD 49(a)). Sin embargo, las dos fuentes de corriente 47, 49(a) comparten los mismos cables de retorno de la corriente, es decir, los cables representados como columnas en la matriz. Esto proporciona una mayor compresión del número de cables; sin embargo, la resistividad en los cables de retorno compartidos puede reducir la precisión de la medición de

55

temperatura.

**[0056]** Las matrices de las figuras 8A, 8B, 9A y 9B incluyen elementos direccionales de flujo de corriente 215'-223', que permiten que la corriente fluya solo en una dirección a través de las resistencias de detección 110-118. Por lo tanto, los elementos de dirección del flujo de corriente 215'-223' permiten preferentemente que la corriente fluya en una sola dirección entre el terminal positivo de la unidad RTD o el sentido RDT y el terminal negativo o de tierra de la unidad RDT o el sentido RTD a lo largo de una trayectoria de corriente que incluye una de las resistencias de detección 110-118. Preferiblemente, los elementos direccionales del flujo de corriente 215'-223' permiten que la corriente fluya desde el terminal positivo al terminal negativo o el terminal de tierra de cualquiera de las unidades RDT o el sentido de RDT, pero no desde el terminal negativo o el terminal de tierra al terminal positivo de la misma. Los elementos direccionales de flujo de corriente 215'-223' pueden ser diodos similares a los elementos direccionales de flujo de corriente 70, 71.

**[0057]** Aunque la invención se ha descrito de manera ilustrativa en el presente documento con referencia a aspectos, características y formas de realización específicas, se apreciará que la utilidad y el alcance de la invención no queda así limitada y que la invención puede abarcar fácilmente otros y diferentes variaciones, modificaciones y otras realizaciones. Por ejemplo, las mismas técnicas para reducir el número de cables se pueden aplicar a otros tipos de componentes, no solo las resistencias. Por consiguiente, la invención está destinada a ser interpretada y realizada ampliamente, comprendiendo todas estas variaciones, modificaciones y realizaciones alternativas, dentro del alcance de las reivindicaciones siguientes.

**REIVINDICACIONES**

1. Un dispositivo de procesamiento de microfluidos que comprende:

- 5 un sustrato (22) que comprende una pluralidad de N componentes (100 a 118) dispuestos en una matriz de filas lógicas y columnas lógicas, donde cada uno de los N componentes (100 a 118) está conectado eléctricamente a un elemento direccional de flujo de corriente respectivo (215 a 223) en serie, donde dichos elementos de dirección de flujo de corriente (215 a 223) están configurados para permitir que la corriente fluya esencialmente en una única dirección a través de los N componentes (100 a 118);
- 10 una pluralidad de contactos de entrada/salida (224, 227) para conectar el sustrato (22) a un controlador externo (26), donde los contactos (224, 227) están asignados a las filas y columnas lógicas; una pluralidad de cables para la conexión de los contactos (224, 227) a los componentes conectados en serie (100 a 118) y los elementos direccionales de flujo de corriente (215 a 223) dispuestos de tal manera que cada componente conectado en serie (100 a 118) y el elemento direccional de flujo de corriente (215 a 223) asignado a la misma fila
- 15 lógica comparten un cable común y un contacto (224) y están conectados eléctricamente al contacto común (224) en paralelo, y cada componente conectado en serie y el elemento direccional de flujo de corriente (215 a 223) asignados a la misma columna lógica comparten un cable común y un contacto (227) y están conectados eléctricamente al contacto común (227) en paralelo y donde el controlador (26) puede controlar así cada uno de los N componentes (100 a 118) de forma independiente el uno del otro componente (100 a 118);
- 20 una cámara de reacción; y una válvula accionada térmicamente;

donde:

- 25 al menos uno de los N componentes (100 a 118) es un elemento de calefacción resistivo en comunicación térmica con la cámara de reacción;
- al menos uno de los N componentes (100 a 118) es un elemento de calefacción resistivo en comunicación térmica con la válvula accionada térmicamente;
- cuando una corriente pasa a través del elemento de calefacción resistivo en comunicación térmica con la cámara de
- 30 reacción desde el contacto (224, 227) y a través del cable asignado a una de las filas o columnas lógicas del elemento de calefacción resistivo y a través del cable y al contacto (224, 227) asignado a la otra columna o fila lógica del elemento de calefacción resistivo, el elemento de calefacción resistivo provoca el calentamiento de la cámara de reacción; y
- cuando una corriente pasa a través del elemento de calefacción resistivo en comunicación térmica con la válvula
- 35 accionada térmicamente del contacto (224, 227) y a través del cable asignado a una de las filas o columnas lógicas del elemento de calefacción resistivo y a través del cable y al contacto (224, 227) asignado a la otra columna o fila lógica del elemento de calefacción resistivo, el elemento de calefacción resistivo produce el calentamiento de la válvula accionada térmicamente.

40 2. El dispositivo de procesamiento de microfluidos de acuerdo con la reivindicación 1, donde el número de contactos (224, 227) está relacionado con el número de componentes (100 a 118) por la fórmula  $2\sqrt{N}$ .

3. El dispositivo de procesamiento de microfluidos de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, donde al menos uno de los N componentes (100 a 118) es un elemento de detección resistivo.

45 4. El dispositivo de procesamiento de microfluidos de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde al menos uno de los N componentes (100 a 118) comprende una pluralidad de sub-componentes que están todos activados por el controlador externo (26) mediante la combinación única de contactos (224, 227) asociada con al menos uno de dichos componentes (100 a 118).

50 5. El dispositivo de microfluidos de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el sustrato (22) incluye una pluralidad de válvulas accionadas térmicamente y cada componente de un subconjunto de los N componentes (100 a 118) es un elemento de calefacción en comunicación térmica con la respectiva válvula térmicamente accionada.

55 6. El dispositivo de microfluidos de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el sustrato (22) incluye una bomba térmicamente accionada que comprende un volumen de fluido y al menos uno de los N componentes (100 a 118) es un elemento de calefacción en comunicación térmica con el volumen de fluido, con lo que el accionamiento del elemento de calefacción calienta el fluido y acciona la bomba térmicamente accionada.

7. El dispositivo de microfluidos de la reivindicación 6, donde el sustrato (22) incluye una pluralidad de bombas accionadas térmicamente que comprenden cada una de ellas un volumen de fluido y, donde cada componente de un subconjunto de los N componentes (100 a 118) es un elemento de calefacción en comunicación 5 térmica con el volumen de fluido de la respectiva bomba térmicamente accionada.
8. Un método para fabricar un dispositivo de procesamiento de microfluidos que comprende:
- proporcionar un sustrato (22) que tiene una pluralidad de N componentes (100 a 118) dispuestos en una matriz de 10 filas y columnas lógicas, cada uno de los N componentes (100 a 118) están conectados eléctricamente al respectivo elemento direccional de flujo de corriente (215 a 223) en serie, dichos elementos de dirección de flujo de corriente (215 a 223) están configurados para permitir que la corriente fluya en una dirección esencialmente solo a través de los N componentes (100 a 118);
- proporcionar una pluralidad de contactos de entrada/salida (224, 227) para conectar el sustrato (22) a un controlador 15 externo (26), donde los contactos (224, 227) están asignados a las filas y columnas lógicas;
- proporcionar una pluralidad de cables para la conexión de los contactos (224, 227) a los componentes conectados en serie (100 a 118) y los elementos direccionales de flujo de corriente (215 a 223), dispuestos de tal manera que cada componente conectado en serie y cada elemento direccional de flujo de corriente (215 a 223) asignado a la 20 misma fila lógica comparte un cable común y un contacto y está conectado eléctricamente al contacto común en paralelo, y cada uno de los componentes conectados en serie y el elemento direccional de flujo de corriente (215 a 223) asignado a la misma columna lógica comparte un cable y un contacto y está conectado eléctricamente al contacto común en paralelo de tal manera que cada componente tiene un par único de contactos (224, 227), y donde el controlador (26) puede controlar de esta manera cada uno de los N componentes (100 a 118) de forma independiente unos de otros (100 a 118);
- proporcionar una cámara de reacción; y 25 proporcionar una válvula accionada térmicamente,
- donde
- al menos uno de los N componentes (100 a 118) es un elemento de calefacción resistivo en comunicación térmica 30 con la cámara de reacción;
- al menos uno de los N componentes (100 a 118) es un elemento de calefacción resistivo en comunicación térmica con la válvula accionada térmicamente;
- cuando una corriente pasa a través del elemento de calefacción resistivo en comunicación térmica con la cámara de 35 reacción desde el contacto y a través del cable asignado a una de las filas o columnas lógicas del elemento de calefacción resistivo y a través del cable y al contacto asignado a la otra columna o fila lógica del elemento de calefacción resistivo, el elemento de calefacción resistivo provoca el calentamiento de la cámara de reacción; y
- cuando una corriente pasa a través del elemento de calefacción resistivo en comunicación térmica con la válvula accionada térmicamente del contacto y a través del cable asignado a una de las filas o columnas lógicas del 40 elemento de calefacción resistivo y a través del cable y al contacto asignado a la otra columna o fila lógica del elemento de calefacción resistivo, el elemento de calefacción resistivo produce el calentamiento de la válvula accionada térmicamente.
9. Un método de acuerdo con la reivindicación 8, donde el número de contactos (224, 227) está 45 relacionado con el número de los componentes (100 a 118) por la fórmula  $2\sqrt{N}$ .
10. Un método de acuerdo con la reivindicación 8 o 9, donde al menos uno de los N componentes (100 a 118) comprende un elemento de detección resistivo.
- 50 11. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 10, donde al menos uno de los componentes (100 a 118) comprende una pluralidad de sub-componentes que están todos activados por el controlador externo (26) mediante la combinación única de contactos (224 , 227) asociada con al menos uno de dichos componentes (100 a 118).

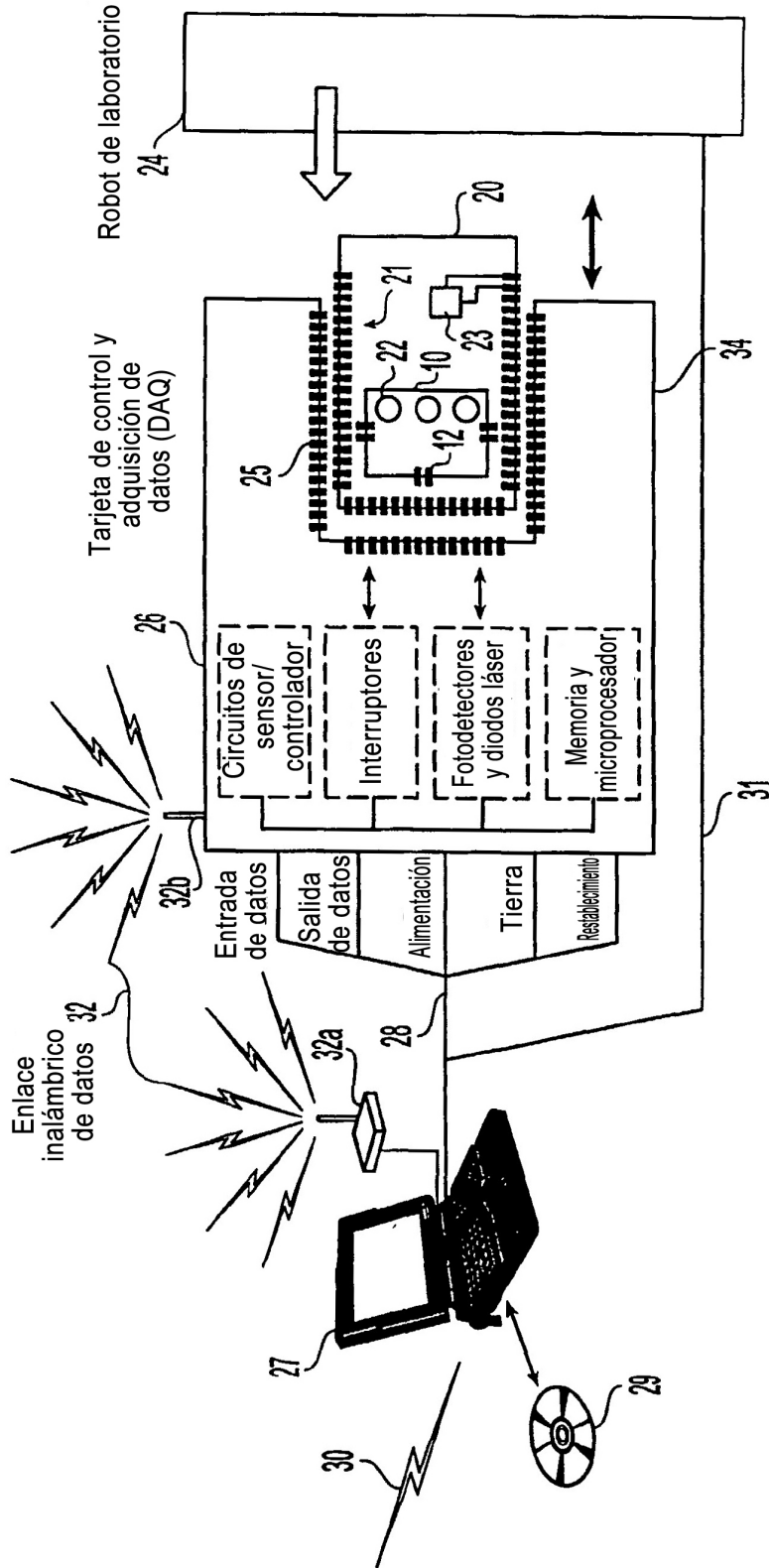


Fig. 1

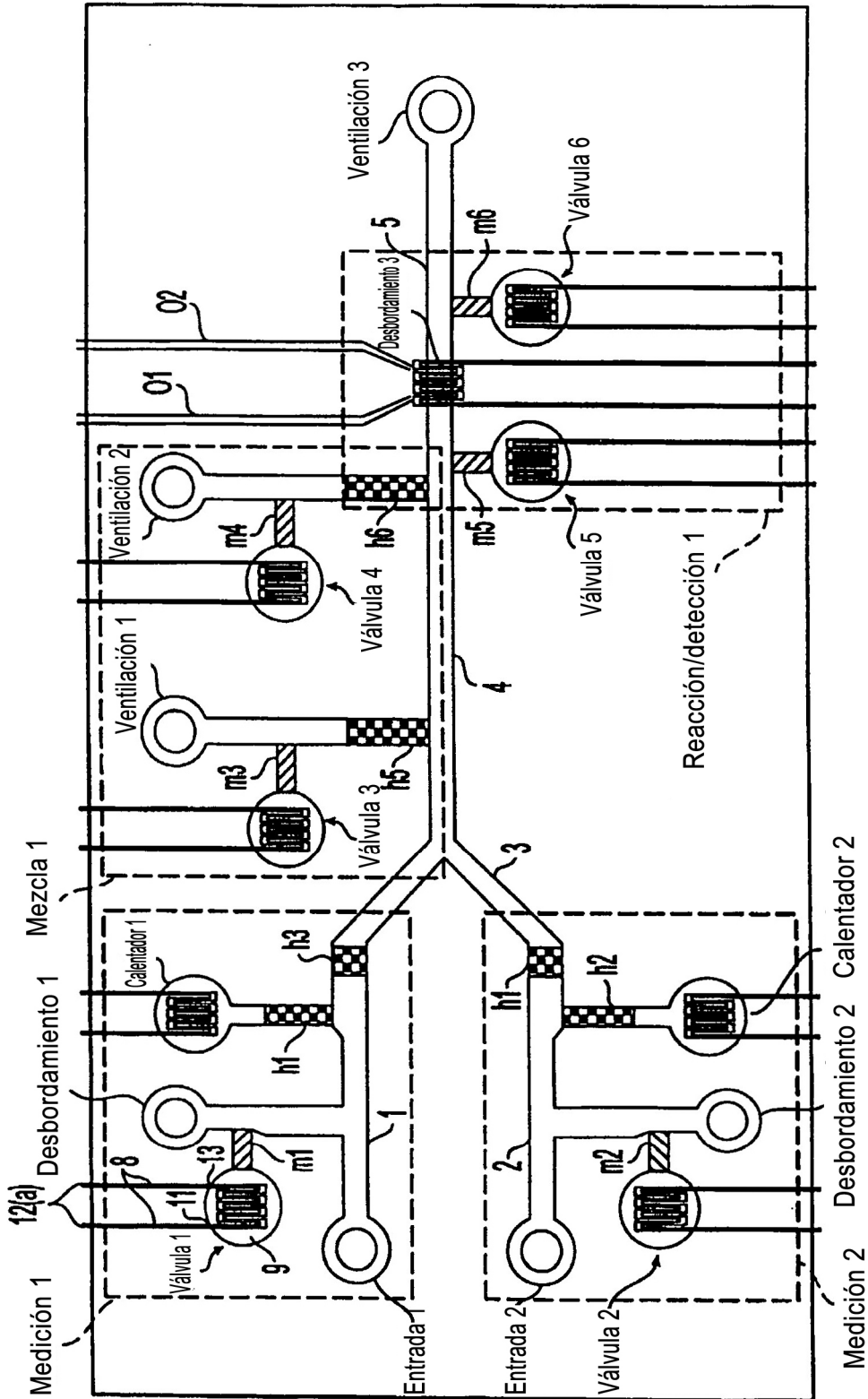


Fig. 2

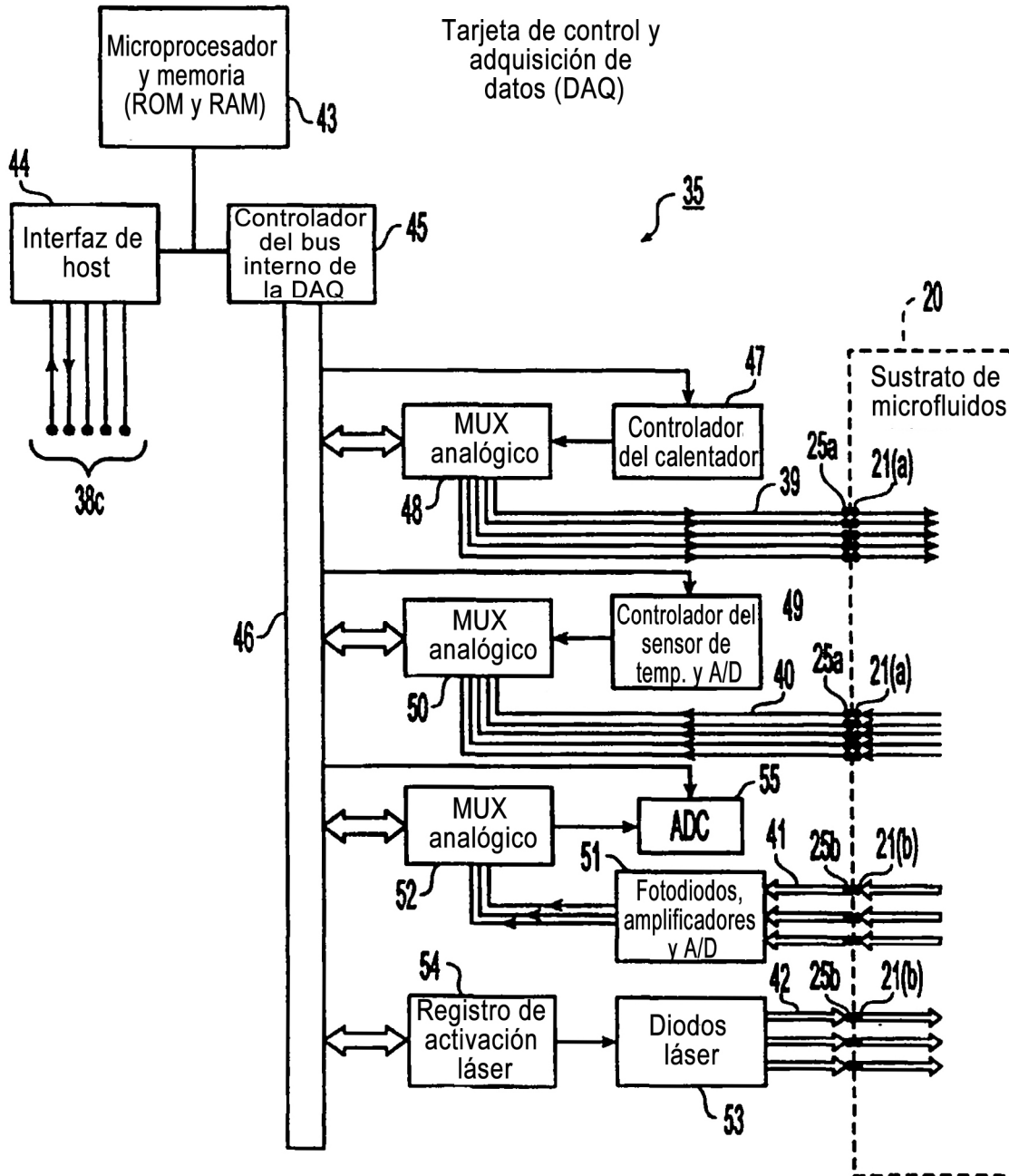
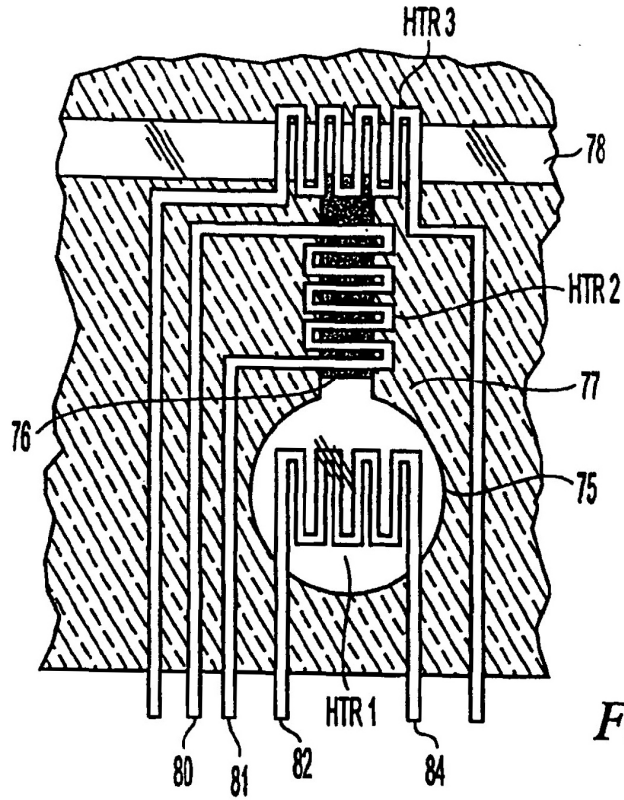
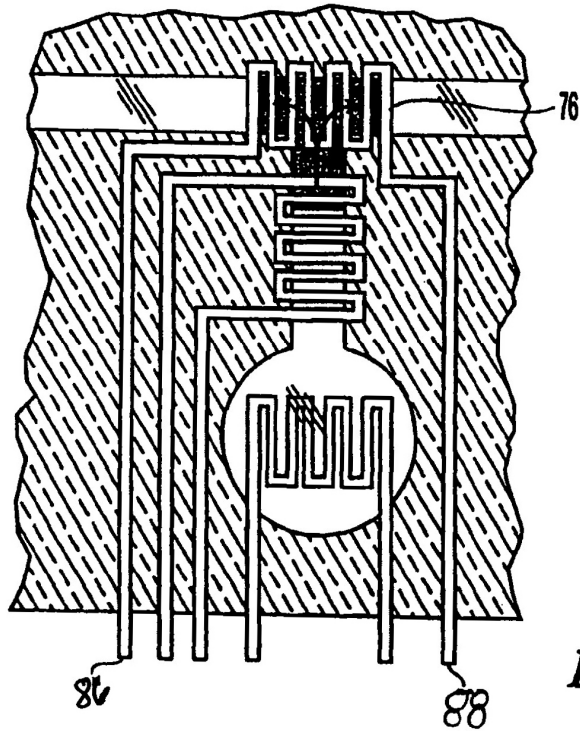


Fig. 3

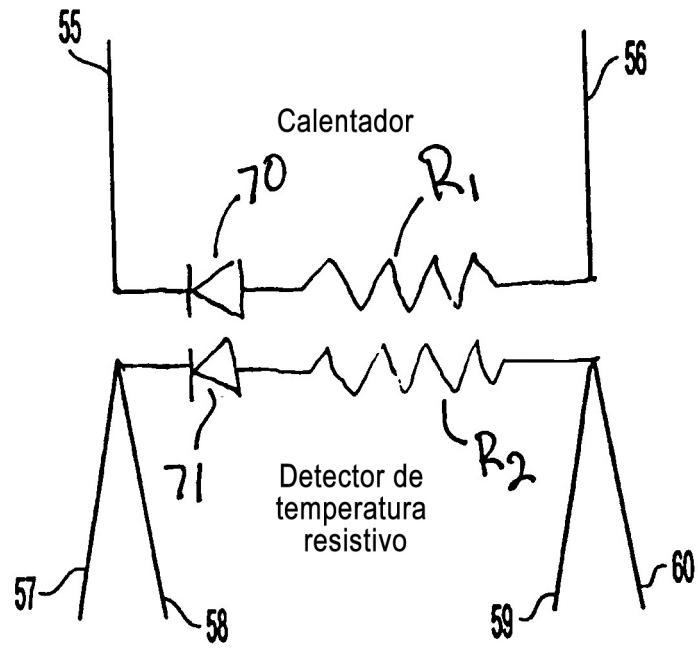


*Fig. 4A*

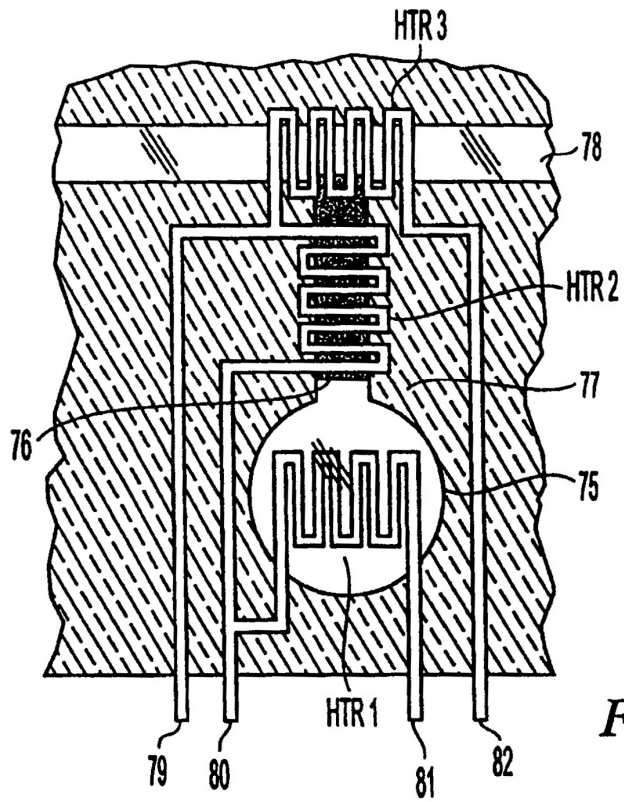


*Fig. 4B*

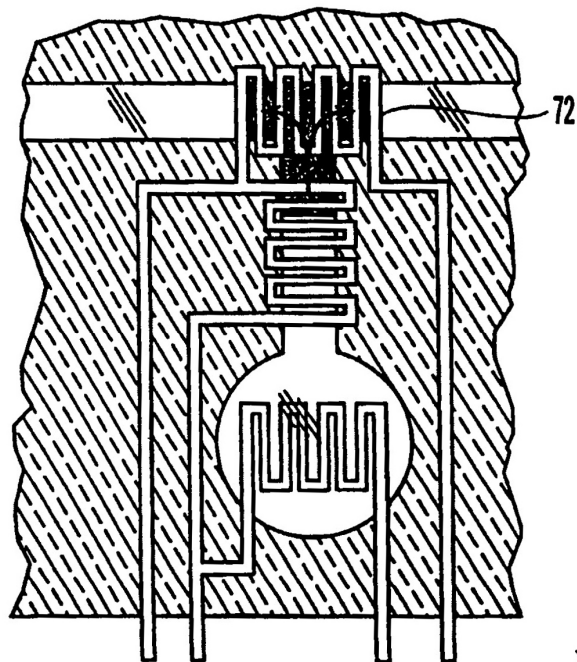




*Fig. 5*



*Fig. 6A*



*Fig. 6B*

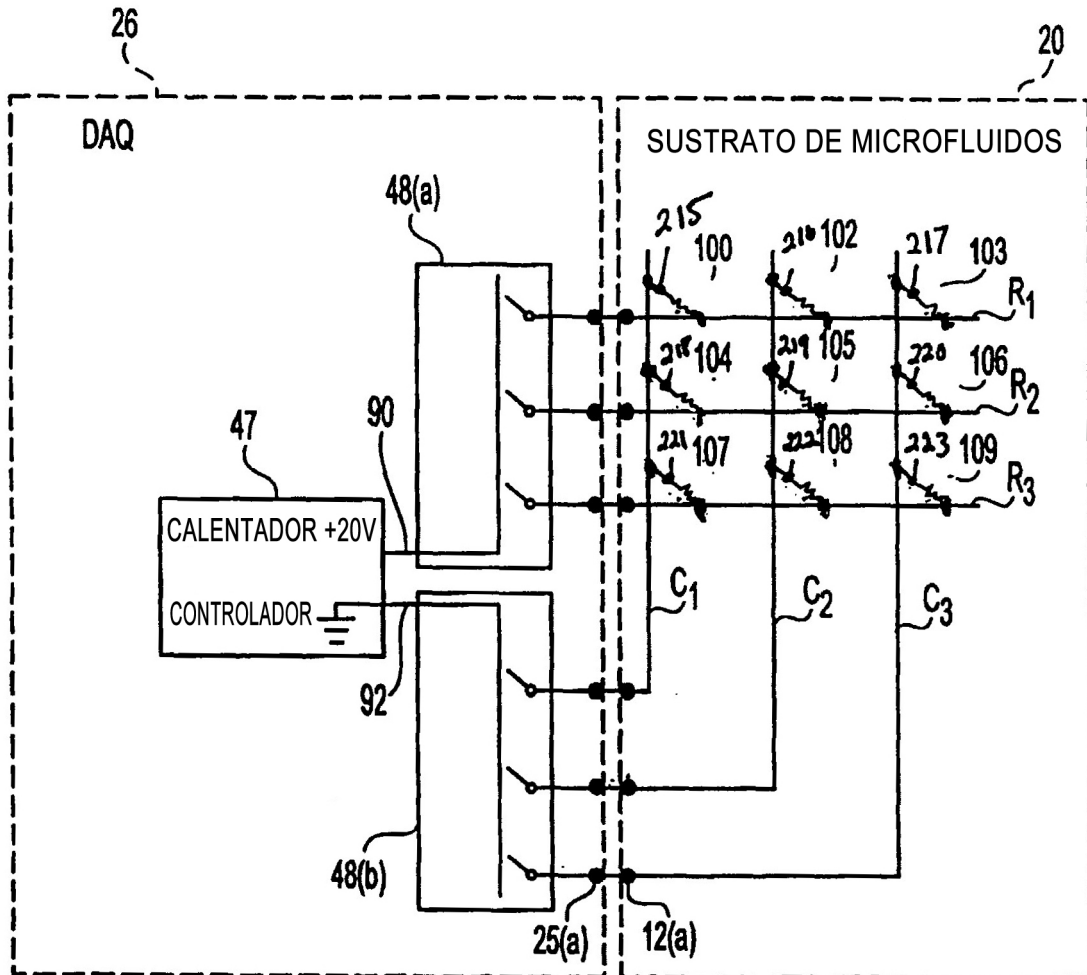


Fig. 7A

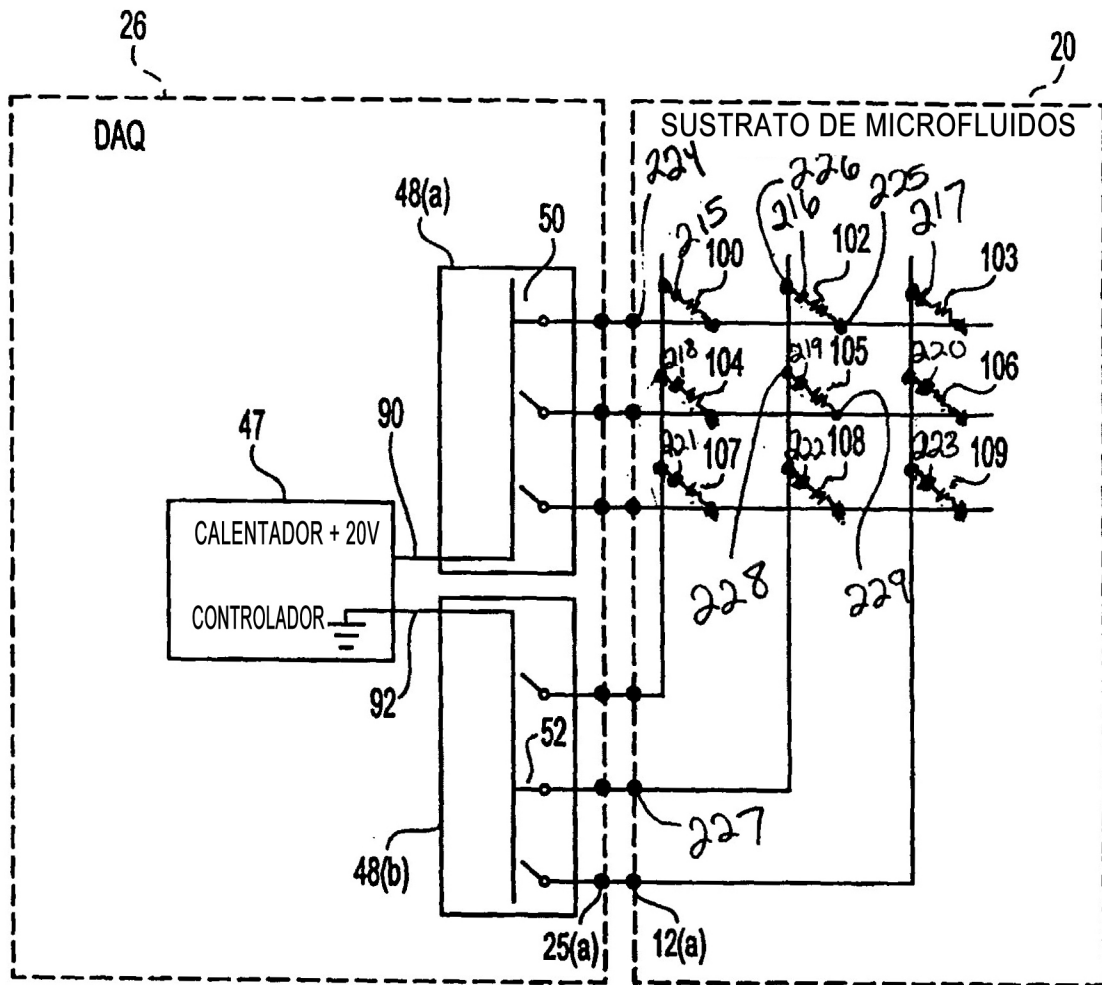


Fig. 7B

