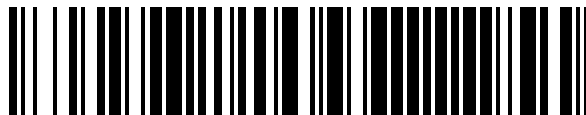


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **1 296 957**

21 Número de solicitud: 202200231

51 Int. Cl.:

**G05D 21/02** (2006.01)

**G05B 6/05** (2006.01)

**G05D 99/00** (2006.01)

12

SOLICITUD DE MODELO DE UTILIDAD

U

22

Fecha de presentación:

**13.07.2022**

43

Fecha de publicación de la solicitud:

**08.02.2023**

71

Solicitantes:

**UNIVERSIDAD DE OVIEDO (100.0%)**

**C/ San Francisco 3**

**33003 Oviedo (Asturias) ES**

72

Inventor/es:

**DÍAZ TRAPIELLA, José**

54

Título: **Dispositivo para la demostración y el estudio experimental de los regímenes de ebullición de un líquido**

ES 1 296 957 U

## DESCRIPCIÓN

Dispositivo para la demostración y el estudio experimental de los regímenes de ebullición de un líquido

5

### Sector de la técnica

La presente invención se refiere a un dispositivo para la demostración y el estudio experimental de los regímenes de ebullición de un líquido. Este dispositivo comprende una cubeta que contiene el líquido, un elemento resistivo eléctrico, una fuente de alimentación eléctrica, unos medios de obtención de la temperatura del elemento resistivo eléctrico, un sensor de imagen, unos primeros medios de visualización de la tensión y de la intensidad y unos segundos medios de visualización de la imagen capturada por el sensor de imagen.

La invención es de aplicación en aquellos sectores en los que se diseñen, produzcan o utilicen dispositivos para el estudio, control o demostración de los regímenes de ebullición de un líquido (como, por ejemplo, en la industria petroquímica), en el de la producción de energía a partir del vapor, en el de instalaciones térmicas, en el de la producción, tratamiento y distribución de agua, en el de la producción de aditivos o solutos (como, por ejemplo, sales), o en el de los tratamientos superficiales de materiales.

### Antecedentes de la invención

La ebullición en masa de un líquido es un fenómeno esencial en el campo de la transferencia de calor y un aspecto crítico en numerosos procesos energéticos, ya que limita la potencia térmica máxima que se puede transferir a un líquido mediante un elemento calefactor. Esta potencia máxima implica valores mínimos en el tamaño de calderas y evaporadores, y en el tiempo necesario para la generación de vapor a partir de un líquido.

Al elevar progresivamente la temperatura de una superficie calefactora sólida en contacto con una masa de líquido estacionario, éste experimenta un incremento de temperatura debido inicialmente a la transferencia de calor por convección natural. Mientras las temperaturas de la superficie y del líquido son inferiores a la temperatura de saturación de éste, en la masa de líquido no puede existir una fase vapor. Cuando la temperatura de la superficie calefactora se eleva algunos grados por encima de la temperatura de saturación del líquido, comienzan a formarse burbujas de vapor en el fondo de las minúsculas irregularidades existentes en la superficie. Las burbujas se desintegran rápidamente al entrar en contacto con la masa de líquido subenfriado (ebullición por nucleación subenfriada). A medida que el líquido próximo a la superficie se va sobrecalentado, las burbujas formadas alrededor de los puntos de nucleación aumentan de tamaño hasta que la fuerza de empuje las libera y ascienden verticalmente en el seno del fluido (ebullición por nucleación saturada). Si se continúa incrementando la potencia aportada por la superficie calefactora, se produce un rápido aumento del número de puntos de nucleación sobre la superficie y las burbujas desprendidas comienzan a fusionarse entre sí. El aumento del flujo de vapor ascendente dificulta el descenso de líquido sobre la superficie calefactora, ralentizando el incremento de la transferencia de calor desde la superficie y acelerando el aumento de temperatura de ésta, hasta alcanzar la crisis de ebullición (punto de Nukiyama). A partir de este punto crítico, un mínimo incremento adicional de la potencia en la superficie calefactora hace que ésta quede completamente cubierta por una fina película de vapor que la aísla del contacto con el líquido (ebullición en película), ocasionando una temperatura muy elevada en la superficie calefactora. Para un elemento calefactor común esta temperatura es superior a la de quemado, por lo que la superación de la potencia de crisis de la ebullición ocasiona habitualmente la destrucción

inmediata de la superficie antes de alcanzar una película de vapor estable que pueda ser observada. Si la superficie calefactora es capaz de resistir dicha temperatura, se formará una película de vapor estable y continua en toda su superficie que dificultará enormemente la transferencia de calor. Por tanto, la crisis de la ebullición determina la máxima potencia que puede ser transmitida a un líquido mediante un elemento calefactor. Sorprendentemente, una vez formada la película de vapor, si se reduce la potencia de la superficie calefactora la película de vapor sigue siendo estable hasta un valor mínimo de la potencia (punto de Leidenfrost), en el cual vuelve al régimen de ebullición por nucleación; por lo tanto, el régimen de ebullición en película es un fenómeno de histéresis.

El proceso anteriormente descrito fue estudiado experimentalmente por primera vez en el año 1934 por el ingeniero japonés Shiro Nukiyama empleando hilos calefactores de materiales especiales como aleaciones de níquel-cromo y otras más exóticas como de níquel y platino. Sin embargo, sólo consiguió alcanzar el régimen de película sin la destrucción prematura del hilo con este último material, el cual es escaso y de precio muy elevado. Para llevar a cabo el proceso, utilizó agua destilada contenida en una cubeta de vidrio Pyrex de 5,5 litros y empleó un baño de arena calentada con mecheros Bunsen para alcanzar y mantener la temperatura de saturación en el líquido. Los hilos calefactores se alimentaban con corriente continua, cuya intensidad era regulada de forma poco precisa y discreta mediante una batería de resistencias asociadas en serie al elemento calefactor. Mediante este experimento logró obtener la curva de ebullición, es decir, una representación gráfica de la potencia aportada al líquido por la superficie calefactora en función de su temperatura en condiciones de presión constante (Nukiyama, S. (1934). The Maximum and Minimum Values of the Heat Transmitted from Metal to Boiling Water under Atmospheric Pressure. Journal of the Society of Mechanical Engineers, Japan, 37, 367-374).

Desde entonces, la curva de ebullición ha sido objeto de investigación resultando en un significativo número de publicaciones científicas que han extendido el experimento de Nukiyama a diferentes líquidos, geometrías y condiciones de trabajo. Sin embargo, los dispositivos experimentales que se han diseñado presentan múltiples inconvenientes que los hacen impracticables en entornos fuera del laboratorio. Así, por ejemplo, el montaje original de Nukiyama (ya descrito en el párrafo anterior) no resulta utilizable fuera de un laboratorio específico. Además, esta configuración no permite una visualización precisa de los fenómenos, ya que el baño de arena solo permite la observación desde la superficie superior del líquido, posición en la que el observador está expuesto al vapor que se desprende. Dado que también se producen numerosas salpicaduras de líquido a alta temperatura y roturas ocasionales del recipiente, el montaje no resulta suficientemente seguro para su manejo por operadores inexpertos y, en resumen, el experimento no resulta fácilmente reproducible (Wataru Nakayama (2013). The Heat Transfer Society of Japan, the 50th Anniversary: Retrospect and Prospect. Heat Transfer Engineering, 34:5-6, 411-412).

Hasta este momento no se conoce ningún dispositivo experimental suficientemente portable, compacto y compuesto de materiales accesibles, que permita el estudio y la demostración práctica de la curva de ebullición de un líquido en un espacio convencional, sin necesidad de utilizar instalaciones dedicadas; que permita la manipulación del experimento de forma segura y sencilla por parte de aprendices inexpertos; y que permita la visualización y el registro de los fenómenos de forma completa y precisa.

Aunque existen algunos dispositivos comerciales que permiten en cierta medida la visualización y estudio de los regímenes de ebullición, estos no resuelven totalmente las limitaciones del montaje original de Nukiyama, y además presentan otros inconvenientes que se describen a continuación.

- Los equipos conocidos habitualmente realizan la demostración y el estudio experimental de los regímenes de ebullición de líquidos muy volátiles, distintos al agua. Normalmente se trata de fluidos refrigerantes de tipo hidrofluorocarburo (HFC), tal como el SES36 (Equipo de Transferencia de Calor en Ebullición [recuperado el 2020-05-10]. Recuperado de Internet: <<https://www.edibon.com/es/equipo-de-transferencia-de-calor-en-ebullicion/catalogo>>; Computerized Boiling Heat Transfer Apparatus [recuperado el 2020-05-10]. Recuperado de Internet: <<https://sunlabtech.com/computerized-boiling-heat-transfer-apparatus>>). El uso de SES36 o fluidos similares con bajo punto de ebullición (de 35,6 °C para el SES36) y baja entalpía de vaporización (de 129 kJ/kg para el SES36) permite que, mediante dichos equipos, se pueda alcanzar la ebullición en régimen de película con empleo de potencias moderadas, en el rango de 0,5-1 kW.
- Sin embargo, estas tecnologías excluyen la demostración y estudio de los regímenes de ebullición en otros fluidos de menor volatilidad, pero fundamentales en la industria, como, de forma significativa, el agua que tiene una entalpía de cambio de fase superior a 2250 kJ/kg para alcanzar la ebullición a 100 °C. Estos aparatos no permiten utilizar como material de ensayo el agua ni otros fluidos que precisen una mayor aportación de energía, ya que su configuración, composición y materiales no son apropiados para resistir ni para manejar con seguridad tales niveles de potencia.
- Por otra parte, los fluidos volátiles que se emplean en estos aparatos, como, por ejemplo, los refrigerantes HFC, también presentan inconvenientes de seguridad y medioambientales. Concretamente, el SES36 presenta cierto riesgo por inhalación o contacto con la piel y puede formar mezclas vapor-aire inflamables o explosivas durante su uso y generar productos de combustión tóxicos. Estas características desaconsejan la manipulación o modificación del líquido por parte de operadores no especializados. En todo caso, el empleo de refrigerantes HFC tiende a ser abandonado debido a su alto potencial de incidencia en el calentamiento global. El empleo de este tipo de fluidos obliga además a condensar y recircular el vapor generado en el ensayo por lo que incorporan un circuito de refrigeración que ha de ser alimentado con agua de red y que precisa de un desagüe para la eliminación del agua caliente, lo cual restringe enormemente la portabilidad del ensayo.
- Una posible alternativa para el estudio de los regímenes de ebullición de fluidos menos volátiles, como el agua, es utilizar equipos con mayor demanda energética. Habitualmente se trata de potencias por encima de 2 kW a 230 VCA (Filmwise and dropwise condensation and boiling [recuperado el 2020-05-10]. Recuperado de Internet: <<https://www.tequipment.com/assets/documents/datasheets/TE78-Filmwise-Dropwise-Boiling-Condensing-Datasheet.pdf>>). Sin embargo, el aumento de potencia en estos equipos también supone varios inconvenientes. En primer lugar, impide el empleo de una instalación de muy baja tensión y de mayor seguridad (<12VCA o <30VCC), que sería lo deseable en un entorno experimental de alta humedad con presencia de agua líquida. Por otra parte, la regulación de estos niveles de potencia no proporciona la mínima precisión deseada (del orden de 0,1 W) para estudiar en detalle las diferentes fases de la ebullición y sus cambios. Finalmente, el tamaño de los elementos que lo componen, necesariamente grandes para adecuarse a las tensiones e intensidades manejadas y para resistir los diferentes esfuerzos a los que se someten, entre ellos los debidos a los esfuerzos de dilatación, repercute negativamente en otras características deseables como, por ejemplo, la capacidad de miniaturización del equipo y la portabilidad del ensayo.

Otro inconveniente que presenta la tecnología actual es que los elementos resistivos en contacto con el fluido que se utilizan no permiten llevar a cabo con precisión y suficiente apreciación el ciclo completo de ebullición del fluido que se evalúa. Esto se debe, entre otros aspectos, a que los elementos resistivos que se proponen no son capaces de interactuar adecuadamente con el fluido de interés cuando la aportación energética es baja. Para que la evaluación del proceso sea completa y precisa, se deben combinar adecuadamente varios parámetros del equipo, entre los que se encuentran la energía aportada, la geometría del elemento resistivo y el material del que se compone. Idealmente, el elemento resistivo debería ser un elemento de sección reducida de forma que se minimice el solapamiento de las burbujas formadas por nucleación en la superficie del elemento resistivo, pero con una longitud adecuada, varias centenas de veces superior a su tamaño transversal, para que resulte posible registrar con precisión la formación y propagación de la película de vapor estable. Una solución para la reducción de la sección del elemento resistivo es la de emplear elementos resistivos a base de metales nobles tales como el platino. Sin embargo, como ya se comenta anteriormente, son más difíciles de obtener y más escasos en la naturaleza que otras aleaciones más comunes en la industria, como, por ejemplo, las basadas en níquel y cromo. Por esta razón, en los equipos comerciales se utilizan aleaciones convencionales, lo que implica adoptar potencias altas y secciones mayores, suficientemente resistentes, que presentan los inconvenientes anteriormente mencionados.

Todos los equipos conocidos emplean cubetas para contener el fluido que se pretende estudiar, de tipo cilíndrico, en disposición vertical, de diámetros superiores a los 100 mm y volúmenes de líquido superiores a los 5 litros. La geometría cilíndrica minimiza la relación entre la superficie exterior y el volumen del dominio fluido, con el ánimo de reducir las pérdidas de calor con el entorno y contribuir así al mantenimiento de la temperatura de saturación del líquido, condición imprescindible para la realización del ensayo. Sin embargo, las cubetas cilíndricas no resultan adecuadas para una observación precisa y completa del proceso por cuanto el dominio fluido así constituido es ópticamente grueso, el flujo resultante es esencialmente tridimensional y la geometría cilíndrica produce una imagen distorsionada del fenómeno. Esto dificulta la visualización del flujo bifásico impidiendo caracterizar espacial y temporalmente aspectos esenciales como forma, tamaño, distribución y frecuencia de formación de las burbujas de vapor y la presencia o ausencia de película de vapor estable en la superficie del elemento resistivo.

Por último, todos los dispositivos conocidos en el mercado son voluminosos ( $>0,5 \text{ m}^3$ ) y pesados ( $>60 \text{ kg}$ ), es decir, son equipos específicos de laboratorio, no portables, que no resultan adecuados para ser usados en análisis de campo, salas sin adecuación específica o aulas comunes.

#### **Explicación de la invención**

La presente invención se refiere a un dispositivo para la demostración y el estudio experimental de los regímenes de ebullición de un líquido que resulta preciso y eficiente a la hora de mostrar y determinar los diversos regímenes de un proceso de ebullición y enfriamiento, seguro para el usuario, reproducible a escala industrial, con consumos mínimos operacionales, y que puede materializarse además en un equipo portátil fácilmente trasladable.

El dispositivo comprende:

- Una cubeta que contiene un líquido, con al menos dos caras planas y paralelas entre las que se encuentra confinado un elemento resistivo eléctrico. Además, al menos una de estas caras comprende una porción transparente alineada con el elemento resistivo eléctrico de forma que se puede observar desde el exterior. Preferiblemente, las caras se encuentran confinando el

elemento resistivo eléctrico con una separación entre ellas tal que la producción de burbujas sobre la superficie del elemento resistivo eléctrico y su desprendimiento se produzcan predominantemente en un espacio bidimensional, en el plano de observación. Así, se evitan superposiciones entre burbujas en la dirección de observación perpendicular a las caras y se mejora la observación y registro de sus características y las de su movimiento. Es decir, preferidamente, la separación de las caras es tal que se produce un flujo ordenado.

- Un elemento resistivo eléctrico con una proporción entre su longitud y su mayor dimensión transversal de al menos 100. Cuando el elemento resistivo eléctrico es excitado por una corriente eléctrica y entra en contacto con el líquido, lo calienta hasta que produce la ebullición del líquido haciéndolo pasar por los diversos regímenes de ebullición, a elección del usuario o de forma preestablecida. De esta forma, por ejemplo, un usuario puede instaurar, evaluar y registrar una ebullición estacionaria en película.

- Una fuente de alimentación eléctrica que proporciona una corriente eléctrica a una tensión entre 0 y 24 voltios y una intensidad entre 0 y 10 amperios que traspasa el elemento resistivo eléctrico y lo calienta, que además comprende unos medios de regulación y de registro de la tensión y de la intensidad.

- Unos medios de obtención de temperatura que determinan de forma directa o indirecta la temperatura del elemento resistivo eléctrico.

- Un sensor de imagen que captura la imagen del líquido y del elemento resistivo eléctrico a través de la porción transparente.

- Unos primeros medios de visualización de la tensión y de la intensidad proporcionada por la fuente de alimentación eléctrica, y unos segundos medios de visualización de la imagen capturada por el sensor de imagen.

En una realización preferida, el fluido es agua.

En otra realización preferida, el dispositivo además comprende unos medios de iluminación del líquido y del elemento resistivo eléctrico en el interior de la cubeta. En una realización más preferida, los medios de iluminación son una pantalla LED dispuesta en una cara opuesta de la cubeta en relación a la disposición del sensor de imagen. En otra realización más preferida, los medios de iluminación son un anillo LED dispuesto coaxialmente al sensor de imagen.

En otra realización preferida, el elemento resistivo eléctrico es de una aleación basada en níquel o cromo. En una realización más preferida, el elemento resistivo es un hilo o cable lineal conectado a través de sus extremos a la fuente de alimentación.

En una realización específica, la fuente de alimentación eléctrica proporciona corriente a una tensión máxima de 6 V y a una intensidad máxima de 5,5 A. Esta tensión e intensidad se pueden regular a medida que progresa el experimento hasta estos valores máximos, que en este caso garantizan la seguridad del manejo del aparato por parte de cualquier tipo de usuario eliminando totalmente el riesgo por electrocución sin mermar la capacidad de observación de los distintos regímenes de ebullición.

En otra realización específica, los medios de obtención de temperatura del elemento resistivo eléctrico determinan la temperatura de forma indirecta, a partir del voltaje y la intensidad que proporciona la fuente de alimentación eléctrica, y las características del elemento resistivo eléctrico a partir de la siguiente fórmula:

$$T = R^{-1} \begin{pmatrix} V \\ I \\ T \end{pmatrix}$$

5

donde T es la temperatura, V es el voltaje, I es la intensidad y R1 representa la función inversa de otra función, R(T), que determina la resistencia del elemento resistivo eléctrico en función de su temperatura. La función R(T) se puede obtener mediante un ensayo previo de calibración en el que se somete al elemento resistivo eléctrico a temperaturas conocidas y se mide su resistencia. La función R(T) también se puede calcular a partir de las características del elemento resistivo eléctrico mediante la siguiente fórmula:

10

$$R(T) = \frac{p(T) \cdot L(T)}{S(T)}$$

15

donde p(T) es la resistividad eléctrica del material que forma el elemento resistivo eléctrico, L(T) la longitud del elemento resistivo eléctrico y S(T) la sección transversal del elemento resistivo eléctrico.

20

En otra realización específica, el sensor de imagen tiene una velocidad de adquisición de imagen de al menos 300 cuadros por segundo. De esta forma se observa y registra de manera más clara la formación y desprendimiento de burbujas y la transición en el entorno de los puntos críticos del proceso de ebullición - enfriamiento.

25

En una realización más específica, el dispositivo, además del sensor de imagen, también comprende un conjunto de lentes con longitud focal ajustable entre 2,8 y 12 mm asociadas al sensor de imagen.

En otra realización específica, los primeros medios de visualización son una pantalla LED que permite visualizar de forma simultánea tensión, intensidad o la potencia deducida a partir de la tensión y la intensidad según la fórmula  $W=V \cdot I$ , donde W representa la potencia, V el voltaje e I la intensidad, con una precisión mínima de 0,01 V y 0,01 A, respectivamente.

30

En otra realización específica, los segundos medios de visualización son una pantalla conectada a un procesador de imágenes que procesa las imágenes capturadas por el sensor de imagen. Por ejemplo, un procesador de imágenes materializado en un ordenador personal con una pantalla.

35

En otra realización preferida, el dispositivo además comprende un sensor de temperatura que mide la temperatura del líquido. Por ejemplo, un sensor de temperatura materializado mediante un termopar de tipo K. En una realización más específica, el dispositivo además comprende unos terceros medios de visualización de la temperatura del líquido medida por el sensor de temperatura.

40

En otra realización específica, el dispositivo además comprende unos cuartos medios de visualización de la temperatura del elemento resistivo eléctrico determinada de forma directa o indirecta por los medios de obtención de temperatura del elemento resistivo eléctrico.

En una realización más específica, los terceros medios de visualización o los cuartos medios de visualización son una pantalla con rango de medida de -30 a 2000 °C.

45

En una realización preferida, el dispositivo además comprende una tapa que permite el acceso al interior de la cubeta. Opcionalmente, la tapa puede servir además de soporte para otros elementos del dispositivo, como, por ejemplo, unos cables que transportan energía al elemento resistivo eléctrico y que además lo sujetan, un sensor de temperatura que se sumerge en el fluido, otros medios de iluminación, etc.

En otra realización preferida, el dispositivo además comprende una unidad de control y registro que comprende un procesador y una memoria o memorias en las que se almacena un programa o programas que incluyen instrucciones. Cuando estas instrucciones son ejecutadas por el procesador hacen que la unidad de control y registro realice la lectura de la tensión y la intensidad de la fuente de alimentación eléctrica, determine la temperatura del elemento resistivo eléctrico, y genere las señales necesarias de control sobre el sensor de imagen. Además, está configurada, a su vez, para el procesamiento de las imágenes recibidas del sensor de imagen y de los datos de las lecturas, y para la ejecución de un algoritmo para demostración y estudio experimental de los regímenes de ebullición del líquido en función de los datos recibidos desde el procesador.

En una realización más preferida, los primeros medios de visualización y los segundos medios de visualización se integran en la unidad de control y registro.

En otra realización más preferida, los primeros medios de visualización, los segundos medios de visualización y los terceros medios de visualización se integran en la unidad de control y registro.

En otra realización más preferida, los primeros medios de visualización, los segundos medios de visualización, los terceros medios de visualización y los cuartos medios de visualización se integran en la unidad de control y registro.

En una realización aún más preferida, la unidad de control y registro es un ordenador con una pantalla de visualización.

En otra realización más preferida, el programa o programas incluyen instrucciones que, cuando son ejecutadas por el procesador, hacen que la unidad de control y registro genere una señal para que la fuente de alimentación eléctrica proporcione una corriente eléctrica que calienta el elemento resistivo eléctrico en contacto con el líquido, y eleve la intensidad de la corriente en incrementos de 0,1 A en intervalos de 5 segundos hasta que el sensor de imagen capture un régimen de ebullición por nucleación; y, una vez alcanzado el régimen anterior, para que eleve la intensidad de la corriente en incrementos de 0,01-0,1 A en intervalos de 1- 5 segundos hasta que el sensor de imagen capture una súbita incandescencia del elemento resistivo eléctrico y la formación de una película continua de vapor en torno a él; y, una vez alcanzado el régimen anterior, para que disminuya la intensidad de corriente en decrementos de 0,01-1 A en intervalos de 1-5 segundos hasta que el sensor de imagen capture un régimen de ebullición por nucleación; y, una vez alcanzado el régimen anterior, para que disminuya la intensidad de corriente en decrementos de 0,1 A en intervalos de 1-5 segundos hasta que el sensor de imagen capture la detención del proceso de ebullición.

Mediante esta estrategia, se permite observar que, una vez alcanzado el régimen de ebullición en película, éste se mantiene incluso para potencias inferiores a la crítica máxima, hasta alcanzar la potencia crítica mínima, en el entorno de los 3-4 A, en el que el sistema retorna a la situación inicial de ebullición por nucleación.

El dispositivo descrito permite realizar la demostración de la curva de ebullición de forma muy sencilla. Para ello, se suministra potencia eléctrica al elemento resistivo eléctrico mediante la

fuelle de alimentaci3n. Inicialmente, la intensidad de corriente tiene un valor tal que permite alcanzar la temperatura de saturaci3n del líquido sin causar el quemado destructivo del elemento resistivo eléctrico. Una vez alcanzada la temperatura de saturaci3n en el líquido, se modifica la intensidad de corriente hasta alcanzar el régimen de ebullici3n por nucleaci3n. En  
5 una segunda fase, se eleva la intensidad en pequeños incrementos, a la vez que se registran los parámetros y los fenómenos observados. Una vez que se alcanza el punto de crisis de la ebullici3n se observa cómo el sistema evoluciona de forma muy rápida hacia el régimen de ebullici3n en película en el que el elemento resistivo eléctrico aumenta bruscamente su temperatura, manifestada por un alto grado de incandescencia. Posteriormente, se puede  
10 modificar la potencia suministrada y variar el grado de incandescencia observado en el elemento.

Un pequeño aumento de potencia permite demostrar el punto de quemado destructivo a la vez que dará por terminado el experimento. Alternativamente, mediante una progresiva disminuci3n de la corriente suministrada, la incandescencia del elemento resistivo eléctrico se irá reduciendo hasta desaparecer sin que el sistema abandone el régimen de ebullici3n en película. Si se continúa reduciendo la corriente, se podrá alcanzar el punto crítico de potencia mínima en el que el sistema retorna al régimen de ebullici3n por nucleaci3n. El proceso experimental descrito puede ser repetido de forma cíclica tantas veces como se desee sin necesidad de reponer el elemento resistivo eléctrico.

Mediante este dispositivo, la histéresis inherente al proceso descrito se hace evidente por simple observaci3n del patr3n de ebullici3n y de los valores de voltaje, intensidad o potencia visualizados. El análisis de las imágenes registradas permite analizar en detalle los cambios en la geometría y disposici3n de las burbujas de vapor, así como la variaci3n del ángulo de contacto entre éstas y la superficie del elemento resistivo eléctrico. Además, el análisis de  
25 secuencias de vídeo a cámara lenta, o incluso cuadro a cuadro, permite capturar las rápidas transiciones que tienen lugar en los puntos críticos del proceso. Finalmente, el registro de los indicadores de tensi3n y de intensidad, permiten obtener tanto la temperatura del elemento resistivo eléctrico como la potencia calorífica y, con ello, una representaci3n gráfica de la curva de ebullici3n. Adicionalmente, el empleo de una óptica adecuada permite analizar a escala  
30 microscópica la nucleaci3n de burbujas en el seno de las minúsculas irregularidades del elemento resistivo eléctrico, así como las alteraciones que éste puede experimentar por corrosi3n o formaci3n de dep3sitos superficiales.

A diferencia de otros dispositivos existentes, la invenci3n descrita permite llevar a cabo de forma muy sencilla, portable, segura y económica una completa demostraci3n y análisis de  
35 todos los fenómenos y regímenes de la ebullici3n, es decir, nucleaci3n subenfriada, nucleaci3n saturada, película, así como, en su caso, el quemado destructivo del elemento resistivo eléctrico. Adicionalmente, el dispositivo permite realizar estudios comparativos de diferentes líquidos y de materiales del elemento resistivo eléctrico, aditivos en el líquido, tratamientos superficiales del elemento resistivo eléctrico, efecto de fenómenos de corrosi3n, vibraciones,  
40 variaci3n de la gravedad o variaci3n de la presi3n ambiental, entre otros.

El dispositivo experimental se puede materializar de manera portable y compacta, y está compuesto de materiales accesibles que lo hacen adecuado para su producci3n a escala. Esto hace que el estudio y la demostraci3n práctica de la curva de ebullici3n de un líquido se pueda realizar en un espacio convencional, sin necesidad de utilizar instalaciones dedicadas.

Gracias a la especial relaci3n y características de sus componentes, la invenci3n proporciona un dispositivo que puede trabajar con niveles seguros de energía y potencias bajas. A pesar de

ello, mediante el dispositivo se puede demostrar y estudiar experimentalmente los regímenes de ebullición de una gran variedad de líquidos y no solo de aquellos más volátiles. En particular, el dispositivo permite llevar a cabo experimentos de cambio de fase en agua, lo cual es muy relevante considerando que se trata de uno de los fluidos más comunes en procesos industriales y energéticos y en fenómenos fisicoquímicos de gran interés.

Los niveles de energía tan contenidos también ofrecen ventajas evidentes en relación a la seguridad del usuario y de las instalaciones. El dispositivo permite la manipulación del experimento de forma segura y sencilla incluso por parte de aprendices inexpertos, pero permitiendo la visualización y el registro de los fenómenos de forma completa y precisa. Así, por ejemplo, el dispositivo se puede trasladar a cualquier aula docente sin necesidad de contar con equipamiento propio de laboratorio y de forma que pueda ser manipulado por alumnos sin supervisión.

Por otro lado, el dispositivo utiliza un elemento resistivo eléctrico con una sección muy reducida en comparación con su longitud, que se puede materializar mediante un hilo metálico, por ejemplo, de una aleación de níquel o de cromo. Con este tipo de elemento resistivo eléctrico se consiguen varias ventajas. Por una parte, se minimiza el solapamiento de las burbujas formadas por nucleación en la superficie del elemento resistivo eléctrico, y además resulta posible registrar con precisión la formación y propagación de la película de vapor estable y, en general, todos los regímenes del proceso. Por otra parte, la potencia necesaria para calentarlo a través de los diferentes regímenes de ebullición es muy baja en comparación con otros aparatos, sobre todo considerando las realizaciones donde se proponen aleaciones comunes.

Una ventaja adicional del dispositivo se desprende de la especial configuración de la cubeta. A diferencia de otros dispositivos, donde se proponen cubetas cilíndricas y de gran tamaño que reducen considerablemente la capacidad de visualización precisa de todos los matices en la evolución del proceso, este dispositivo tiene una cubeta con dos caras paralelas que confinan el elemento resistivo. Esto permite una gran precisión en el registro y visualización de los distintos regímenes de ebullición y sus transiciones, sobre todo cuando se emplea el sensor de imagen que captura la imagen del líquido y del elemento resistivo eléctrico durante la evolución del experimento.

El dispositivo resulta de aplicación en sectores en los que se diseñen, fabriquen, produzcan o utilicen aparatos para el estudio, control o demostración de los regímenes de ebullición de un líquido, por ejemplo, en la industria petroquímica para la determinación del comportamiento de combustibles, para el adecuado transporte de insumos y productos, o para el ajuste y control del proceso productivo. También es aplicable a la producción de energía a partir del vapor o en diseño de instalaciones térmicas donde el cambio de fase de fluidos portadores de energía es fundamental para promover procesos más eficientes. En la producción, tratamiento y distribución de agua el dispositivo puede ayudar a reducir las pérdidas de transporte o por almacenamiento, además de determinar algunas características fisicoquímicas del agua. También resulta de aplicación en la producción de solutos, como, por ejemplo, sales, donde los fenómenos de evaporación de los disolventes juegan un papel fundamental en el rendimiento. También es aplicable a la valoración del efecto de diferentes tratamientos superficiales o fenómenos de corrosión en elementos calefactores de equipos de ebullición.

## Breve descripción de los dibujos

Para mejor comprensión de lo anteriormente expuesto, se acompañan unos dibujos en los que, esquemáticamente y solo a título de ejemplo no limitativo, se representan los elementos de que se compone el dispositivo y los fenómenos que pueden ser estudiados mediante su uso.

En la Fig. 1 se muestra el dispositivo que comprende una cubeta (1), con las caras anterior y posterior transparentes, que contiene el líquido a estudiar y que lleva colocada en su parte superior una tapa (2) elástica que incorpora dos columnas (3) en las que va montado un elemento resistivo eléctrico (4) que funciona como calefactor y que se sumerge en el líquido. El elemento resistivo eléctrico (4) recibe la potencia necesaria a través de dos conectores (5) desde una fuente de alimentación eléctrica (6) de corriente continua regulable, cuyos valores de tensión, intensidad y potencia se visualizan mediante unos primeros medios de visualización (7) en la forma de un indicador. La temperatura del líquido se mide mediante un sensor de temperatura (8) que se introduce en el líquido y se visualiza mediante unos terceros medios de visualización (9) en la forma de otro indicador. La cubeta (1), con el líquido en su interior, se ilumina mediante unos medios de iluminación (10) materializados en una pantalla LED dispuesta en una cara opuesta de la cubeta (1) en relación a la disposición de un sensor de imagen (11). El sensor de imagen (11) es de alta velocidad, y va acompañado de un conjunto de lentes con diferentes ópticas. Los elementos anteriormente descritos se acoplan a una base (12) rígida e impermeable que incorpora mecanismos de corredera lineales para posicionar y alinear de forma conveniente los diferentes elementos, entre ellos el sensor de imagen (11). Este sensor de imagen (11) permite monitorizar el comportamiento del fluido y del elemento resistivo eléctrico (4) mediante unos segundos medios de visualización (13) que se corresponden a la pantalla de un ordenador que actúa como unidad de control y registro, y elemento de visualización de distintos parámetros del experimento.

En la Fig. 2 se muestra el inicio del régimen de ebullición por nucleación a baja potencia de un líquido a través de una imagen capturada por el sensor de imagen (11).

En la Fig. 3 se muestra el régimen de ebullición por nucleación de un líquido correspondiente a una potencia alta, ligeramente inferior a la crítica máxima, a través de una imagen capturada por el sensor de imagen (11).

En la Fig. 4 se muestra el régimen de ebullición en película de un líquido a una potencia 10 cercana a la máxima crítica con el elemento resistivo eléctrico (4) a temperatura de incandescencia a través de una imagen capturada por el sensor de imagen (11).

En la Fig. 5 ilustra la reconstrucción de la curva de ebullición a partir de las observaciones y mediciones realizadas mediante el dispositivo, con indicación del punto crítico de máxima potencia (a), del punto de mínima potencia (b) y del punto de quemado (c).

## Realización preferente de la invención

Para una mejor comprensión de la presente invención, se exponen los siguientes ejemplos de realización preferente, descritos en detalle, que deben entenderse sin carácter limitativo del alcance de la invención.

### EJEMPLO 1

Se fabricó el dispositivo representado en la Fig. 1. En este caso, la cubeta (1) tenía unas dimensiones interiores de 110 x 80 x 15 mm y estaba formada por dos placas paralelas de

vidrio cuyos bordes verticales e inferior estaban encastrados en un marco compuesto por un núcleo de baja densidad fabricado con PLA a través de técnicas de impresión 3D, una capa intermedia de silicona y un recubrimiento exterior de PVC extruido. El marco disponía en sus 30 extremos de unos pasadores roscados M4 de acero inoxidable de 10 mm de longitud.

- 5 El dispositivo incluía una tapa (2) que estaba constituida en primer lugar por una pletina horizontal de PVC extruido de 5 mm de grosor y 25 mm de ancho, reforzada con dos láminas de acero elástico. La pletina disponía de tres orificios pasantes y perpendiculares a la pletina; el primero de ellos, situado en el centro y destinado a la introducción de sensores. Otros dos orificios situados en los extremos de la pletina permitían fijar la tapa (2) sobre la cubeta (1) mediante tapones de acero inoxidable con rosca interior M4 y moleteado exterior. La tapa (2) incluía también dos columnas (3) idénticas, constituidas por barras de acero inoxidable de 63 mm de longitud y 7 mm de diámetro recubiertas en toda su longitud con PTFE excepto en una porción de 3 mm en el extremo inferior, de menor diámetro y con roscado M4 exterior. Las dos columnas (3) iban unidas en su extremo superior a sendos conectores (5) de tipo banana hembra.

El elemento resistivo eléctrico (4) se materializó en un filamento de aleación de níquel que, mediante el apriete de sendos tapones de acero inoxidable con rosca interior M4 y moleteado exterior, se fijó a las terminaciones roscadas de las dos columnas (3). La rigidez de las columnas (3), junto con la flexibilidad de la tapa (2) y el apriete de los tapones roscados que la fijaban a la cubeta (1), permitía ajustar el esfuerzo de tensión axial en el elemento resistivo eléctrico (4) y así compensar eventuales deformaciones por dilatación.

La fuente de alimentación eléctrica (6) proporcionaba una tensión máxima de 12 V y una corriente máxima de 6 A, con el objeto de asegurar la protección ante un eventual manejo incorrecto por parte de un operador inexperto. La fuente de alimentación eléctrica (6) permitía regular la corriente en incrementos menores de 0,01 A e incluía los primeros medios de visualización (7) materializados en una pantalla constituida por 12 indicadores LED de 7 segmentos que permitían mostrar de forma simultánea tensión, intensidad y potencia con una precisión mínima de 0,01 V, 0,001 A y 0,01 W, respectivamente.

En este caso, el dispositivo comprendía un sensor de temperatura (8) materializado en un termopar de tipo K conectado a los terceros medios de visualización (9) materializados en una pantalla constituida por 3 indicadores LED de 7 segmentos que permitían mostrar la temperatura del líquido con una precisión mínima de 1 °C.

Los medios de iluminación (10) se materializaron en una pantalla LED con unas dimensiones de 135 x 70 mm.

35 El sensor de imagen (11) se materializó en una matriz CMOS en color con una superficie activa de 5,4 x 3,1 mm distribuida en 2688 \* 1520 píxeles que permitía una velocidad de adquisición de 330 imágenes por segundo, además de un sistema varifocal de lentes con longitud focal entre 2,8 y 12 mm que permitía ajustar el campo de visión cubierto por el sensor dentro un rango de 10-100 mm de la longitud del elemento resistivo eléctrico (4). El sensor de imagen (11) disponía de un soporte que permitía el giro según dos ejes perpendiculares entre sí y paralelos al plano de la imagen.

Los segundos medios de visualización (13) se materializaron en un ordenador personal conectado al sensor de imagen (11) mediante interfaz USB. El ordenador procesaba las imágenes capturadas por el sensor y las mostraba en la pantalla que incorporaba.

Los elementos (1, 6, 9, 10, 11) anteriormente descritos se acoplaron, según la disposición mostrada en la Fig. 1, a una base (12) rígida e impermeable de 250 x 200 x 10 mm fabricada con HDPE extruido y con mecanismos de corredera lineales de tipo magnético, los cuales permitían alinear y fijar con comodidad los diferentes elementos del dispositivo con suficiente precisión y evitando el desplazamiento o vuelco accidental de dichos elementos. La pantalla LED, que constituía los medios de iluminación (10), se situó en una cara opuesta de la cubeta (1) en relación con la disposición del sensor de imagen (11).

### EJEMPLO 2

Para esta materialización se empleó el dispositivo del ejemplo anterior, aunque en este caso los medios de iluminación (10) consistían en un anillo LED dispuesto coaxialmente al sensor de imagen (11) y el conjunto de lentes incluía además un tubo de extensión que permitía ajustar el campo de visión cubierto por el sensor dentro un rango de 1-2 mm de la longitud del elemento resistivo eléctrico (4). De esta manera, se lograba una capacidad de visualización de tipo microscópico que permitía apreciar con mejor resolución el efecto de las características superficiales del elemento resistivo eléctrico (4) en el proceso de ebullición.

### EJEMPLO 3

En este ejemplo se describe una manera de utilizar el dispositivo descrito en el primer ejemplo para la demostración y el estudio experimental de los regímenes de ebullición del agua. En este caso, la cubeta (1) se llenó aproximadamente en tres cuartas partes de su volumen con 100 ml de agua destilada a la temperatura ambiente de 20 °C. El elemento resistivo eléctrico (4) se sumergió horizontalmente en el agua destilada y se mantuvo en dicha posición mediante la fijación de la tapa (2) en la cubeta (1) según el procedimiento anteriormente descrito. El sensor de temperatura (8) se sumergió en el agua introduciéndolo a través del orificio central de la tapa (2) y manteniéndose en dicha posición mediante ajuste por interferencia con dicho orificio. El elemento resistivo eléctrico (4) se conectó a la fuente de alimentación eléctrica (6) mediante dos cables de cobre aislados exteriormente unidos en cada uno sus extremos a conectores tipo banana macho.

Inicialmente, se empleó una corriente de precalentamiento constante de 4 A hasta alcanzar una temperatura de 98 °C en el agua. Una vez alcanzada dicha temperatura, se estableció una corriente de 1 A sin observarse ebullición en el agua. Seguidamente, se fue elevando la corriente en incrementos de 0,1 A e intervalos de 5 s y se observó la aparición del régimen de ebullición por nucleación para valores superiores a 2 A, tal como se muestra en Fig. 2. Por encima de los 4 A se observó una creciente coalescencia de las burbujas de vapor, tal como se muestra en la Fig. 3 y se redujo progresivamente la tasa de aumento de corriente hasta incrementos de 0,01 A en intervalos de 1 s. En el entorno de los 5,5 A se alcanzó la potencia crítica máxima y se observó una súbita incandescencia del elemento resistivo eléctrico (4) asociada a la formación de una película continua de vapor en torno a él, tal como se muestra en la Fig. 4. Inmediatamente, se redujo la intensidad de corriente en decrementos de 0,1 A e intervalos de 1-5 s, lo que permitió observar que, una vez alcanzado el régimen de ebullición en película, éste se mantenía a potencias inferiores a la crítica máxima, hasta alcanzar una potencia crítica mínima, observada en el entorno de los 3,5 A, situación en la que la película de vapor se volvía inestable y el sistema retornaba al régimen de ebullición por nucleación. Por debajo de los 2 A desaparecía cualquier signo de ebullición.

Posteriormente, en el ordenador personal y a partir de los valores de tensión e intensidad registrados durante el ensayo, se obtuvieron los valores de potencia y de temperatura del elemento resistivo eléctrico (4) según las fórmulas indicadas con anterioridad y se graficaron de

forma similar a la mostrada en la Fig. 5. Adicionalmente, a partir de las imágenes capturadas por el sensor de imagen (11) se analizaron secuencias de vídeo a cámara lenta, y cuadro a cuadro. Esta información permitió estudiar las características de la interfase vapor- líquido en los distintos regímenes de ebullición, así como en las rápidas transiciones que se observaron en los puntos críticos del proceso, y correlacionarlas con las diferentes zonas de la curva de ebullición.

#### EJEMPLO 4

En este caso, se realizó el ensayo del proceso de ebullición indicado en el ejemplo anterior mediante la utilización del dispositivo descrito en el segundo ejemplo. La configuración específica de los medios de iluminación (10) y del sistema de lentes en el sensor de imagen (11) permitió observar el efecto de irregularidades preexistentes en la superficie del elemento resistivo eléctrico (4) o formadas en el mismo durante su utilización.

El análisis de las imágenes capturadas por el sensor de imagen (11) durante el régimen de ebullición subenfriada mostró la nucleación preferente de burbujas en el fondo de estrías longitudinales de 2  $\mu\text{m}$  de anchura presentes en la superficie del elemento resistivo eléctrico (4) debidas al proceso de fabricación mediante trefilado. También se observó un comportamiento dinámico en los puntos de nucleación preferente debido a la aparición de fenómenos de erosión y deposición, que causaban tanto el suavizado de las irregularidades superficiales preexistentes como la formación de otras nuevas.

Repeticiones sucesivas del ensayo revelaron que la evolución de las características superficiales del elemento resistivo eléctrico (4) modificaba la curva de ebullición.

#### EJEMPLO 5

En esta materialización se empleó el dispositivo del primer ejemplo, aunque en este caso los primeros medios de visualización (7), los segundos medios de visualización (13), los terceros medios de visualización (9) y los cuartos medios de visualización se integraron en una unidad de control y registro materializada en un ordenador con una pantalla de visualización y una interfaz de comunicación con la fuente de alimentación eléctrica (6), el sensor de temperatura (8) y el sensor de imagen (11). En la memoria del ordenador se almacenó un programa con las instrucciones necesarias para llevar a cabo de forma automatizada las acciones de control y registro del ensayo descrito en el tercer ejemplo.

La ejecución del programa de control y registro desencadenó una señal para que la fuente de alimentación eléctrica (6) proporcionase una corriente eléctrica inicial de 4 A al elemento resistivo eléctrico (4), hasta que el sensor de temperatura (8) detectó una temperatura igual o superior a 98 °C durante más de 30 s.

A continuación, el ordenador comandó una corriente de 1 A a la fuente de alimentación eléctrica (6) e inició el almacenamiento en memoria de las imágenes del sensor de imagen (11) y de los valores de tensión y corriente recibidos desde la fuente de alimentación eléctrica (6). Una vez confirmada la recepción de estas señales, el ordenador comandó una rampa ascendente de corriente de 0,02 A/s hasta los 4 A y de 0,01 A/s por encima de dicho valor hasta el momento en el que un algoritmo de análisis de imagen, incluido en el programa y ejecutado por el procesador en ciclos de 0,1 s, detectó la incandescencia del elemento resistivo eléctrico (4).

A continuación, el ordenador comandó una rampa descendente de corriente de 0,1 A/s, cuya pendiente se fue reduciendo uniformemente hasta un valor de 0,02 A/s hasta alcanzar una

corriente final de 1,5 A, momento en el que el ordenador comandó el apagado de la fuente de 10 alimentación eléctrica (6) y la detención del registro de datos de todos los sensores.

- 5 El programa iba mostrando en tiempo real en la pantalla del ordenador tanto el vídeo proporcionado por el sensor de imagen (11) como los valores de corriente y tensión eléctrica y de temperatura del agua, así como una gráfica con los valores calculados de potencia frente a temperatura del elemento resistivo eléctrico (4), es decir, la curva de ebullición. Una vez concluido el ensayo, el programa permitía reproducir las imágenes y las secuencias de vídeo asociadas a cada punto de la curva de ebullición.

## REIVINDICACIONES

- 5 1. Dispositivo para la demostración y el estudio experimental de los regímenes de ebullición de un líquido que comprende:
  - una cubeta (1) que contiene un líquido, con al menos dos caras planas y paralelas entre las que se encuentra confinado un elemento resistivo eléctrico (4), y donde al menos una de estas caras comprende una porción transparente alineada con el elemento resistivo eléctrico (4);
  - 10 - un elemento resistivo eléctrico (4), con una proporción entre su longitud y su mayor dimensión transversal de al menos 100, que al entrar en contacto con el líquido lo calienta y produce la ebullición del líquido;
  - 15 - una fuente de alimentación eléctrica (6) que proporciona una corriente eléctrica a una tensión entre 0 y 24 voltios y una intensidad entre 0 y 10 amperios que traspasa el elemento resistivo eléctrico (4) y lo calienta, que además comprende unos medios de regulación y de registro de la tensión y de la intensidad;
  - 20 - unos medios de obtención de temperatura que determinan de forma directa o indirecta la temperatura del elemento resistivo eléctrico (4);
  - un sensor de imagen (11) que captura la imagen del líquido y del elemento resistivo eléctrico (4) a través de la porción transparente;
  - 25 - unos primeros medios de visualización (7) de la tensión y de la intensidad proporcionada por la fuente de alimentación eléctrica (6), y unos segundos medios de visualización (13) de la imagen capturada por el sensor de imagen (11).
- 30 2. Dispositivo según la reivindicación 1 caracterizado por que el fluido es agua.
3. Dispositivo según la reivindicación 1 caracterizado por que además comprende unos medios de iluminación (10) del líquido y del elemento resistivo eléctrico (4) en el interior de la cubeta (1).
- 35 4. Dispositivo según la reivindicación 3 caracterizado por que los medios de iluminación (10) son una pantalla LED dispuesta en una cara opuesta de la cubeta (1) en relación a la disposición del sensor de imagen (11).
- 40 5. Dispositivo según la reivindicación 3 caracterizado por que los medios de iluminación (10) son un anillo LED dispuesto coaxialmente al sensor de imagen (11).
6. Dispositivo según la reivindicación 1 caracterizado por que el elemento resistivo eléctrico (4) es de una aleación basada en níquel o cromo.
- 45 7. Dispositivo según la reivindicación 1 caracterizado por que la fuente de alimentación eléctrica (6) proporciona corriente a una tensión máxima de 6 V y a una intensidad máxima de 5,5 A.
8. Dispositivo según la reivindicación 1 caracterizado por que el sensor de imagen (11) tiene una
- 50 velocidad de adquisición de imagen de al menos 300 cuadros por segundo.
9. Dispositivo según la reivindicación anterior caracterizado por que además comprende un conjunto de lentes con longitud focal ajustable entre 2,8 y 12 mm asociadas al sensor de imagen (11).

10. Dispositivo según la reivindicación 1 caracterizado por que los primeros medios de visualización (7) son una pantalla LED que permite visualizar de forma simultánea tensión, intensidad o la potencia.
- 5 11. Dispositivo según la reivindicación 1 caracterizado por que los segundos medios de visualización (13) son una pantalla conectada a un procesador de imágenes que procesa las imágenes capturadas por el sensor de imagen (11).
- 10 12. Dispositivo según la reivindicación 1 caracterizado por que además comprende un sensor de temperatura (8) que mide la temperatura del líquido.
13. Dispositivo según la reivindicación 12 caracterizado por que además comprende unos terceros medios de visualización (9) de la temperatura del líquido medida por el sensor de temperatura (8).
- 15 14. Dispositivo según la reivindicación 1 caracterizado por que además comprende unos cuartos medios de visualización de la temperatura del elemento resistivo eléctrico (4).
15. Dispositivo según la reivindicación 1 caracterizado por que además comprende una tapa (2) que permite el acceso al interior de la cubeta (1).
- 20 16. Dispositivo según la reivindicación 1 caracterizado porque además comprende una unidad de control y registro que comprende un procesador y una memoria o memorias en las que se almacena un programa o programas que incluyen instrucciones que, cuando son ejecutadas por el procesador, hacen que la unidad de control y registro realice la lectura de la tensión y la intensidad de la fuente de alimentación eléctrica (6), determine la temperatura del elemento resistivo eléctrico (4), y genere las señales necesarias de control sobre el sensor de imagen (11), y que está configurada, a su vez, para el procesamiento de las imágenes recibidas del sensor de imagen (11) y de los datos de las lecturas, y para la ejecución de un algoritmo para demostración y estudio experimental de los regímenes de ebullición del líquido en función de los datos recibidos desde el procesador.
- 25 30 17. Dispositivo según la reivindicación 16 caracterizado por que los primeros medios de visualización (7) y los segundos medios de visualización (13) se integran en la unidad de control y registro.
- 35 18. Dispositivo según la reivindicación 16 caracterizado por que los primeros medios de visualización (7), los segundos medios de visualización (13) y los terceros medios de visualización (9) se integran en la unidad de control y registro.
- 40 19. Dispositivo según la reivindicación 16 caracterizado por que los primeros medios de visualización (7), los segundos medios de visualización (13), los terceros medios de visualización (9) y los cuartos medios de visualización se integran en la unidad de control y registro.
- 45 20. Dispositivo según las reivindicaciones 16 a 19 caracterizado por que la unidad de control y registro es un ordenador con una pantalla de visualización.

FIG. 1

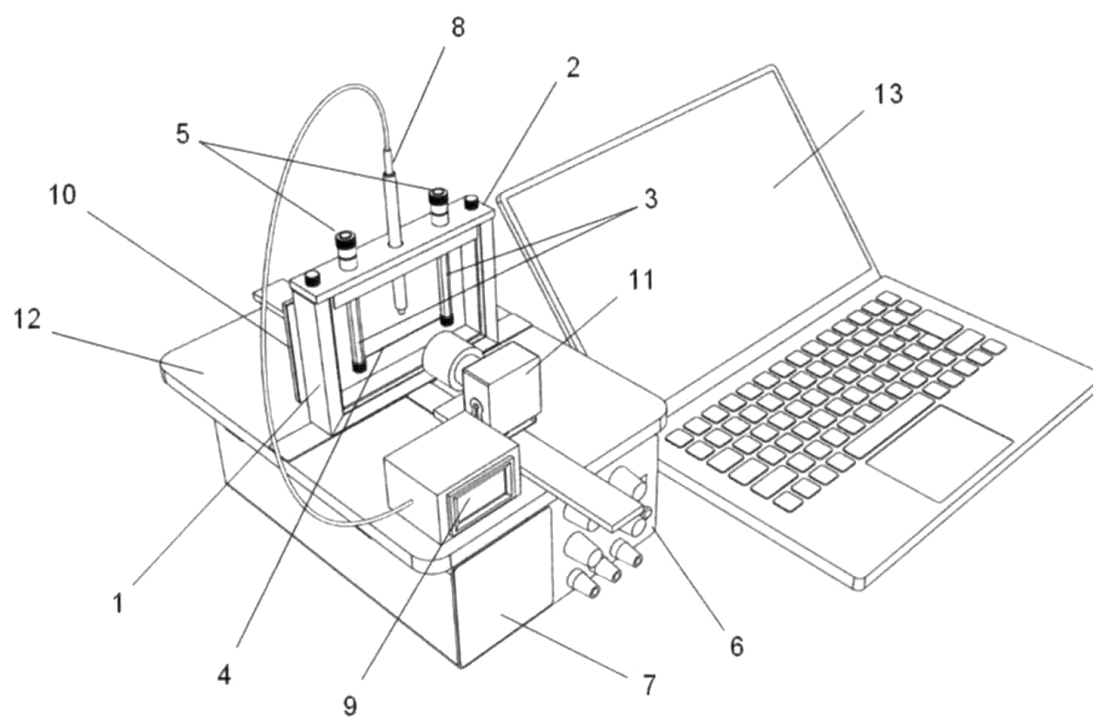


FIG. 2

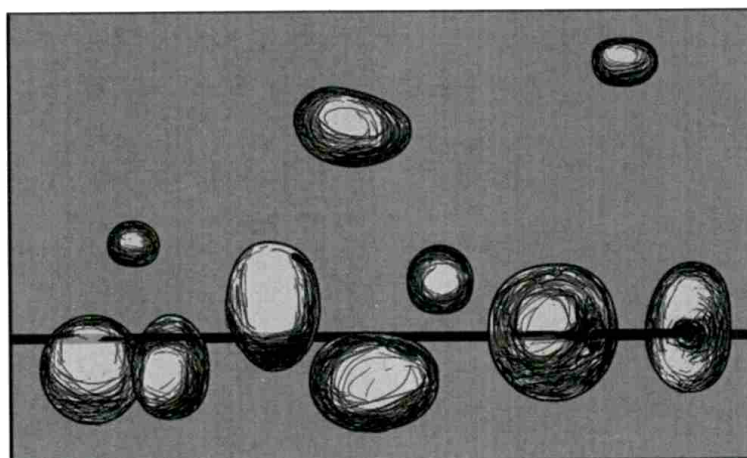


FIG. 3

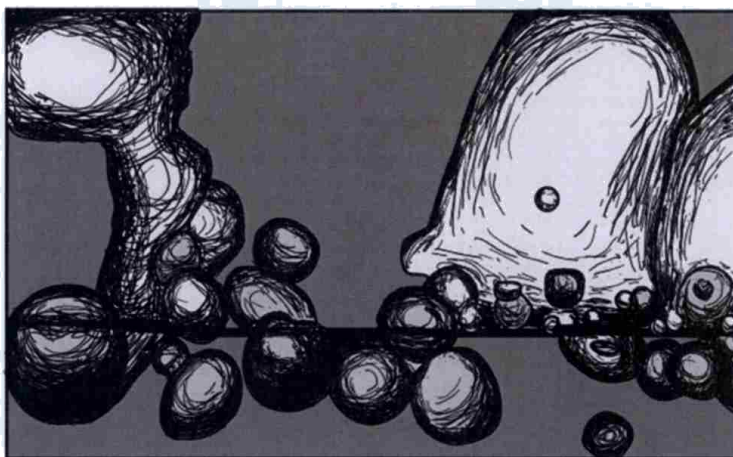


FIG. 4

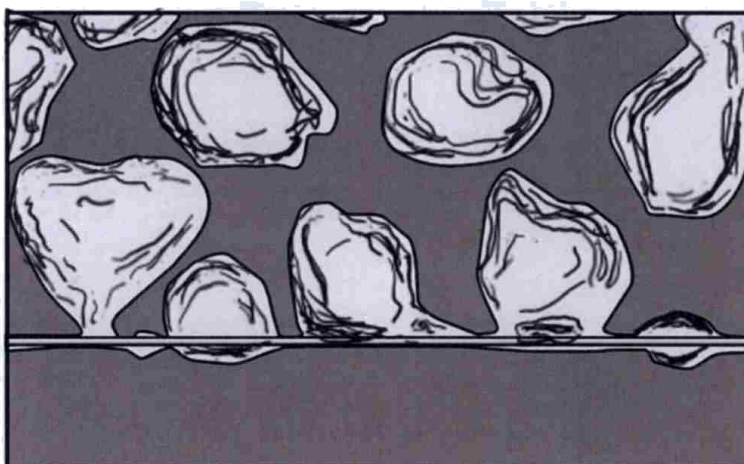


FIG. 5

