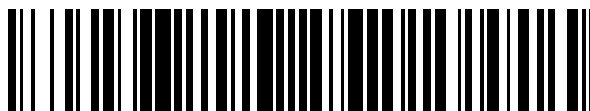


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 491 219**

51 Int. Cl.:

**F24H 1/10** (2006.01)

**H05B 3/60** (2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.05.2006** **E 06752232 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.06.2014** **EP 1878315**

54 Título: **Calentador de líquido por resistencia eléctrica directa**

30 Prioridad:

**04.05.2005 US 677552 P**

**19.08.2005 US 709528 P**

**13.10.2005 US 726473 P**

**10.02.2006 US 352184**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**05.09.2014**

73 Titular/es:

**CALLAHAN, JEREMIAH M. (50.0%)**  
**1655 Middle Street**  
**Sullivan's Island, SC 29482-8739, US y**  
**BARZYK, JAMES (50.0%)**

72 Inventor/es:

**CALLAHAN, JEREMIAH M.;**  
**BARZYK, JAMES y**  
**BOWERS, JOHN**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

ES 2 491 219 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

Calentador de líquido por resistencia eléctrica directa

## 5 Campo de la invención

Esta invención está dirigida a un calentador de líquido eléctricamente conductor sin depósito alimentado eléctricamente que proporciona calentamiento instantáneo del líquido a petición.

## 10 Antecedentes de la invención y técnica anterior

Los objetivos de un dispositivo de calentamiento de líquido sin depósito alimentado eléctricamente incluyen, como mínimo, proporcionar líquido calentado a petición, regular la temperatura del líquido calentado de modo que no supere una temperatura de referencia máxima, funcionamiento por debajo de una corriente eléctrica de referencia máxima, funcionamiento seguro, mínima perturbación del suministro energético y bajo coste de fabricación. Dispositivos de calentamiento de líquido del estado de la técnica anterior han intentado alcanzar estos objetivos, aunque solo han podido hacerlo parcialmente.

La mayoría de los dispositivos de calentamiento de líquido sin depósito alimentados eléctricamente del estado de la técnica anterior utilizan para calentar el líquido elementos calefactores eléctricos del tipo de resistencia. Aunque el uso de elementos calefactores eléctricos es bien conocido y ampliamente practicado, en dispositivos de calentamiento de líquido sin depósito adolecen de desventajas considerables. Una de la más importante de estas es la ocurrencia de "disparo en seco", es decir, el funcionamiento del elemento calefactor cuando no está completamente sumergido en el líquido, o cuando se forman depósitos excesivos a lo largo de la superficie del elemento calefactor, permitiendo así el funcionamiento del elemento calefactor fuera de su intervalo de temperaturas seguro e introduciendo la posibilidad de un acortamiento de su vida útil, fallo del elemento, fusión del sistema, o incluso de incendios. Para abordar esto se necesitan componentes adicionales funcionales y costosos. Maus, en la patente estadounidense 4.900.896, proporciona un ejemplo de tal calentador. Un conmutador de detección de flujo (que debe transportar toda la corriente eléctrica consumida por los elementos calefactores) detecta el estado de falta de flujo de agua, evitando así un disparo en seco de los elementos calefactores cuando no hay agua suficiente en la cámara de calentamiento. Sin embargo, cuando el elemento calefactor está recubierto con depósitos que son relativamente no conductores del calor, el termostato no está conectado térmicamente con el elemento calefactor y por tanto el termostato no hace nada para impedir el sobrecalentamiento del elemento calefactor eléctrico. Otros calentadores de agua sin depósito que utilizan elementos calefactores eléctricos que sufren la misma desventaja y los mecanismos para abordarlo se describen en las patentes estadounidenses 5.216.743, otorgada a Seitz et al., 5.325.822, otorgada a Fernández, 5.408.578 otorgada a Bolívar, 5.479.558 White Jr. et al., 5.866.880, otorgada a Seitz et al., 6.080.971, otorgada a Seitz et al., 6.246.831, otorgada a Seitz et al. y 6.834.160, otorgada a Cheng-Lung et al. El mecanismo principal en '743 es una salida de liberación automática de vapor para asegurar que los sensores de temperatura detectan la temperatura del líquido. Este mecanismo claramente no funciona una vez que el calentador se ha drenado para su mantenimiento o para periodos sin uso. En '822, se utilizan sensores de nivel de líquido. Sin embargo, estos son efectivos solo en una orientación del montaje del calentador. '578 proporciona dos orificios entre dos cámaras de calentamiento para asegurar que el agua entra en las dos cámaras más o menos por igual, evitando así que uno de los elementos calefactores en una de las cámaras pueda sobrecalentarse mientras la otra está llenándose con agua. Un conmutador de detección de flujo se utiliza igualmente para evitar aplicar potencia a menos que se detecte flujo de agua. Sin embargo, un conmutador de detección de flujo generalmente es costoso y no es fiable. '558 utiliza la combinación de un detector de flujo sofisticado y de sensores de temperatura, uno para regular la temperatura, el otro para detectar un estado de sobrecalentamiento. El detector de flujo utiliza un émbolo que está limitado a moverse verticalmente, limitando así la instalación del calentador tan solo en una orientación. Además, como se describió, está sometido a agarrotamiento y a quedar atascado en una posición, incluyendo posiblemente en una posición que indica la existencia de flujo de agua cuando no hay tal. Esta solución es costosa, poco fiable y adolece de los mismos problemas que '896. '880 proporciona conmutadores de limitación de alta temperatura. Estos no están operativos cuando no hay una trayectoria térmica de alta conductividad térmica entre calefactores y los conmutadores, tal como cuando el calentador se encuentra sin agua. Las patentes '971 y '831 proporcionan conmutadores de sobrecalentamiento, sufriendo así las desventajas anteriormente mencionadas.

Otra desventaja de calentadores de líquido que utilizan elementos calefactores eléctricos del tipo de resistencia es que los propios elementos tienen una masa térmica y una resistencia térmica sustanciales. Esto crea el problema de cómo gestionar el calor latente (el calor que todavía no ha escapado) de los elementos cuando el caudal de líquido se reduce abruptamente a cero o casi cero. Este calor latente debe ser absorbido por el líquido que rodea los elementos. Sin embargo, hacer esto aumenta la temperatura del líquido circundante, posiblemente hasta un nivel indeseado. Así pues, el volumen de las cámaras de calentamiento debe aumentarse para evitar el sobrecalentamiento de líquido, por ejemplo, para evitar el escaldado si el calentador de líquido es un calentador doméstico de agua sanitaria. Es necesario asimismo estabilizar el funcionamiento de cualquier bucle de control de temperatura o de lo contrario tendrán lugar grandes variaciones en la temperatura del líquido calentado. Sin embargo, estas cámaras de calentamiento más grandes dificultan responder a cambios de demanda, especialmente cuando el caudal de agua arranca desde cero.

Como se mencionó anteriormente, se tienden a formar depósitos sobre los elementos calefactores. Seitz divulga en '880 que la cantidad de depósitos minerales es una función de la temperatura máxima del elemento calefactor y por tanto lo deseable de proporcionar potencia a los elementos calefactores como función de la potencia necesaria para calentar el agua que pasa a través del calentador divulgado para minimizar tales depósitos. En la patente '558, White Jr. identifica asimismo un motivo diferente para hacer esto: minimizar las fluctuaciones de tensión de alimentación debidas a demandas de potencia del calentador que pueden provocar el parpadeo de las luces. Desafortunadamente, los mejores dispositivos semiconductores para controlar la corriente de calentadores de agua alimentados eléctricamente son esencialmente conmutadores (pueden ser abiertos y cerrados, pero no proporcionan medios para regular la corriente), haciendo así que esto sea un problema significativo. White Jr. aborda esto incorporando múltiples elementos calefactores de igual tamaño. Sin embargo, esto solo reduce la magnitud de las variaciones potenciales de la tensión de alimentación en un factor del número de elementos calefactores, en el caso de su ejemplo, cuatro. La patente '880 se hace eco de esta aproximación. Seitz, en las patentes '971 y '831, divulga diversos procedimientos para minimizar las variaciones de alimentación provocadas por variaciones en la demanda de potencia del calentador y el parpadeo visible de luces y la interferencia eléctrica resultantes de las mismas. Estos procedimientos se refieren generalmente al uso de elementos calefactores múltiples y al temporizado de la aplicación de potencia a los mismos de modo que se minimicen las fluctuaciones de corriente de alimentación, o para hacer que esas fluctuaciones de la alimentación sean tales que no se perciban fácilmente. Esto conduce a una complejidad de diseño relativamente elevada y a un coste de fabricación correspondientemente elevado.

La alternativa predominante a utilizar elementos calefactores para calentar el líquido es pasar una corriente eléctrica a través del líquido haciéndola pasar entre dos electrodos entre los que existe una tensión. La tensión es preferiblemente una tensión de corriente alterna de modo que se evite la electrólisis del líquido. Este procedimiento se conoce como calentamiento por resistencia eléctrica directa (DER). Probablemente la aplicación más común de esta aproximación (aunque relativamente tosca) es en vaporizadores utilizados para humidificar el ambiente de una habitación. Un motivo para la popularidad de esta aproximación es que es intrínsecamente segura: no puede fluir corriente eléctrica si no hay líquido entre los electrodos.

Un ejemplo de un calentador de líquido DER se divulga en la patente estadounidense 6.130.990, otorgada a Herrick et al. para su uso en un dispensador de bebidas. Se divulgan las ventajas de "una transferencia rápida y eficiente de energía eléctrica al agua como energía térmica a la vez que se reducen las pérdidas energéticas asociadas con procedimientos de calentamiento indirecto". Una de las desventajas del procedimiento DER, sin embargo, es que la cantidad de corriente eléctrica extraída por el líquido entre los electrodos y por tanto la cantidad de calor suministrada al líquido, está determinada por la conductividad eléctrica del líquido, un parámetro que puede variar bastante ampliamente, por ejemplo de 10 a 1. Un procedimiento para controlar la temperatura contemplado en esta patente es variando el caudal de agua. Otro es variando la potencia eléctrica suministrada al agua, lo que requeriría variar la tensión de alimentación. Un tercero implica ajustar mecánicamente la distancia entre los electrodos. Es evidente que abarcar tal amplio intervalo de conductividades del líquido por cualquiera de estos procedimientos es bastante difícil. De hecho, los autores de la invención contemplan la posibilidad de tratar el agua con minerales antes de su paso a través del calentador con el fin de aumentar la conductividad del agua. En la patente estadounidense 6.522.834 otorgada asimismo a Herrick et al., que es una continuación parcial de la patente '990, se introduce específicamente un nuevo elemento, un suministrador de potencia, para superar este problema. Esencialmente, se trata de un convertidor de potencia que recibe potencia de una fuente de alimentación convencional (por ejemplo, 220 VAC @ 60 Hz) y la convierte de tal modo que la tensión de salida es ajustable y que puede tener un intervalo de frecuencias de 50 Hz a 200 kHz. Esto estaba motivado aparentemente por la necesidad de abarcar el amplio intervalo de conductividades del agua y la falta de adecuación de los otros procedimientos anteriormente mencionados. La patente estadounidense 6.640.048, otorgada a Novotny et al., divulga un calentador de líquido DER que proporciona otro mecanismo de ajuste que aborda el amplio intervalo de conductividades del líquido. Este varía mecánicamente el área de los electrodos (y la distancia efectiva entre ellos) interponiendo de modo ajustable entre los electrodos una placa de control de corriente eléctricamente no conductora, ajustando así la conductancia eléctrica de la zona de calentamiento que comprende los electrodos y el líquido entre ellos. Sin embargo, no se divulga el intervalo de capacidad de ajuste del dispositivo. Además, el ajuste mecánico implica el traspaso de movimiento a través de un líquido a una barrera de aire, algo que es difícil de conseguir fiablemente y con bajo coste.

Los calentadores de líquido DER deben abordar asimismo otras dificultades que son comunes con calentadores que utilizan elementos calefactores eléctricos de tipo resistencia. Como ejemplo de estos es el uso de un conmutador de flujo para controlar la aplicación de potencia al calentador. Los conmutadores de flujo se caracterizan generalmente por un umbral de caudal, por debajo del que no indican un flujo, aunque puede estar presente un bajo flujo. Esto permite que líquido sin calentar abandone el calentador en caudales bajos (a diferencia de calentadores convencionales del tipo tanque) y tiende a generar un retraso entre el momento en que se demanda flujo de líquido y el momento en el que el líquido totalmente calentado se suministra finalmente, creando así un desperdicio de líquido. Esto, junto con la presencia de limitaciones de orientación, funcionamiento no fiable y coste, debe ser superado en un dispositivo de calentamiento de líquido sin depósito que satisfaga los objetivos citados anteriormente. Adicionalmente, deben ser superadas las dificultades anteriormente mencionadas asociadas con la

gestión de calor latente, el diseño y operación de bucles de control de temperatura, formación de depósitos y minimización de las variaciones en la alimentación y el parpadeo de luces correspondiente.

Un calentador de líquido de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1 se conoce del documento EP 0 239 928 A2.

Un calentador de líquido similar se describe en el documento EP 0 170 489 A2.

Ambos calentadores de líquido comprenden una pluralidad de electrodos que definen canales entre ellos. Puesto que los electrodos tienen la misma distancia, todos los canales tienen la misma anchura.

### Breve descripción de la invención

En la presente invención, estas y otras dificultades, como será aparente, se superan en un calentador de líquido de resistencia eléctrica directa que tiene muchos aspectos únicos y no divulgados anteriormente. Un calentador de líquido de acuerdo con la presente invención se establece en la reivindicación 1.

Detalles de la invención se proporcionan a continuación con referencia a las figuras adjuntas.

### Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es un dibujo esquemático de la cámara de calentamiento de líquido DER, incluyendo la entrada, salida, conjunto de electrodos y los canales a través de los que pasa el líquido. La fuente de alimentación y la matriz de conmutadores se muestran igualmente.

La figura 2 es un esquema más detallado de la matriz de conmutadores.

La figura 3 es un gráfico que muestra la distribución de niveles de corriente eléctrica relativos para diversas configuraciones de la matriz de conmutadores cuando los electrodos están espaciados por igual.

La figura 4 es un gráfico que muestra niveles de corriente relativa para una selección de configuraciones de la matriz de conmutadores con electrodos espaciados de modo óptimo.

La figura 5 es un diagrama de bloques funcionales del calentador de líquido DER que incluye un sensor de corriente, un elemento de detección de temperatura y un controlador.

### Descripción detallada de la invención

La figura 1 muestra elementos esenciales de la presente invención. Una cámara 1 de calentamiento de líquido se muestra comprendiendo una entrada de líquido 2, una pluralidad de electrodos 4 (el conjunto de electrodos), definiendo los electrodos una pluralidad de canales, los espacios entre los electrodos, a través de cada uno de los cuales fluye el líquido desde la entrada de líquido 2 a la salida del líquido 3, calentándose el líquido cuando fluye a través de los canales y se aplica una tensión entre los electrodos. Por claridad, la cámara de calentamiento de líquido se muestra con un fondo aunque sin parte superior, de modo que los electrodos y los canales definidos por ellos puedan verse más claramente. Los electrodos 4 se muestran en la figura 1 como teniendo un espaciado no uniforme o desigual, lo que se explicará más adelante. Los electrodos 4 se conectan mediante conexiones 5 a una matriz de conmutadores 6, mediante la que se comunica una potencia eléctrica de corriente alterna 7 a los electrodos. Los electrodos 4 son delgados con relación a la anchura de los canales. Los electrodos 4 son preferiblemente más delgados que la anchura del canal más estrecho. Esto minimiza la cantidad de calor latente que puede ser almacenado en los electrodos y proporciona algo de equilibrio del calentamiento en la cámara de calentamiento, ya que el calor generado en un canal puede ser comunicado a través de los electrodos a canales contiguos.

La figura 1 muestra igualmente algunos aspectos que son ejemplares y no deben ser considerados como limitativos. Por ejemplo, los electrodos se muestran como planos y paralelos. Esto no limita el ámbito de la invención. Por ejemplo, los electrodos pueden ser secciones de cono de diferentes radios, situadas coaxialmente de tal modo que se forma la pluralidad de canales requerida (en este caso los canales serán asimismo cónicos) y está dentro del ámbito de la presente invención. Cualquier configuración geométrica de electrodos no conectados eléctricamente que defina una pluralidad de canales a través de los que puede pasar un líquido desde la entrada de líquido 2 a la salida del líquido 3 y que proporcione una trayectoria eléctricamente conductora entre los dos electrodos más extremos cuando un líquido eléctricamente conductor está en los canales y los electrodos interpuestos no están conectados eléctricamente se encuentra dentro del ámbito de la presente invención.

La figura 2 muestra los detalles de la matriz de conmutadores 6 y sus conexiones a la fuente de alimentación 7. Se muestran dos conmutadores 8 para cada conexión 5 a los electrodos, uno de los dos conmutadores conectado a un lado o fase de la fuente de alimentación de corriente alterna 7 y el otro de los dos conmutadores conectado al

segundo lado o fase de la fuente de alimentación de corriente alterna 7. Sin embargo, una fuente de alimentación multifásica puede ser utilizada con tantos conmutadores por conexión 5 como fases existentes de la fuente de alimentación. Por ejemplo, con una fuente de alimentación trifásica, puede haber hasta tres conmutadores por conexión 5. Todos los conmutadores 8 son operables individualmente por sus señales de control 9 respectivas. Los conmutadores 8 son cualquier tipo de conmutadores operables eléctricamente, es decir, un conmutador que utiliza una señal eléctrica de entrada para operar el conmutador. Ejemplos de conmutadores adecuados incluyen relés y más preferiblemente, conmutadores de semiconductor tales como triacs.

En funcionamiento, los conmutadores se cierran selectivamente por un controlador, situando así la tensión de alimentación entre electrodos. La potencia suministrada para calentar el líquido entre los electrodos, generalmente proporcional a la corriente extraída de la fuente de alimentación, es función de: 1) el espaciado entre los electrodos y 2) el número de parejas electrodos a las que se aplica potencia mediante conmutadores 7. La matriz de conmutadores 6 proporciona una gran flexibilidad a este respecto. Por ejemplo, cuando se requiere la corriente mínima, se cierra uno de los conmutadores 8 conectado eléctricamente a un primer electrodo más extremo 4 (uno de los dos que definen tan solo un canal), conectando así el electrodo a un primer lado de la fuente de alimentación y uno de los conmutadores 8 conectado eléctricamente con el electrodo más extremo opuesto (el electrodo más distante del primer electrodo más extremo) se cierra, de tal modo que se conecta a un segundo lado de la fuente de alimentación. Todos los otros conmutadores 8 permanecen abiertos y por lo tanto los electrodos 4 interpuestos entre los electrodos más extremos permanecen no conectados eléctricamente. Esto sitúa la máxima distancia entre el electrodo al que se puede conectar la fuente de tensión, provocando así que la conductancia eléctrica entre las células se minimice, e igualmente la corriente eléctrica y por lo tanto la potencia suministrada al líquido para calentamiento se minimice igualmente. Es posible aumentar la corriente eléctrica conectando la fuente de alimentación a un electrodo por medio de uno de los conmutadores 8 que está físicamente y más cerca del primer electrodo. Así pues, la presente invención prevé el ajuste de la corriente y la potencia suministrada para calentamiento, de acuerdo con la separación entre los electrodos a los que se aplica la tensión.

Aplicar la tensión de la fuente de alimentación 7 por medio de conmutadores 8 entre dos electrodos contiguos maximiza la cantidad de corriente eléctrica que pasa a través del canal definido por ellos. Es posible igualmente ajustar la potencia de calentamiento del líquido aplicando la tensión de la fuente de alimentación 7 a una o más parejas de electrodos contiguos. Así pues, además de ajustar la potencia de calentamiento de líquido basándose en la distancia entre los electrodos a los que se aplica tensión, se prevé el ajuste de la potencia de calentamiento de líquido total controlando el número de parejas de electrodos que se conectan simultáneamente a la fuente de alimentación a través de la matriz de conmutadores 6. El uso concurrente de ambos procedimientos para controlar la potencia de calentamiento proporciona un abanico mucho mayor de control de la potencia de calentamiento del líquido de lo que podría conseguirse por cualquier método por sí mismo y proporciona por lo tanto un modo por el que superar la dificultad de un gran intervalo de conductividades eléctricas del líquido y caudales de líquido.

Será aparente para los expertos en la técnica que hay un gran número de posibles combinaciones de posiciones de conmutador o configuraciones de conmutador, es decir, dos elevado al número de conmutadores. Es aparente asimismo que algunas de estas configuraciones de conmutadores no son útiles. Por ejemplo, no es útil cerrar un conmutador conectado a un electrodo que provoca que este esté conectado al mismo lado de la fuente de alimentación al que se conectan electrodos a ambos lados del mismo, ya que esto no realizan ninguna función útil debido a que no existe ningún campo eléctrico generado entre los electrodos y por lo tanto no fluye corriente a través del electrodo conectado al conmutador. Adicionalmente, no es útil cerrar simultáneamente dos conmutadores conectados al mismo electrodo, ya que esto simplemente cortocircuitará la fuente de alimentación. Los conmutadores son asimismo componentes relativamente costosos, de modo que es deseable minimizar su número. Por lo tanto, es deseable minimizar el número de conmutadores y combinaciones de conmutadores utilizados. Más preferiblemente, hay un conmutador por el electrodo, conectando los conmutadores los electrodos a diferentes terminales de la fuente de alimentación en un patrón de todos contra todos, o si existen solo dos terminales de alimentación, en un patrón alternante. Una matriz de conmutadores 6 que comprende un conmutador por electrodo puede proporcionar normalmente un número adecuado de configuraciones de conmutador y niveles de corriente correspondientes. Sin embargo, puede haber situaciones en las que aumentar el número de configuraciones del conmutador es lo suficientemente valioso para justificar poblar completamente o más completamente la matriz de conmutadores 6 con más o con todos los números posibles de conmutadores para realizar conexiones eléctricas entre los electrodos y la fuente de alimentación.

Aunque el uso de una pluralidad de electrodos 4, la pluralidad de canales y la matriz de conmutadores 6 asociada ha demostrado proporcionar una razón elevada entre las corrientes máxima y mínima y niveles de potencia de calentamiento, esto no es suficiente para hacer que un calentador de líquido DER satisfaga los objetivos de esta invención. Proporcionar un espaciado uniforme entre los electrodos 4 (proporcionar anchuras de canal iguales) no produce puntos operativos de corriente uniformemente espaciados entre las configuraciones de matriz de conmutadores. La figura 3 muestra la distribución de niveles de corriente relativa para un calentador de líquido DER que comprende 17 electrodos con espaciados iguales entre los electrodos 4. Aunque se consigue un intervalo de corrientes 250:1 más que adecuado, hay una gran porción de este intervalo para la que no existe ninguna configuración de conmutadores que pueda proporcionar una corriente intermedia. En este ejemplo, hay un intervalo de corrientes 20 a 1 para el que no hay disponible ninguna configuración de conmutadores. Es imposible obtener,

por ejemplo, una corriente que sea el 25% de la corriente máxima. Este nivel de corriente es uno que podría ser bastante útil si el caudal de líquido se reduce a un 25% o si la conductividad del líquido es cuatro veces la conductividad mínima de líquido. No tener este nivel de corriente significa que el nivel de corriente del 25% promedio tiene que conseguirse formando un ciclo entre dos niveles de corriente que son bastante diferentes y que por lo tanto pueden crear fluctuaciones en la alimentación y consecuentemente parpadeo de luces. Así pues, el uso de electrodos espaciados uniformemente no satisface los objetivos de esta invención.

Utilizar electrodos espaciados no uniformemente de acuerdo con la invención supera esta dificultad. De acuerdo con la invención, la selección del espaciado entre electrodos es tal que se puede conseguir una selección configuraciones de la matriz de conmutadores 6 que produce escalones de corriente espaciados uniformemente de modo más o menos logarítmico. Un ejemplo de tales espaciados se discuten más adelante en la descripción de un modo de realización preferido de la invención. Los autores de la invención no conocen de ningún procedimiento mediante el que se puedan calcular analíticamente los espaciados entre electrodos óptimos y por lo tanto son incapaces de presentar tal procedimiento. Los espaciados entre electrodos adecuados se "descubrieron" utilizando un algoritmo genético de optimización que tenía como objetivo minimizar la razón de corrientes de escalón de corriente más grande. Otros procedimientos para determinar un conjunto adecuado de espaciados entre electrodos existen igualmente. En opinión de los autores de la invención espaciados adecuados de electrodos deben producir preferiblemente un tamaño máximo de escalón de corriente del 10% o menor de la corriente máxima y una razón máxima entre los dos niveles de corriente de cualquier escalón de 1,2, lo que sea menor, entre configuraciones seleccionadas de la matriz de conmutadores 6 con espaciados entre electrodos óptimos. Sin embargo, cualquier conjunto de espaciados entre electrodos y escalones de corriente que satisfaga los objetivos de la invención se pretende que esté dentro de su alcance.

Los conmutadores accionables eléctricamente comprenden preferiblemente conmutadores de semiconductor y más preferiblemente comprenden triacs. Dado su número, es probable que el coste de los triacs comprenda una porción significativa del coste de piezas del calentador de líquido. El coste de los triacs está relacionado con la corriente máxima que pueden gestionar: triacs de capacidad de corriente elevada cuestan más. Por lo tanto es deseable minimizar los requerimientos de corriente máxima para los triacs. Los autores de la invención han encontrado que solo optimizar el espaciado entre electrodos para el tamaño de escalón de corriente no produce automáticamente un conjunto de espaciados entre electrodos que produzca asimismo la corriente de triac máxima más baja. Sin embargo, los autores de la invención han descubierto que, utilizando el mismo algoritmo genético de optimización, añadiendo el objetivo adicional de una corriente de triac máxima, es posible generar espaciados entre electrodos que satisfagan simultáneamente los requerimientos de tamaño de escalón de corriente y los requerimientos de corriente de triac máxima. Por consiguiente, un requerimiento de corriente de triac máxima (de modo que se puede utilizar el triac de coste más bajo) y requerimientos de tamaño de escalón de corriente se satisfacen simultáneamente mediante la selección de los espaciados entre electrodos. La figura 4 muestra las corrientes relativas obtenidas de una selección de configuraciones de conmutador con un conjunto optimizado de espaciados entre electrodos. Con estos espaciados, se ha conseguido la limitación de una corriente de triac máxima, el intervalo de corrientes proporcionado es de 308 a 1 y la razón de escalón de corriente promedio es, aproximadamente, 1,10 y la razón de escalón de corriente máxima es de 1,22. El intervalo de control de corriente y los tamaños de escalón son más que adecuados para controlar estrechamente la temperatura del líquido calentado sin provocar cambios excesivos en la carga de alimentación y el correspondiente parpadeo de las luces. Adicionalmente, los espaciados entre electrodos hacen posible el funcionamiento del calentador de líquido a una corriente que se aproxima bastante (5% nominalmente, 10% en el peor caso) a una corriente de referencia, siendo la corriente de referencia la corriente máxima que puede extraer el calentador de líquido, sin tener que conmutar rápidamente entre niveles de corriente bastante diferentes (con el fin de conseguir la corriente de referencia en promedio) y provocar así el parpadeo de luces anteriormente mencionado.

Un ejemplo de la invención se discutirá a continuación. El calentador DER de este ejemplo se diseñó para calentar agua con conductividades de 200  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  con caudales de 2,3 l (0,6 galones) por minuto a 9,5 l (2,5 galones) por minuto y funcionando mediante una alimentación de 220 VAC. Se trataba de un punto estándar de uso de calentadores de agua para aplicaciones domésticas. Comprendía 17 electrodos de 0,9 mm de grosor por 340 mm de longitud. La altura de canal, es decir, la altura de los electrodos expuesta al líquido (que puede ser menor que la altura física real de los electrodos con el fin de permitir el montaje de los mismos) era de 8,6 mm. El conjunto de electrodos comprendía electrodos numerados secuencialmente con los siguientes espaciados entre electrodos:

5,49 mm  
1,49 mm  
5,76 mm  
6,22 mm  
1,19 mm  
5,77 mm  
3,82 mm  
5,04 mm  
5,37 mm  
3,15 mm

6,78 mm  
6,12 mm  
5,49 mm  
6,91 mm  
3,69 mm  
5,11 mm

5

10

entre electrodos numerados como 1 y 2, 2 y 3, 3 y 4 respectivamente hasta electrodos numerados como 16 y 17. Estas dimensiones y espaciados entre electrodos dieron como resultado un calentador de líquido DER que tiene los puntos de control de corriente mostrados en la figura 4, en donde la corriente total máxima fue de 55 A y la corriente de triac máxima fue de 15,5 A cuando la conductividad del líquido estaba entre 200  $\mu\text{S/cm}$  y 1500  $\mu\text{S/cm}$  con una alimentación de 220 VAC.

15

En referencia a continuación a la figura 5 un dispositivo de medición de corriente 11 forma parte del calentador de líquido. Se comunica potencia de corriente alterna 7 a la matriz de conmutadores 6 por medio del dispositivo de medición de corriente 11. Una señal de corriente 13, indicativa de la corriente medida por el dispositivo de medición de corriente 11, se comunica al controlador 10. El dispositivo de medición de corriente 11 y la señal de corriente 13 se utilizan por el controlador 10 para responder a la corriente medida ajustando la configuración de la matriz de conmutadores 6 de tal modo que la corriente medida no supere a la corriente de referencia. De este modo, puede ser controlada la máxima corriente extraída por el calentador de líquido DER, independientemente de la conductividad del líquido o la temperatura.

20

25

Adicionalmente, un elemento de detección de temperatura 12 se dispone al final de la cámara de calentamiento, antes de la salida 3 y genera una señal de temperatura 14 indicativa de la temperatura del líquido calentado. La señal de temperatura del líquido calentado 14 se comunica al controlador 10 que responde a la misma ajustando la configuración de la matriz de conmutadores 6 de tal modo que la temperatura del agua se mantenga tan cerca como sea posible de una temperatura de referencia, pero que, en cualquier caso, no la supere. La configuración de la matriz de conmutadores siempre se ajusta de tal modo que la corriente de referencia es prioritaria frente a la temperatura de referencia. En otras palabras, independientemente de la demanda de potencia para calentar el líquido a la temperatura de referencia, el controlador impide que se extraiga más corriente de la fuente de alimentación de corriente alterna 7 que la corriente de referencia.

30

35

Asimismo, se proporciona una fuente de alimentación (no mostrada) bien conocida en la técnica para convertir la alta tensión de corriente alterna de la fuente de alimentación 7 a una alimentación de corriente continua de baja tensión adecuada para proporcionar potencia al controlador 10 y a los otros elementos de control electrónico, según se requiera.

40

La matriz de conmutadores comprendía triacs, uno por electrodo, conectados a la fuente de alimentación de modo alternante, es decir, electrodos contiguos se conectaron a terminales opuestos de una fuente de alimentación de dos terminales.

45

El controlador comprendía un contador para controlar el nivel de potencia, en otras palabras, un contador de nivel de potencia, cuyo valor determinó el nivel de potencia aplicable a los electrodos 4 mediante la matriz de conmutadores 6. El funcionamiento del contador de nivel de potencia fue de acuerdo con el siguiente algoritmo que se ejecutó una vez cada ciclo de la forma de onda de alimentación:

50

si hay señal de corriente  $\geq$  valor de corriente predeterminado entonces se produce decremento en el contador de nivel de potencia

si no

si hay señal de temperatura = valor de temperatura predeterminado entonces no cambia el contador de nivel de potencia

si no

si hay señal de temperatura  $>$  valor de temperatura predeterminado entonces se produce decremento en el contador de nivel de potencia

55

si no

se produce incremento en el contador de nivel de potencia

60

El contador tenía un intervalo de valores que corresponde a los niveles de potencia entre cero y un nivel de potencia máxima. El algoritmo incorporó asimismo un mecanismo para asegurar que el intervalo de funcionamiento del contador no se excedía.

Los valores del contador se convierten en señales de control de la matriz de conmutadores 9 mediante cualquier medio adecuado. Para el presente ejemplo, se utilizó la siguiente tabla de referencia:

nivel de potencia	SW17	SW16	SW15	SW14	SW13	SW12	SW11	SW10	SW9	SW8	SW7	SW6	SW5	SW4	SW3	SW2	SW1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
2	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
6	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
7	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
10	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
12	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
13	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
15	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
17	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
18	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
19	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
20	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
21	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
22	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0
24	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
25	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
26	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
27	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
28	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1
29	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
30	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
31	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
32	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
33	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0



nivel de potencia	(continuación)																
	SW17	SW16	SW15	SW14	SW13	SW12	SW11	SW10	SW9	SW8	SW7	SW6	SW5	SW4	SW3	SW2	SW1
34	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0
35	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1
36	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1
37	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1
38	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0
39	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1
40	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0
41	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0
42	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1
43	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1
44	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1
45	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0
46	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1
47	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1
48	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1
49	0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1
50	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1
51	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1
52	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1
53	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0
54	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0
55	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0
56	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1
57	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1
58	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1
59	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0
60	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0
61	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	0
62	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1
63	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1
64	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
65	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

donde "0" significa que el conmutador estaba operativamente abierto y "1" significa que el conmutador estaba operativamente cerrado y SW1 a SW17 se refiere a los conmutadores conectados a electrodos 1 al 17, respectivamente. A un nivel de potencia 0, todos los conmutadores 6 estaban abiertos y no se aplicaba potencia para calentar el líquido. Al nivel de potencia 65, todos los conmutadores 6 estaban cerrados y se aplicaba la potencia máxima para calentar el líquido. Los niveles de potencia intermedios corresponden a los niveles de corriente relativa mostrados en la figura 4. Para muchos de los niveles de potencia, la selección de la configuración de la matriz de conmutadores 6 no es única. A veces existen otras configuraciones de matriz de conmutadores que producen corrientes idénticas o similares. De hecho, la elección de corriente relativa para cualquier nivel de potencia es en cierto modo arbitraria ya que, para muchos niveles de potencia, existen niveles de potencia menores o mayores que pueden conseguirse con otras combinaciones de conmutadores que son tan cercanas al nivel de potencia seleccionado que son esencialmente equivalentes. En general, las elecciones que se hicieron en la tabla ejemplar estaban motivadas por el deseo de implicar tantos electrodos como fuera posible en el calentamiento de líquido a cualquier nivel de potencia dado o implicar la mayor anchura de la zona de calentamiento, definida por la distancia entre los dos electrodos a los que se aplica potencia. Sin embargo, se pueden aplicar otros compromisos a la elección de niveles de potencia y configuraciones de conmutadores que podrían cambiar la selección de entradas en la tabla de referencia. Además, es posible asimismo que un nivel de potencia en la tabla de referencia corresponda a más de una entrada, tal como en una lista enlazada. En este caso, es posible que el controlador forme un ciclo a través de las diversas entradas para un nivel de potencia dado de modo que se distribuya posiblemente de modo más homogéneo el calor en la cámara de calentamiento. Así pues, la tabla de referencia anterior pretende ser meramente ejemplar.

Un valor del nivel de potencia se aumenta o disminuye de acuerdo con la corriente medida y la temperatura medida de tal modo que la corriente medida se mantiene a un nivel inferior o igual a la corriente de referencia y tal que, cuando sea posible, la temperatura medida del líquido se mantenga a la temperatura de referencia y el valor del nivel de potencia se convierta en configuraciones de la matriz de conmutadores 6 tales que suministren la potencia de calentamiento deseada al líquido. El valor del nivel de potencia puede ser cualquier valor representable electrónicamente, por ejemplo, un número digital, una tensión analógica o una corriente analógica y la traducción del valor del nivel de potencia a una configuración de matriz de conmutadores se realiza mediante cualquier mecanismo adecuado.

El algoritmo se ejecutó una vez por cada ciclo de la fuente de alimentación de corriente alterna 7 y se causó así que la máxima tasa de cambio de la carga a la fuente de alimentación sea nominalmente un 10% por ciclo. Costó 65 ciclos efectuar un cambio de corriente de corriente cero a corriente máxima (alrededor de un segundo para una fuente de alimentación de 50 Hz o 60 Hz). Esta baja tasa de cambio elimina esencialmente fluctuaciones de la tensión de alimentación que pueden conducir al parpadeo de luces; aun así, debido a las pequeñas razones de escalón de corriente que permiten que el sistema encuentre un nivel de potencia óptimo, esto fue lo suficientemente rápido para regular la temperatura del líquido. Además, los triacs se cerraron operativamente al cruzar la forma de onda de alimentación el cero, como es conocido y convencional, creando así virtualmente ninguna interferencia electromagnética o de radiofrecuencia y eliminando la necesidad de componentes de filtrado adicionales. Adicionalmente, siempre se presentó una carga resistiva óptima a la fuente de alimentación.

En un modo de realización que no forma parte de la invención, el elemento de detección de temperatura 12 comprende una placa de detección de temperatura perforada térmicamente conductora, un sensor de temperatura basado en una unión de semiconductor y un acondicionador de señal de temperatura. La placa se sitúa tan cerca como sea practicable del final de la cámara de calentamiento y perpendicular al flujo de líquido de tal modo que el líquido que abandona la cámara de calentamiento debe pasar a través de las perforaciones en la placa de detección de temperatura. Asumiendo que la placa es conductora eléctricamente, el límite de cómo de cerca se puede situar la placa a los extremos de los electrodos se basa en que la placa no interfiera con la operación de calentamiento normal de los electrodos. Se puede utilizar una placa adecuada no conductora eléctricamente. En este caso, puede ser deseable alinear las perforaciones de la placa con canales definidos por los electrodos 4 y colocarla inmediatamente en el extremo de salida de los canales definidos por los mismos. Existen dos objetivos que consigue el diseño de la placa de detección de temperatura y su colocación. El primero es que la temperatura del líquido en la cámara de calentamiento se detecte de modo preciso, incluso aunque no haya flujo de líquido. El segundo es que, incluso en presencia de burbujas de gas e independientemente de la orientación del calentador, la temperatura del líquido que fluye desde la salida 3 se detecte de modo preciso.

Aunque se pueden utilizar adecuadamente termistores o uniones de termopar como el sensor de temperatura, se prefiere una unión de semiconductor, tal como un diodo o una unión de base-emisor de un transistor por razones de bajo coste, fácil disponibilidad y elevado grado de repetitividad que elimina la necesidad de calibración. La unión de semiconductor puede ser un componente distinto o incorporado como parte de un circuito integrado mayor que puede contener asimismo parte o todo el acondicionador de señal de temperatura. El acondicionador de señal de temperatura convierte las tensiones del sensor de temperatura en una señal de temperatura adecuada para el controlador. Adicionalmente, compensa al menos parcialmente el retraso térmico observado entre la temperatura del líquido calentado y la detectada por el sensor térmico debido a la combinación de resistencia térmica de la placa térmica y el encapsulado del sensor térmico y la masa térmica de los mismos. Este acondicionamiento es bien conocido en la técnica e implica típicamente crear una señal representativa de la tasa de cambio de la temperatura

como medida por el sensor de temperatura y sumarla con la señal que representa la temperatura como medida por la temperatura. Esta compensación ayuda a estabilizar el funcionamiento del bucle de control de temperatura. El acondicionador de señal de temperatura puede existir igualmente parcial o totalmente dentro del controlador si esto es más adecuado. En cualquier caso, lo más deseable es que la señal de temperatura comunicada a la porción del controlador que implementa el procedimiento para seleccionar el nivel de potencia sea una indicación de la temperatura real del líquido tan precisa como sea posible.

En otra característica del ejemplo, los conmutadores de semiconductor 8 se conectaron eléctrica y térmicamente a los electrodos 4 de modo que proporcionen simultáneamente conexiones 5 tanto para corriente eléctrica procedente de los conmutadores de semiconductor 8 a los electrodos 4 y para el calor generado en los conmutadores de semiconductor 8 al líquido entrante por medio de los electrodos 4. Cada conexión 5 se situó en o cerca del extremo del electrodo más próximo a la entrada 2 en donde líquido está relativamente frío. Esto requiere electrodos 4 que sean a la vez altamente conductores de la electricidad y conductores de la temperatura. Preferiblemente, las conductividades eléctrica y térmica de los electrodos son iguales o mayores que las del aluminio. Los conmutadores de semiconductor 8 se encapsularon en un encapsulado que tiene una superficie conductora térmica y eléctricamente que puede aplicarse directamente al electrodo o a un elemento del electrodo para realizar la conexión 5, en este ejemplo, el encapsulado JEDEC TO-200. Este encapsulado proporciona una superficie plana relativamente grande que ha sido diseñada para comunicar el calor generado por el dispositivo semiconductor encapsulado dentro del mismo a un sumidero de calor al que está generalmente unido. En muchos casos y un requerimiento de este elemento, la superficie plana conductora del calor del encapsulado TO-200 (o cualquier otro encapsulado adecuado) está conectada asimismo a un terminal principal del conmutador de semiconductor 8, un terminal principal que es un terminal no dedicado a controlar el funcionamiento del conmutador 8, sino antes bien uno a través del que pasa la corriente conmutable. La conexión se realiza de cualquier modo adecuado tal que las conductancias eléctrica y térmica a través de la conexión 5 sean adecuadas para un buen rendimiento. Lo más preferible es una conexión que esté bajo compresión mecánica. En el presente ejemplo, la compresión mecánica se efectuó con una sujeción de muelle y las conexiones realizadas entre los encapsulados TO-200 y pestañas de los electrodos que atravesaban el alojamiento de la cámara de calentamiento a los efectos de realizar las conexiones 5 a la matriz de conmutadores 6.

Por razones de maximizar la vida útil del calentador, los electrodos son mecánicamente robustos y resistentes a la corrosión. Preferiblemente, los electrodos comprenden carbono. Más preferiblemente, los electrodos comprenden una combinación de grafito y polímero y/o elastómero. El polímero y/o elastómero comprende tan solo un pequeño porcentaje del volumen total del electrodo y se utiliza principalmente a los efectos de unirse al grafito. El grafito es más preferiblemente grafito orientado con una orientación tal que tenga su conductividad eléctrica y térmica más elevada en el plano del electrodo. Esta composición del electrodo satisface las necesidades de conductividad eléctrica y térmica y proporciona asimismo un electrodo que es en buena medida inmune a la corrosión electroquímica. Tales electrodos pueden ser fabricados por cualquier procedimiento adecuado. Se pueden utilizar electrodos metálicos, aunque no son preferidos debido a la mala resistencia a la corrosión. Electrodos de plástico conductor de la técnica actual no son adecuados debido a que no consiguen las conductividades eléctricas y térmicas requeridas. Sin embargo, esto puede cambiar en el futuro y como tales, electrodos de tal composición se pueden utilizar si proporcionan conductividades eléctrica y térmica adecuadas y resistencia a la degradación en presencia de líquido. Los electrodos pueden comprender elementos o materiales adicionales de modo que proporcionen todas las propiedades requeridas de buen rendimiento y vida útil.

Se apreciará por los expertos en la técnica que para un conjunto dado de espaciados entre electrodos y un canal de electrodo deseado que define un área, que fija las conductancias eléctricas de los canales, existe un intervalo infinito de dimensiones de electrodo que calentaría simplemente el líquido y satisface los requerimientos ya citados. Minimizar la formación de depósitos en los electrodos, prolongando así la vida útil del calentador, se puede conseguir ajustando la velocidad promedio del flujo de líquido en los canales de tal modo que sea al inicio de turbulencias. El procedimiento de cálculo de la velocidad de inicio de turbulencias para un canal de dimensiones y sección transversal definidas es bien conocido y no se discutirá aquí. La velocidad de flujo de líquido es una función de la altura del canal, con alturas menores dando mayores velocidades de flujo de líquido para un caudal volumétrico dado. Así pues, satisfacer las limitaciones de la altura de electrodo, por el motivo de obtener la velocidad de flujo de líquido requerida para un caudal volumétrico deseado y el canal de electrodo que define un área, con el fin de conseguir la conductancia eléctrica de canal deseada, fija las dimensiones de electrodo óptimas. Estas dimensiones de electrodo son únicas en el sentido de que no hay otras dimensiones de electrodo que satisfagan simultáneamente todos los requerimientos de un modo de realización preferido de la invención. Las dimensiones de electrodo del ejemplo satisfacen estos requerimientos. Se indica, sin embargo, que la velocidad para el inicio de turbulencias no es un número singular, sino un intervalo, ya que la propia turbulencia no es estrictamente una cantidad o cualidad binaria. Así pues, las dimensiones óptimas de electrodo caerán dentro de un intervalo estrecho determinado tanto por el intervalo de velocidades asociado con el inicio de turbulencias como con otros parámetros asociados con el diseño global del calentador de líquido.

Es conocido en calentadores DER que, en ausencia de electrodos para recogerla, se puede crear corriente eléctrica de fugas. Generalmente, esta es de pequeña magnitud, pero por razones de seguridad, debe ser esencialmente eliminada. Un modo de realización que no forma parte de la invención incluye asimismo dos electrodos de recogida

de corriente de fugas, uno entre la entrada de líquido 2 y la cámara de calentamiento y el otro entre la cámara de calentamiento y la salida del líquido 3. Estos están conectados eléctricamente a una tensión eléctricamente neutra. Estos electrodos pueden ser de diseño similar a los electrodos utilizados para calentar el líquido o comprender cualquier conductor eléctrico que sea adecuadamente resistente a la corrosión. Se diseñan y sitúan de modo que maximicen el área superficial de contacto entre el líquido y los electrodos y preferiblemente centrados en cualquier canal definido por las paredes de la vasija del calentador asociadas con la entrada 2 y la salida 3. La longitud de los electrodos de corriente de fugas es al menos el doble y preferiblemente 10 o más veces la distancia más grande entre el electrodo y la pared de la vasija a lo largo de una línea trazada entre el electrodo y la pared de la vasija perpendicular al electrodo de corriente de fugas. Los autores de la invención han encontrado que proporcionar tales electrodos de corriente de fugas puede reducir la corriente de fugas por debajo de 1  $\mu\text{A}$ , bien por debajo de un valor que se considera que puede ser peligroso para seres humanos. Otras configuraciones de electrodos de corriente de fugas que consiguen esto son igualmente adecuadas.

No se menciona ningún dispositivo de medición de flujo como parte de esta invención. La combinación del elemento de detección de temperatura 12 preferido, los electrodos 4 óptimamente espaciados que proporcionan un intervalo de control de corriente amplio y la buena capacidad de ajuste de potencia, la matriz de conmutadores 6 y el controlador 10 son suficientes para controlar la temperatura del líquido para todas las velocidades de flujo, incluyendo cero y para todas las orientaciones del calentador de líquido DER. Además, el calentador de líquido DER de esta invención es capaz de proporcionar virtualmente disponibilidad instantánea de líquido calentado debido a que mantiene el pequeño depósito de líquido dentro de su cámara de calentamiento a, o cerca de la temperatura de referencia y puede responder muy rápidamente a cambios de caudal de líquido debido al calor latente muy pequeño asociado con los electrodos 4 y a una rápida respuesta por el elemento de detección de temperatura 12. Así pues, se elimina en su mayor parte el desperdicio de líquido debido al suministro de líquido sin calentar.

**REIVINDICACIONES**

1. Un calentador de líquido que comprende:

5 una cámara (1) que tiene una entrada (2) y una salida (3); y  
al menos tres electrodos (4) dentro de dicha cámara (1) que definen una pluralidad de canales contiguos para  
el flujo de líquido desde dicha entrada (2) a dicha salida (3) por lo que el flujo de líquido se divide entre los  
canales, estando conectados los electrodos (4) mediante conexiones (5) a una matriz de conmutadores (6) por  
medio de la que se comunica una potencia eléctrica de corriente alterna (7) a los electrodos (4),  
10 caracterizado porque  
el espaciado entre los electrodos (4) no es uniforme y porque la selección del espaciado entre electrodos (4) es  
tal que se puede conseguir una selección de configuraciones de la matriz de conmutadores (6) que produce  
escalones de corriente espaciados uniformemente de modo más o menos logarítmico.

15 2. Un calentador de líquido de acuerdo con la reivindicación 1 que comprende además  
un controlador (16) que controla la conexión de dichos electrodos (4) a una fuente de alimentación eléctrica.

3. Un calentador de líquido de acuerdo con la reivindicación 2 que comprende además  
un sensor de temperatura (12) que detecta la temperatura del líquido.

20 4. Un calentador de líquido de acuerdo con la reivindicación 2 que comprende además  
un sensor de temperatura (12) que detecta la temperatura del líquido tras su paso a través de los canales.

5. Un calentador de líquido de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4,  
25 caracterizado porque  
la anchura de cada canal es distinta de la anchura de cada otro canal.

6. Un calentador de líquido de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5,  
caracterizado porque  
30 la potencia para calentar el líquido entre los electrodos (4) es una función de al menos el espaciado entre los  
electrodos (4).

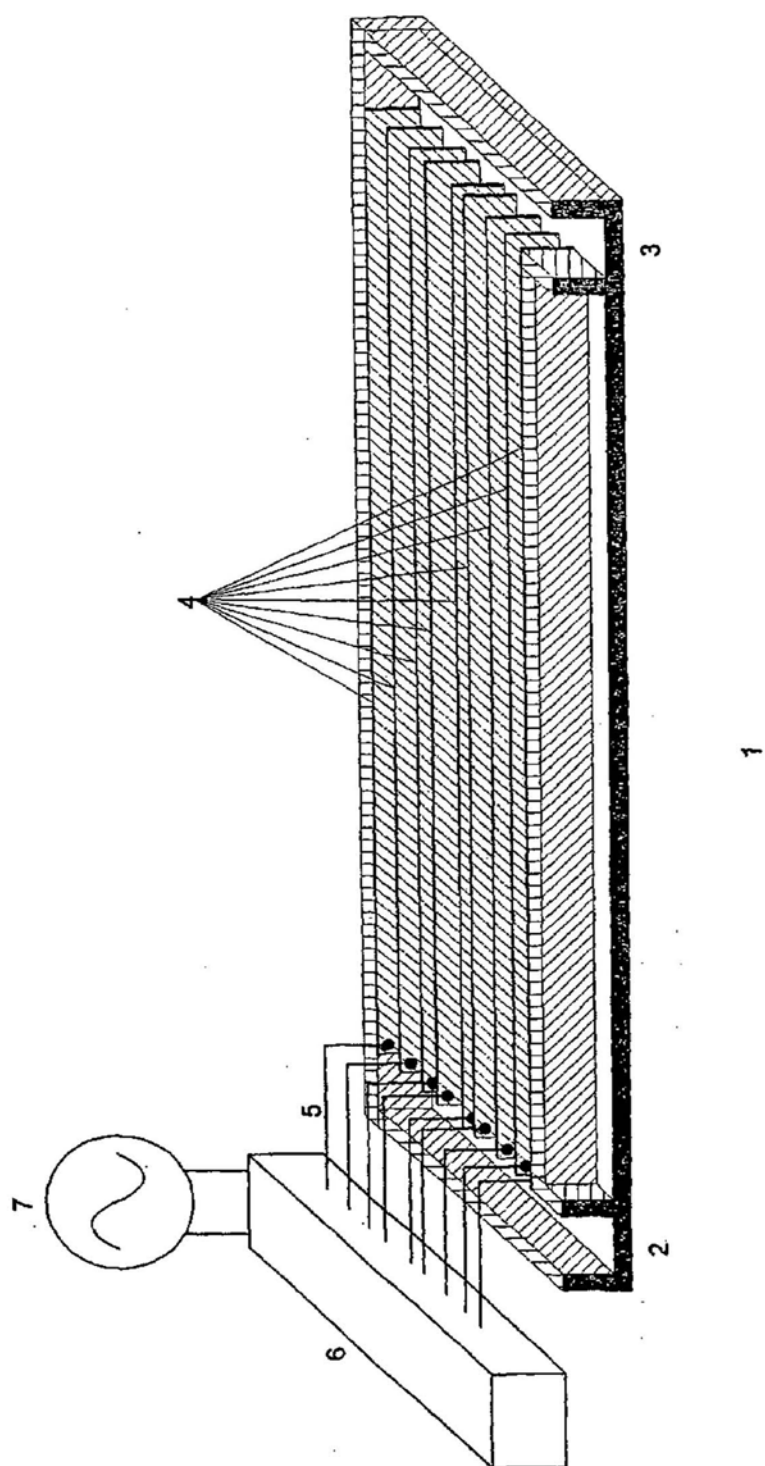
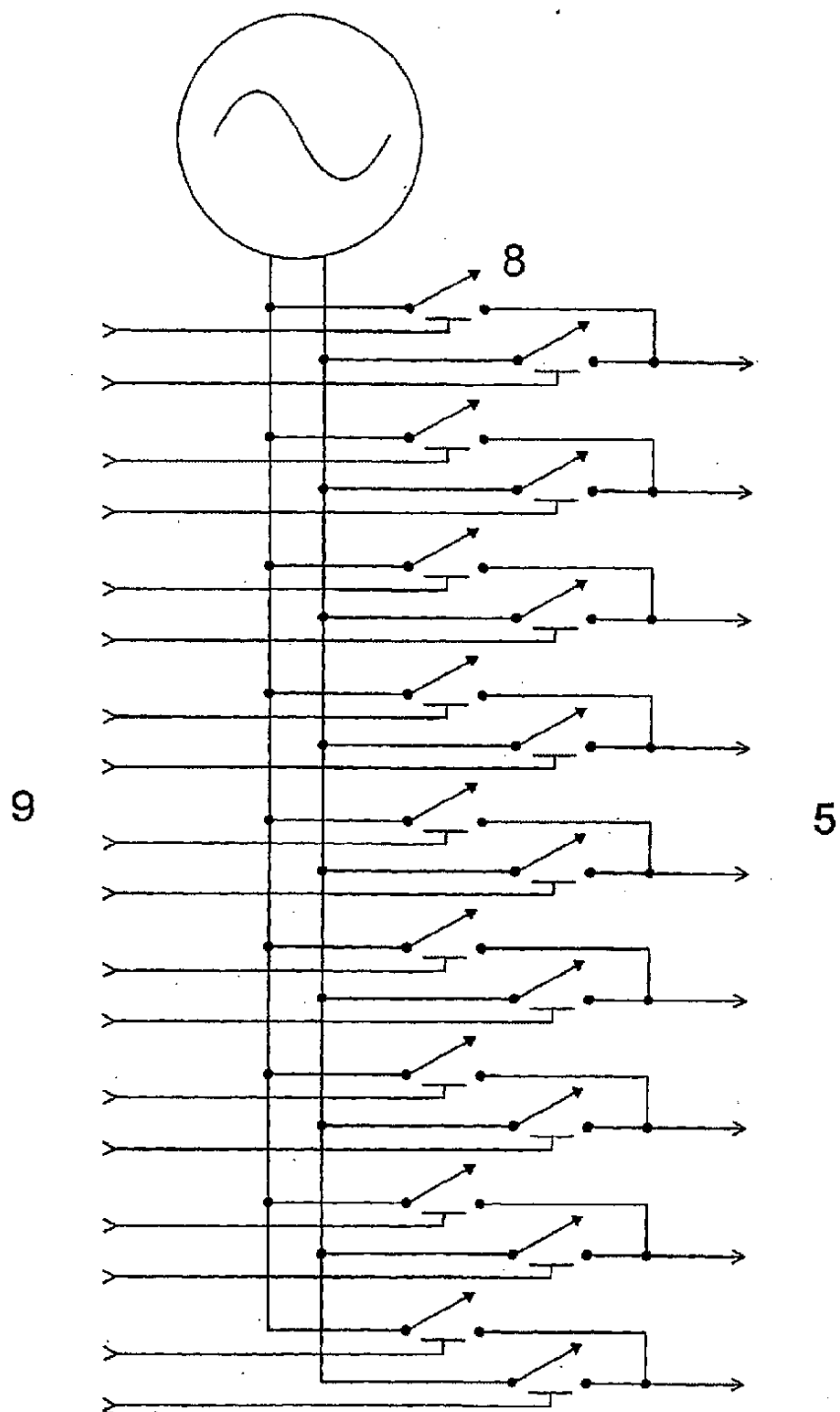


Figura 1



6  
Figura 2

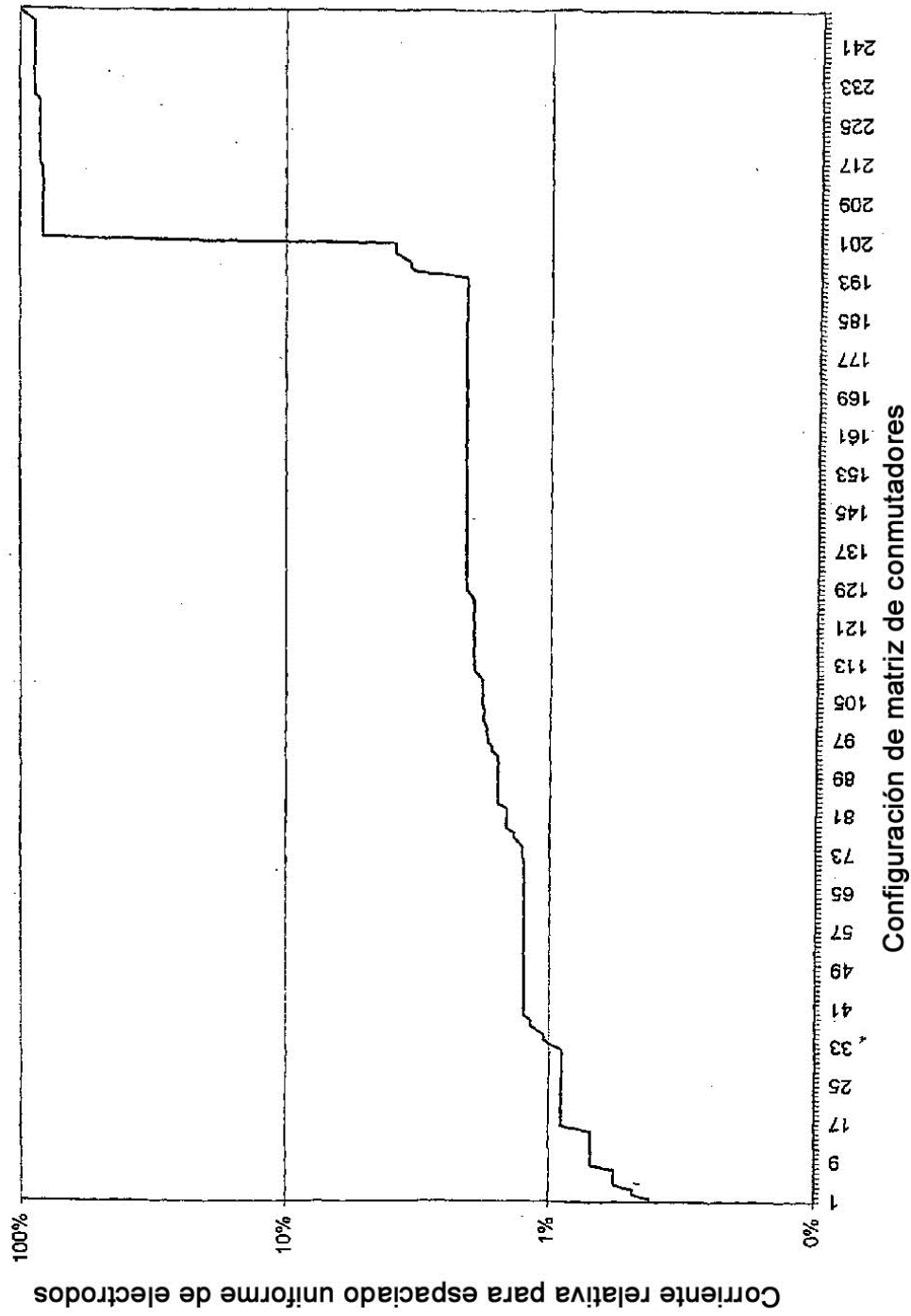
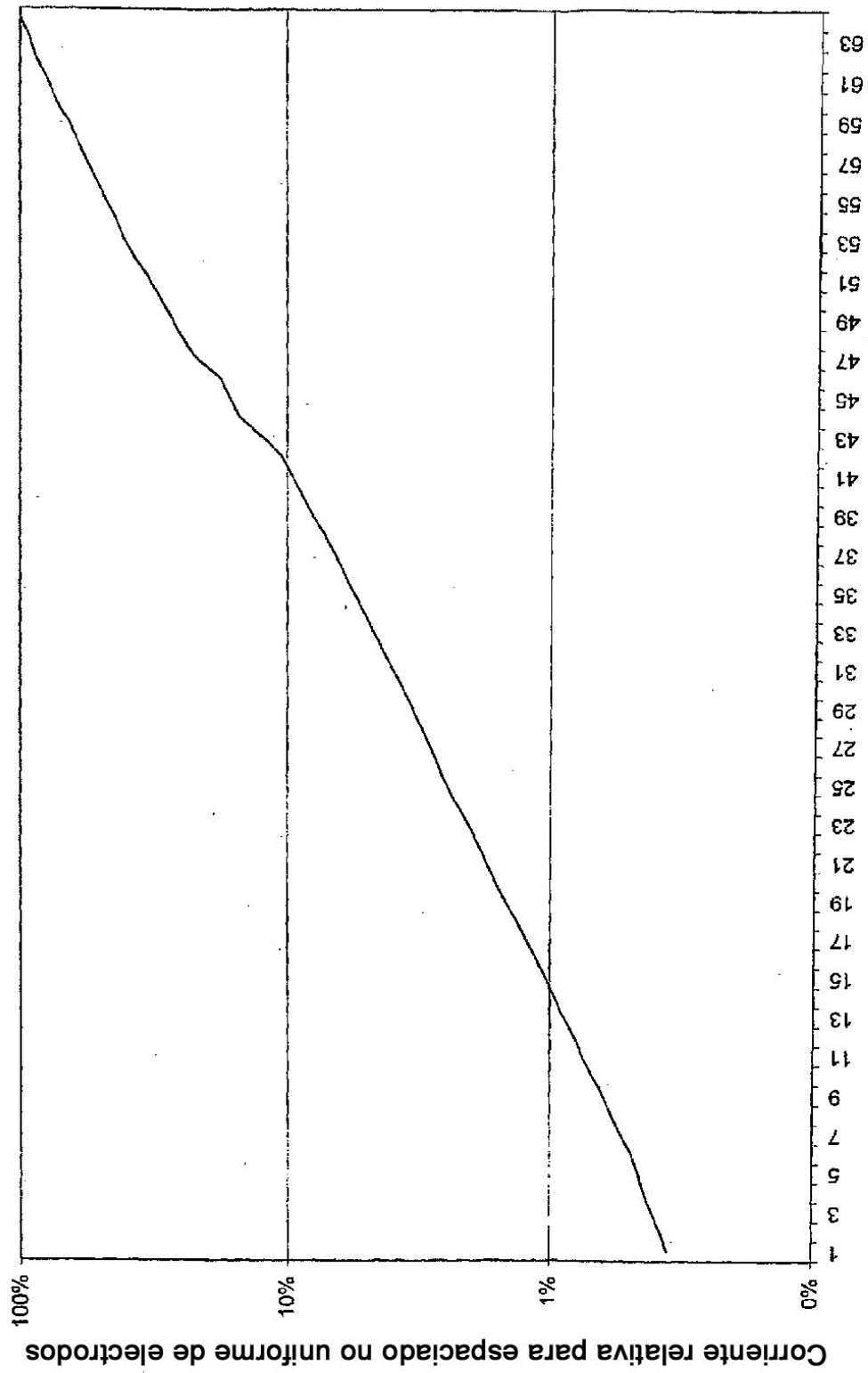


Figura 3





Configuración de matriz de conmutadores

Figura 4

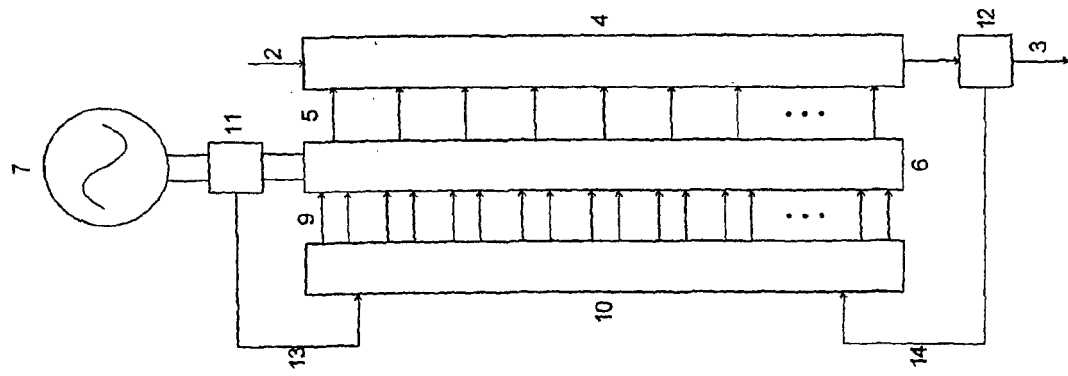


Figura 5