



## TÍTULO DE PATENTE No. 398963

**Titular(es):** UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO

**Domicilio:** Lascuráin de Retana No. 5, 36000, Guanajuato, Guanajuato, MÉXICO

**Denominación:** CELDA DE COMBUSTIBLE TIPO PEM, CON COLECTOR DE CORRIENTE-DIFUSOR EN FORMA DE ESPIRAL SIMPLE.

**Clasificación:** CIP: H01M8/02  
CPC: H01M8/0263

**Inventor(es):** ABEL HERNÁNDEZ GUERRERO; MARTÍN ALEJANDRO ALATORRE ORDAZ; JOSÉ ANTONIO ESCOBAR

### SOLICITUD

**Número:**  
MX/a/2007/011414

**Fecha de Presentación:**  
17 de Septiembre de 2007

**Hora:**  
14:45

**Vigencia:** Veinte años

**Fecha de Vencimiento:** 17 de septiembre de 2027

**Fecha de Expedición:** 15 de diciembre de 2022

La patente de referencia se otorga con fundamento en los artículos 1º, 2º fracción V, 6º fracción III, y 59 de la Ley de la Propiedad Industrial.

De conformidad con el artículo 23 de la Ley de la Propiedad Industrial, la presente patente tiene una vigencia de veinte años improrrogables, contada a partir de la fecha de presentación de la solicitud y estará sujeta al pago de la tarifa para mantener vigentes los derechos.

Quien suscribe el presente título lo hace con fundamento en lo dispuesto por los artículos 5º fracción I, 9, 10 y 119 de la Ley Federal de Protección a la Propiedad Industrial; artículos 1º, 3º fracción V, inciso a), 4º y 12º fracciones I y III del Reglamento del Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial; artículos 1º, 3º, 4º, 5º fracción V, inciso a), 16 fracciones I y III y 30 del Estatuto Orgánico del Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial; 1º, 3º y 5º fracción I Acuerdo Delegatorio de Facultades del Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial.

El presente documento electrónico ha sido firmado mediante el uso de la firma electrónica avanzada por el servidor público competente, amparada por un certificado digital vigente a la fecha de su elaboración, y es válido de conformidad con lo dispuesto en los artículos 7 y 9 fracción I de la Ley de Firma Electrónica Avanzada y artículo 12 de su Reglamento. Su integridad y autoría, se podrá comprobar en [www.gob.mx/impi](http://www.gob.mx/impi).

Asimismo, se emitió conforme lo previsto por los artículos 1º fracción III; 2º fracción VI; 37, 38 y 39 del Acuerdo por el que se establecen lineamientos en materia de Servicios Electrónicos del Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial.

## SUBDIRECTORA DIVISIONAL DE EXAMEN DE FONDO DE PATENTES ÁREAS MECÁNICA, ELÉCTRICA Y DE DISEÑOS INDUSTRIALES Y MODELOS DE UTILIDAD

### MARINA OLIMPIA CASTRO ALVEAR



Cadena Original:

MARINA OLIMPIA CASTRO ALVEAR|00001000000510738631|SERVICIO DE ADMINISTRACION  
TRIBUTARIA|1987|MX/2023/34745|MX/a/2007/011414|Título de patente normal|1027|RGZ|Pág(s)  
1|ZOsCP/tAbc6ztIVydxLa0sjFiNs=

Sello Digital:

KYXdkuBJD5QTwT1hPs6yK5UsXfNfLMV+YUgJ522AnEtmzoKSPT4vsJ0V1z/tpvF/CYBUuUUz7ju0Bw9W84UBvZtRpe  
N2MOv1w4EBIZ4CRZvA4raQlcX4yoFcDGGC3trHR/F2s5hfQYqDoYcV2R/FfetRp15tvywifgNSYslwgo2nmZfkmH6  
kxc6VTebxRg3fIA2jUyGRhYFwyF9LyzTYXFL8UJpCjOi+eam7gcBLkVW3AUblVVcKnjzwwVSXyTYjhSc+YOqt9+jvN  
meJQAiHWfoQG9Uc4vr99Lnu4GqOEyRX7FFy1RPWPb94cKA+ynWszXkCzZj6jkwHqc+5Gj1Cg==



MX/2023/34745



---

**Celda de Combustible Tipo PEM, con Colector de Corriente-Difusor  
en Forma de Espiral Simple.**

**DESCRIPCIÓN**

**OBJETO DE LA INVENCION**

5 El propósito de esta invención es mejorar el desempeño de las celdas de combustible (FC, por sus siglas en inglés) del tipo membrana de intercambio de protones (PEMFC por sus siglas en inglés), produciendo una mayor densidad de corriente, a través del uso de colectores de corriente contruidos con grafito de alta densidad, cuyos canales de distribución de gases (combustible y oxidante) siguen un patrón de trayectoria en forma de

10 espiral; mediante este patrón se logra disminuir la caída de presión del gas, con respecto a los patrones tradicionales. En esta invención se presenta una celda de combustible de tipo PEM, contruida únicamente en grafito y utilizando un ensamble membrana electrodo (MEA, por sus siglas en inglés) comercial; el resto de los elementos componentes de la PEMFC son diseñados especialmente para el colector-distribuidor con geometría de espiral.

15

**ANTECEDENTES**

Las celdas de combustible tipo PEMFC tradicionales constan comúnmente de colectores de corriente-difusores que poseen canales con diferentes configuraciones en la trayectoria de flujo. Las configuraciones desarrolladas hasta el momento se agrupan de la

20 siguiente forma [Xiang Li, Imran Sabir. International Journal of Hydrogen Energy. vol 30 pp; 359-371. 2005]:

- Trayectoria en forma de serpentín.
- Trayectoria en forma de aleta.
- Trayectoria de flujo con canales en formas paralelas y perpendiculares.
- Trayectoria en forma interdigitada.
- 5 - Trayectoria en formas biomiméticas. Estas trayectorias se basan en copiar las trayectorias que se presentan en la naturaleza, por ejemplo los canales por donde circula la savia en las hojas de las plantas.

Aparte de las trayectorias ya descritas también existen colectores-difusores que utilizan trayectorias híbridas [Xiang Li, Imran Sabir. International Journal of Hydrogen Energy. 10 vol 30 pp; 359-371. 2005] con variaciones de cada una de las trayectorias que se presentaron.

Los patrones de trayectoria arriba mencionados presentan los siguientes problemas:

- 15 - Trayectoria en forma de serpentín.- Los cambios de dirección del fluido son en forma de escuadra a 90°, lo que ocasiona que el fluido se quede estancado en las secciones de giro del fluido, además de provocar una gran caída de presión. Todo esto conlleva a una reducción en la cantidad de densidad de corriente (eficiencia o potencia) producida en la FC [W.K. Lee, J.W. Van Zee, S. Shimpalee, S. Dutta. Proceedings of ASME IMECE. HTD 364-1. pp 367-372. 1999].
- 20 - Trayectoria en forma de aleta.- En esta geometría el flujo de los gases tiende a conducirse por el camino que le ofrezca la menor resistencia. Esta situación genera la existencia de zonas en la FC en donde se produce una gran cantidad de densidad

de corriente, y zonas donde la producción de corriente es muy baja. Esta desigual distribución de la FC provoca que el promedio de la densidad sobre el área del colector-difusor sea bajo [Xiang Li, Imran Sabir. International Journal of Hydrogen Energy. vol 30 pp; 359-371. 2005].

- 5       – Trayectoria de flujo con canales en formas paralelas y perpendiculares.- Al igual que la trayectoria en forma de aleta se producen zonas en donde existe una producción de densidad de corriente muy alta y otras en donde la densidad de corriente es muy baja, esto ocurre nuevamente por que el gas siempre busca el camino que le ofrezca menor resistencia [Xiang Li, Imran Sabir. International
- 10       Journal of Hydrogen Energy. vol 30 pp; 359-371. 2005].
- Trayectoria en forma interdigitada.- En este tipo de configuraciones se utilizan dos canales, uno para el suministro de combustible y otro para el desalojo de los productos de la reacción electroquímica; esta geometría provoca muy fácilmente la inundación con agua de los canales, impidiendo que en las zonas inundadas se siga
- 15       produciendo electricidad y provocando que el desempeño global de la PEMFC decaiga. La inundación es causada por el lento paso del agua hacia el canal de desalojo, la velocidad de traslado es lenta porque es controlada por el mecanismo de difusión molecular [Xiang Li, Imran Sabir. International Journal of Hydrogen
- Energy. vol 30 pp; 359-371. 2005].
- 20       – Trayectoria en formas biomiméticas.- La desventaja de esta trayectoria es su maquinado, debido a que las formas que se encuentran en la naturaleza son muy complejas, siguiendo geometrías fractálicas, trayectorias muy difíciles de construir

con los métodos de manufactura tradicionales [Xiang Li, Imran Sabir. International Journal of Hydrogen Energy. vol 30 pp; 359-371. 2005].

- Trayectorias híbridas.- Tienen la desventaja de la complejidad de sus patrones de canales distribuidores de flujo, que al igual que en el caso anterior, incide en los costos de manufactura.

Existen varias patentes que utilizan un patrón difusor de gases en forma de espiral; se puede mencionar una solicitud de patente de un colector-difusor [WO 0237592] en cuyo modelo se utilizan dos canales por cada colector-difusor, uno para suministrar el gas y el otro para desalojar los productos de la reacción electroquímica que se lleva dentro de la celda de combustible tipo PEM; este modelo de geometría, al igual que la trayectoria interdigitada, presenta problemas de inundación debido a que el desalojo del gas es bastante lento por estar determinado por la velocidad de difusión molecular de los gases producto de la reacción. Considerando las limitantes de los colectores-difusores de gases que han sido reportados y/o patentados en la presente propuesta se eligió utilizar solo un canal para el suministro y desalojo de gases, para evitar los fenómenos de caída de presión de los gases reactantes así como el estancamiento del agua, producto de la reacción de combustión. En efecto, mediante simulaciones numéricas, se logró demostrar que al utilizar un solo canal, el desalojo de los productos de la reacción se efectúa prioritariamente por el empuje que ejerce la velocidad de la línea de flujo principal (empuje de la transferencia de momentum) y no por la difusión molecular, con lo que se logra un desalojo más rápido de los productos de la reacción; la forma de espiral minimiza las caídas de presión provocadas por cambios significativos en la dirección del flujo en los patrones tradicionales de las PEMFC.

Otra patente ya registrada con patrones de doble espiral (dos canales por cada elemento colector-difusor) es la patente [US 7,029,776], en la cual también se puede presentar el mencionado problema de inundación debido a la lentitud con la que se lleva el desalojo de los productos de la reacción. Otra diferencia a señalar de esta patente es que el tipo de espiral que presenta son vueltas en forma de escuadra a 90°, lo que provoca que existan zonas de estancamiento de gases y alta caída de presión.

Las patentes [US 6,942,767] y [US 6,780,536] no utilizan capas de difusión de gases ni tampoco catalizadores. El no usar las capas de difusión de gas ocasiona que la reacción se dé en menor cantidad debido a que se reduce el área de reacción, y el no utilizar los catalizadores origina que la velocidad de reacción sea más lenta. Al igual que la [US 7,029,776], la patente [US 6,780,536] usa un espiral que tiene vueltas a 90°. La patente [US 6,942,767] propone un canal de flujo en forma de espiral que desperdicia mucha área en el centro del modelo. En el presente prototipo se propone usar la mayor cantidad de área disponible para el flujo de gases. Con la mayor utilización de área se espera obtener una mayor generación de electricidad. Para aprovechar la mayor cantidad de área del colector difusor se propone el uso de un espiral geométrico (también conocido como espiral de Arquímedes). La trayectoria del canal de flujo en forma de espiral geométrico está definida por la siguiente expresión:

$$r = a\theta$$

donde  $r$  es el radio del espiral,  $a =$  constante,  $\theta$  ángulo de la espiral. La característica principal de la trayectoria de canal de flujo en forma de espiral de Arquímedes es que la distancia entre los canales es la misma e igual al ancho del canal de flujo.

5            Además se puede mencionar la solicitud de patente [WO 03088378], la cual también presenta un prototipo para celda de combustible utilizando un colector-difusor en forma de espiral doble (en contraste con el prototipo que se desarrolla en este trabajo que solo utiliza un espiral simple) con dos canales para el suministro de gases y dos canales para el desalojo de los productos de la reacción, con las desventajas antes señaladas para  
10 este diseño (inundación del canal de desalojo, disminuyendo la cantidad de energía eléctrica que está produce). La ventaja del colector-difusor en forma de espiral simple de la presente propuesta es que el desalojo de los productos de la reacción es controlado principalmente por el empuje de la transferencia de momentum, con lo que se logra una expulsión más rápida de los productos de la reacción.

15

Finalmente, las patentes [JP 2004185933 (solicitud de patente)] y [US 6 294 280] son prototipos usados para enfriar los *stacks* (un *stack* es la unión de varias celdas de combustible conectadas en serie) de celdas de combustible. Como la reacción que se lleva a cabo dentro de la celda de combustible es altamente exotérmica, el *stack* de la celda de  
20 combustible se calienta. Calentar demasiado el *stack* de celdas de combustible provoca que la membrana de intercambio de protones se degrade más rápido que si se trabaja a la temperatura de operación normal (alrededor de 80 °C). La mayor diferencia entre las patentes [JP 2004185933 (solicitud de patente)] y [US 6 294 280] y el modelo propuesto

aquí es que estas patentes son usadas para enfriar las celdas de combustible y no para suministrar los gases reactantes dentro de la celda de combustible; suministrar los gases reactantes a la celda de combustible es la principal función del colector-difusor que se presenta en esta propuesta. Además las patentes [JP 2004185933 (solicitud de patente)] y

5 [US 6 294 280] tienen una espiral que se caracteriza por tener vueltas en forma de escuadra a 90°, lo que provoca, por las razones anteriormente mencionadas, que su desempeño sea inferior al de la espiral de Arquímedes.

*Descripción de una celda de combustible tipo PEM [Larminé J., Dicks A., "Fuel Cells*

10 *Systems Explained", John Wiley and Sons, 2000]*

Una celda de combustible es un dispositivo electroquímico que convierte directamente la energía química en energía eléctrica a través de una reacción electroquímica. La celda de combustible tipo PEM utiliza hidrógeno y aire para producir agua, electricidad y calor. Los componentes de una celda de combustible tipo PEM se pueden agrupar, de manera general,

15 de la siguiente forma:

- Colectores de corriente eléctrica. Estos colectores aparte de recoger la energía eléctrica generada por la celda de combustible también funcionan como distribuidores de gases, ya que sobre ellos se maquinan los canales de flujo (ánodo y cátodo).
- 20 • Ánodo. Es el electrodo en donde ocurre la reacción de oxidación. El ánodo también cumple las funciones de canal de flujo, es por donde circulan el hidrógeno y el vapor de agua, y sirve de colector de corriente.

- Cátodo. Es el electrodo en donde ocurre la reacción de reducción. El cátodo también cumple las funciones de canal de flujo, es por donde circulan el aire y vapor de agua, y sirve de colector de corriente.
- Capas de difusión de gas. Son adyacentes a los canales de flujo (ánodo y cátodo), su función es proporcionar una mayor área de reacción y lo logran debido a que están hechas de grafito poroso. Los poros aumentan el área de reacción considerablemente.
- Catalizadores (ensamble membrana-electrodo, MEA, por sus siglas en ingles). Son materiales composites a base de partículas de grafito de baja granulometría con un depósito de platino e impregnadas con un ionómero, conductor de cationes, adheridas a una membrana intercambiadora de cationes. Es en este material composito en donde se llevan a cabo las reacciones electroquímicas, las cuales se muestran de forma general a continuación:



La membrana sirve para separar los catalizadores que se encuentran adyacentes a las capas de difusión del ánodo y el cátodo, no permitiendo el paso de los gases reactantes hacia el otro lado de la celda de combustible, solo permitiendo el paso de los protones que van del ánodo hacia el cátodo. Por lo general las membranas de intercambio de protones están hechas de sulfonado tetrafluoroetileno basado fluoropolímero - copolímero (Nafion®).

*Descripción del funcionamiento de la celda de combustible tipo PEM [Larminie J., Dicks A., "Fuel Cells Systems Explained", John Wiley and Sons, 2000].*

Los canales de flujo de la celda de combustible (ánodo y cátodo) transportan los gases reactantes: hidrógeno y vapor de agua para el ánodo, aire u oxígeno para el cátodo.

5 Los gases al circular por los canales de flujo pasan hacia las capas de difusión, las capas de difusión son adyacentes a los canales de difusión. Los gases reactantes, cuando circulan por las capas de difusión, pasan hacia los catalizadores que se encuentran en medio de las capas de difusión. En la interfase catalizador-ionómero-carbono es en donde se llevan a cabo las reacciones electroquímicas de oxidación del combustible en el compartimiento anódico y

10 de reducción del oxidante en el compartimiento catódico. En medio de todos los componentes de la celda de combustible tipo PEM se encuentra la membrana de intercambio de protones. La molécula de combustible (hidrógeno, en el caso de las PEMFC) que circula en el compartimiento anódico llega a la MEA, en donde se oxida catalíticamente, generando protones y electrones, los protones pasan a través de la

15 membrana hacia el catalizador del cátodo y los electrones salen de la celda y van hacia el cátodo mediante un circuito eléctrico, formado por el colector de corriente, y un sistema (cableado) conductor de electricidad. Debido a que la energía libre de Gibbs es termodinámicamente favorable para la reacción global, y siendo una reacción altamente exotérmica, parte de la energía producida por la reacción se disipa en forma de calor, otra

20 parte de la energía producida por la reacción se aprovecha como energía eléctrica para diferentes propósitos y el resto de la energía se utiliza en la reacción del compartimiento catódico. En el EME (Ensamble Membrana Electrodo) del compartimiento catódico se reduce la molécula de oxígeno entrando en contacto con los protones y con los electrones,

formando moléculas de agua. Así, y de forma general, los productos de la reacción global de una PEMFC son electricidad, agua y calor.

En la presente propuesta de invención, además del colector-difusor, se presenta un prototipo de PEMFC, adaptado específicamente al diseño de colector-difusor en forma de espiral simple. Para este propósito se utilizó únicamente una MEA comercial. El resto de los accesorios y elementos que conforman el prototipo fueron diseñados específicamente para el mencionado colector-difusor en forma de espiral simple, y forman parte integral del objeto de la presente invención.

10

#### BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

**Figura 1.** Vista superior del colector-difusor para hidrógeno (1): (2) canal de flujo, (3) entrada y/o salida de gases, (4) entrada y/o salida de gases.

15 **Figura 2.** Vista isométrica del colector-difusor (1).

**Figura 3.** Vista superior del segundo colector-difusor para oxígeno o aire (5): (6) canal de flujo, (7) entrada y/o salida de gases, (8) entrada y/o salida de gases.

20 **Figura 4.** Vista superior del ensamble membrana electrodo comercial, *MEA* (9), adaptada a la geometría del prototipo de PEMFC, (10) catalizadores y capas de difusión de gas, (11) orificios para tornillos x 8.

**Figura 5.** Vista isométrica de la MEA (9).

25

**Figura 6.** Vista superior de la base del colector-difusor (12): (13) *pocket* para el colector difusor, (14) orificios para los tornillos x 8, (15 y 16) conexiones para gas, (17) conexión eléctrica.

30 **Figura 7.** Vista superior de la segunda base del colector-difusor (18): (19) *pocket* para el colector difusor, (20) orificios para los tornillos x 8, (21 y 22) conexiones para gas, (23) conexión eléctrica.

**Figura 8.** Vista isométrica de la base del colector difusor (12).

**Figura 9.** Vista superior de la placa de metal (24): (25) orificios para los tornillos x 8, (26 y 27) conexiones para gas, (28) conexión eléctrica.

5 **Figura 10.** Vista isométrica de la placa de metal (24).

**Figura 11.** Vista superior del empaque (29): (30) orificio para el colector-difusor, (31) orificios para los tornillos x 8.

10 **Figura 12.** Vista isométrica del empaque (29).

**Figura 13.** Vista isométrica del ensamble de la celda de combustible.

**Figura 14.** Vista lateral del ensamble de la celda de combustible.

15

**Figura 15.** Vista isométrica modificada del ensamble de la celda de combustible.

**Figura 16.** Contornos de densidad de corriente [ $A/m^2$ ] para: a) celda en forma de serpentin [2], b) celda en forma de espiral simple.

20

**Figura 17.** Valores de voltaje para la celda en forma de espiral simple y para la celda comercial a 40 minutos de operación.

25

## DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

El colector-difusor de gases (1) y (5) en forma de espiral simple geométrica de Arquímedes con un solo canal, para una celda de combustible es un diseño novedoso, dado que maximiza la distribución de gas reactante sobre el área activa de la celda de combustible (definiendo área activa como el área ocupada por la MEA), a través de la correcta distribución de los gases reactantes y su desalojo oportuno de la celda de combustible para evitar la inundación de la membrana de intercambio de protones. A diferencia de un colector-difusor para una celda del tipo PEM con doble canal (un canal para el suministro de gases reactantes y otro para el desalojo de los productos de la

30

reacción) con este invento se induce a que el desalojo de los gases dependa en mayor medida del empuje de la transferencia de momentum, a diferencia de los dispositivos de colector-difusor en forma de espiral de doble canal, en los cuales el mencionado desalojo depende mayormente en el mecanismo de difusión molecular. Además, en el colector-difusor con dos canales se desaprovecha una parte del área en el canal de desalojo. Al tener una mayor área para el suministro de gas se logra generar una mayor densidad de corriente.

Otra ventaja es que el colector-difusor (1) y (5) en forma de espiral simple geométrica de Arquímedes con un solo canal, tiene una mayor área de suministro de gas reactante dentro de la celda de combustible, con respecto a los diseños convencionales en forma de serpentin, y con respecto a otros patrones de distribución de flujo en forma de espirales simples, con geometrías diferentes a la de tipo Arquímedes.

El colector-difusor de gases en forma de espiral simple geométrica de Arquímedes está diseñado para evitar las zonas de estancamiento de los gases reactantes dentro de la celda de combustible; para este fin, se suprimió el uso de vueltas (o cambios de dirección de flujo) en forma de escuadra. Al eliminar el uso de vueltas en forma de escuadra también se reducen las pérdidas de presión ocasionadas por aquellos modelos en forma de serpentin o espirales con este patrón de cambio de flujo en escuadras.

Con ambos colectores (1) y (5), siendo cada uno la imagen especular del otro, en la presente invención se describen los diferentes elementos que integran una celda de combustible tipo PEMFC, teniendo como elementos principales de la invención los mencionados colectores-difusores (1) y (5), además de una MEA comercial y el resto de los accesorios diseñados especialmente para el patrón-difusor.

*Componentes de la celda de combustible.*

En la Figura 1 se muestran los elementos que componen el colector-difusor (1) de gases para una celda de combustible, el cual consta de un canal de flujo (2) para los gases en forma de espiral geométrica de Arquímedes, dos orificios (3) y (4) para la entrada y/o salida de los gases que circulan dentro de la celda de combustible tipo PEM. La vista isométrica del colector-difusor 1, se muestra en la Figura 2, siendo un patrón sencillo de trazar con un programa de diseño gráfico, y trasladar a máquinas de tipo CNC para el maquinado de la pieza en un material conductor y con gran estabilidad fisicoquímica. Para el prototipo utilizado en las pruebas de la presente invención se utilizó una placa de grafito de alta densidad. El segundo colector-difusor (5) que integrará el compartimiento donde se realizará la contrareacción en la FC se muestra en la Figura 3, y contiene los mismos elementos que el colector difusor (1), con la única diferencia que el canal en forma de espiral (6) es una imagen especular del canal (2), se toma la imagen especular para formar el ensamble de la celda de combustible. El colector-difusor (5) también contiene dos orificios (7) y (8) para la entrada y/o salida de gases.

El ensamble membrana electrodo comercial (9), contiene una membrana del ionómero hecho de sulfonado tetrafluoroetileno basado fluoropolímero - copolímero (Nafion<sup>®</sup>) que ocupa toda el área mostrada en la Figura 4 y se encuentra cubierta parcialmente (área sombreada) por el material composite descrito arriba (catalizador/carbono/ionómero) formando a su vez las capas de difusión de gas (10). Además el MEA contiene 8 orificios (11) para permitir el paso de tornillos de fijación del dispositivo global que forma la PEMFC (Figura 13). En la Figura 5 se observa la vista

isométrica del ensamble membrana electrodo [producto # 590710, comercializado por [www.fuelcellstore.com](http://www.fuelcellstore.com)].

La Figura 6 muestra el diagrama de la base del colector-difusor. Dicha base (12) está maquinada sobre acrílico, material fácilmente maquinable y que brinda el primer soporte al colector-difusor de grafito. La base contiene un *pocket* (13) en donde va ensamblado el colector-difusor (1). En la base hay 8 orificios (14) maquinados para permitir el paso de los tornillos arriba mencionados. Las entradas y salidas de gases (15 y 16) se encuentran maquinadas en el *pocket* (13), así como también el orificio para la conexión eléctrica (17).

La Figura 7 muestra la segunda base para el colector-difusor (18), el cual al igual que (12) contiene los mismos elementos solo que maquinados en imagen especular, por las razones anteriormente expuestas. Los elementos son un *pocket* (19), ocho orificios (20) para los tornillos, dos orificios para la entrada y/o salida de gases (21) y (22), y un orificio para la conexión eléctrica (23). En la Figura 8 se muestra la vista isométrica de la base de acrílico. Los *pockets* (13) y (19) tienen una profundidad menor al espesor del acrílico, y corresponden exactamente al espesor del colector-difusor, para evitar que sobresalga del plano de la placa de acrílico.

Para dar rigidez a la celda se complementan las capas que formarán el conjunto del dispositivo con dos placas de acero (24), cuyo diagrama se presenta en la Figura 9. La placa contiene ocho orificios (25) para los tornillos, dos orificios para la entrada y/o salida de gases (26) y (27), y un orificio para la conexión eléctrica (28). La Figura 10 muestra la vista

isométrica de la placa de acero, con los orificios mencionados. La ventaja de utilizar el conjunto placa de acero-acrílico reside en la facilidad de maquinar el segundo material, notablemente para el *pocket*, con respecto a realizar el cuerpo del soporte completamente en acero.

5

Dos empaques de neopreno (29) que se sitúan entre las placa de acrílico (12 y (18) y el MEA (9) se muestra en la Figura 11. Este elemento cumple con la función de sello para los gases reactantes y productos de la reacción, y tiene una sección abierta (30) por la cual se permite el contacto entre el colector-difusor (1, 5) y las capas de difusión (10), además de ocho orificios (31) para los tornillos de fijación. En la Figura 12 se muestra la vista isométrica para el sello de neopreno (29).

#### *Ensamble de la celda de combustible.*

La celda de combustible tipo PEM sigue el procedimiento de ensamble, basada en los reactores de tipo filtro-prensa que se muestra en la Figura 13 y se describe a continuación. La MEA (9), Figura 4, ocupa el lugar central del ensamble. A cada lado del MEA (9) se colocan dos empaques (29), Figura 11, usados para evitar la fuga de gases. Los empaques tienen una abertura (30) por la cual el colector-difusor de gas (1) tiene acceso a la capa de difusión de gas (10); este contacto es necesario para cerrar el circuito electrolítico por donde circularan los protones y el agua productos de la reacción. Los colectores-difusores de gas (1) y (5) van montados a las bases que contienen el *pocket* (13) y (19), en donde se insertan los colectores-difusores (1) y (5). Estas bases están protegidas por una placa de acero (24), Figura 9. Las placas de acero se colocan adyacentes a las bases de acrílico (12)

y (18). Tanto las placas de acero (24), las bases (12) y (18) para los colectores-difusores, los empaques (dos empaques iguales a (29)) y la MEA (9) poseen orificios en donde se insertan tornillos que son apretados para unir el ensamble de la celda de combustible. Los orificios para la entrada y/o salida de gases (15), (16), (21), (22) y también los orificios para las conexiones eléctricas (17) y (23) se encuentran roscados para conectar las mangueras de suministro de gas y las conexiones eléctricas respectivamente. Se roscan los orificios (15), (16), (21), (22) para evitar la fuga de los gases.

En la Figura 13 se muestra la vista isométrica del ensamble de la celda de combustible. La posición de los elementos arriba descritos en el ensamble de la celda PEMFC es el siguiente: las placas de acero (24) se encuentran en los extremos del ensamble, en medio de las placas de acero se encuentran las dos bases del colector-difusor (12) y (18). Los colectores-difusores (12) y (18) no se pueden apreciar claramente en esta vista debido a la perspectiva de la misma, pero sí se muestran con toda claridad en las Figuras 14 y 15. En medio de los colectores-difusores (12) y (18) se encuentran los dos empaques (29) y entre los dos empaques se encuentra el ensamble membrana electrodo o MEA.

En la Figura 15 se encuentra una vista isométrica modificada; en la cual es posible observar todas y cada una de las piezas que conforman el ensamble de la celda de combustible arriba descritas.

*Desempeño de una celda de combustible.*

Para evaluar el desempeño del prototipo de celda de combustible con canal en forma de espiral, objeto de la presente invención, y compararla con respecto a una PEMFC, con patrón difusor de gases de forma convencional (serpentín, con ángulos de 90°) se realizó en primer lugar una simulación numérica utilizando un software comercial (Fluent 6.1®). El modelo tridimensional de la celda de combustible fue construido en software de modelado (Gambit®). Debido a que el software comercial solo resuelve las ecuaciones de momento y no toma en cuenta los efectos de la reacción electroquímica que se lleva a cabo dentro de la celda de combustible fue necesario acoplar una rutina escrita en lenguaje C [Elizalde Blancas F., Tesis de Maestría, Universidad de Guanajuato, 2005] para que el código de CFD (Computational Fluid Dynamics) pudiera simular el funcionamiento de la celda de combustible en forma de espiral simple de forma realista. Las condiciones de entrada a las que fue sujeta la simulación de la celda de combustible en forma de espiral simple fueron las mismas a las que se sometió una celda de combustible con canales en forma de serpentín [W.K. Lee, J.W. Van Zee, S. Shimpalee, S. Dutta, Proceedings of ASME IMECE. HTD 364-1. pp 367-372. 1999]. Así mismo los resultados obtenidos de la celda de combustible en forma de espiral simple fueron comparados con los resultados que se reportaron en la referencia [W.K. Lee, J.W. Van Zee, S. Shimpalee, S. Dutta, Proceedings of ASME IMECE. HTD 364-1. pp 367-372. 1999]. Se eligió el arreglo en forma de serpentín como modelo de comparación porque en la literatura científica resulta ser éste el modelo más utilizado. Otra característica de la mencionada referencia es el desalojo de los gases, el cual se lleva a cabo principalmente por el empuje de la transferencia de momentum, así que el rendimiento de los dos modelos de colectores-difusores se simulan

en igualdad de condiciones. Mediante las simulaciones numéricas se logró demostrar que con la geometría de espiral simple se puede obtener la mayor cantidad de energía eléctrica posible, sin provocar la inundación del canal.

5           En efecto, en la Figura 16 se muestran los valores de densidad de corriente para el modelo en espiral simple comparados con los valores reportados por la mencionada referencia de S. Shimpalee [W.K. Lee, J.W. Van Zee, S. Shimpalee, S. Dutta, Proceedings of ASME IMECE. HTD 364-1. pp 367-372. 1999], para una celda de combustible con un arreglo de flujo en forma de serpentín. El valor reportado de la densidad de corriente a la

10    entrada (E1) del modelo de Shimpalee es aproximadamente de  $7000 \text{ A/m}^2$  y de  $2300 \text{ A/m}^2$  a la salida (S2) (Figura 16 a)). En cambio en el modelo de espiral simple, objeto de la presente invención, se tienen los valores de  $8000 \text{ A/m}^2$  y de  $4000 \text{ A/m}^2$  a la entrada (E2) y salida (S2) del modelo respectivamente. Estos resultados de la simulación muestran una

15    mejor y más alta distribución de corriente en la celda de combustible que utiliza un colector-difusor en forma de espiral simple comparado con la distribución de corriente de la celda de combustible que utiliza un colector-difusor en forma de serpentín.

La construcción de un prototipo basado en los diagramas de las Figuras 13, 14 y 15 se realizó para tomar datos experimentales entre las configuraciones de celda de combustible en forma de espiral simple con respecto a las celdas de combustible

20    comerciales y las celdas de combustible en forma de serpentín. Los colectores-difusores (1) y (5) están hechos de grafito de alta densidad, sobre los colectores-difusores se maquinaron los canales de flujo (2) y (6) y los orificios de la entrada y/o salida de gases (3), (4), (7) y (8) fueron perforados sobre la trayectoria de los canales de flujo. Para soportar

estructuralmente a los colectores-difusores se maquinaron unas bases en acrílico (12) y (18) las cuales tienen un *pocket* (13) y (19) en donde se ensambla el colector-difusor. Las bases cuentan con orificios para los tornillos (14) y (20), los tornillos serán los que proporcionen el apriete para mantener unidos todos los elementos de la celda de combustible. La parte principal de la celda de combustible es el ensamble membrana electrodo (9), al ser el material donde se efectúan las reacciones de oxido-reducción arriba descritas, además de permitir el paso de los protones de hidrógeno hacia el cátodo de la celda de combustible permitiendo que la reacción electroquímica se lleve a cabo. Para el prototipo de la PEMFC objeto de la presente invención se utilizó un MEA de 10 cm<sup>2</sup> de área activa. Para evitar la fuga de los gases de la celda de combustible se manufacturaron unos empaques de neopreno (29). Finalmente, para que la presión ejercida por los tornillos se distribuyera de una forma eficiente sobre las bases del colector-difusor se construyeron las placas de acero (24), las cuales protegen a las bases de un resquebrajamiento debido al apriete de los tornillos.

15

El prototipo de celda de combustible, objeto de la presente invención se conectó a un electro-hidrolizador [Rojas Arroyo D., Tesis de Licenciatura, Universidad de Guanajuato, 2006], generador de hidrógeno y oxígeno electrolíticos, el cual se conecta a una fuente de poder o a una batería alimentada por energía solar. La conexión del electro-hidrolizador a la celda de combustible se hizo mediante unos conectores típicamente utilizados para celdas de análisis de inyección en flujo, en medio de los conectores se insertó un tubo de teflón de diámetro interno de 1/32 de pulgada, el tubo de teflón se

20

caracteriza por tener un aplanado térmico en su punta el aplanado tiene una forma circular, perpendicular al eje del tubo de teflón.

Para evaluar el desempeño de la PEMFC objeto de la presente invención, se sometió a un régimen de flujo de hidrógeno y oxígeno de 1.5 ml/min (ánodo y cátodo respectivamente) a presión atmosférica y se monitoreó el voltaje generado por la reacción galvánica de la celda durante 40 minutos de operación. Las curvas de voltaje resultandos fueron comparadas con las obtenidas por una celda de combustible comercial [h-tec<sup>®</sup> modelo 1919] a igualdad de condiciones de operación para los dos modelos; los resultados se muestran en la Figura 17.

La abscisa de la Figura 17 representa el tiempo en segundos, la ordenada es el voltaje producido por las celdas de combustible. En la Figura 17, (32) es la línea que representa los valores de voltaje obtenidos con la PEMFC con canal de flujo con trayectoria en forma de espiral de Arquímedes y (33) es la línea de valores de voltaje para la celda de combustible comercial.

Es importante e interesante remarcar que la Figura 17 muestra cómo la celda de combustible en forma de espiral simple (32) tiene un mejor comportamiento a través del tiempo comparada con respecto a la celda de combustible comercial (33), ya que presenta un valor de voltaje más alto, además de que su caída de potencial no es tan drástica como la que ocurre en la celda comercial. Esta comparación muestra el desempeño superior de la PEMFC (con un área menor de MEA, 10 cm<sup>2</sup> de MEA), objeto de la presente invención, con respecto a la celda comercial, (cuya área del MEA es de 16 cm<sup>2</sup>).

## EJEMPLOS

La función principal de una celda de combustible del tipo PEM es la producción de energía eléctrica, y debido a esto las celdas tienen diferentes tipos de aplicaciones. Entre las aplicaciones se encuentran: suministro de energía eléctrica para aparatos electrónicos portátiles, producción de electricidad para automóviles y otras máquinas de transporte, generación de energía eléctrica para complejos residenciales y fábricas, etc.

Para citar un ejemplo del uso de celdas de combustible con aplicaciones a computadoras portátiles se encuentra la página de Fujitsu:

<http://pr.fujitsu.com/en/news/2004/01/26-1.html>

Una aplicación de celdas de combustible para automóviles se proporciona en el siguiente vínculo de internet.

[http://www.nrc-cnrc.gc.ca/aboutUs/corporatereports/annual\\_report2005/innovation\\_vancouver\\_e.html](http://www.nrc-cnrc.gc.ca/aboutUs/corporatereports/annual_report2005/innovation_vancouver_e.html)

Las celdas de combustible del tipo PEM utilizan colectores-difusores que tienen canales de distribución de flujo maquinados sobre ellos. Las trayectorias que siguen estos canales son en forma de serpentín, aletas, paralelos y perpendiculares, interdigitados y biomiméticos. De acuerdo a la revisión del estado del arte, de simulaciones realizadas con programas especializados en fenómenos de transporte y comportamiento de fluidos, así como por la construcción de un prototipo de PEMFC, la trayectoria propuesta para el colector-difusor en forma de espiral simple de un solo canal, con geometría de Arquímedes presenta un desempeño superior a las PEMFC convencionales, y se resuelven los problemas de

inundación, caídas de presión y/o de mala distribución de gases, reportadas en el estado del arte.

5

10

15

20

## REIVINDICACIONES

1. Una celda de combustible tipo PEM caracterizada por un colector de corriente-difusor en forma espiral simple geométrica de Arquímedes que consiste en: una MEA (9) que ocupa el lugar central de la celda de combustible, a cada lado de la MEA (9) se coloca un empaque (29); el empaque tiene una abertura (30) por la cual un colector-difusor de gas (1) tiene acceso a una capa de difusión de gas (10); los colectores-difusores de gas (1) y (5) van montados a unas bases (12) y (18) que contienen unos pockets (13) y (19), en donde se insertan los colectores-difusores (1) y (5); las bases (12) y (18) están protegidas por una placa de acero (24); las placas de acero se colocan adyacentes a las bases de acrílico (12) y (18); tanto las placas de acero (24), las bases de acrílico (12) y (18) para los colectores-difusores, los dos empaques (29) y la MEA (9) poseen orificios en donde se insertan tornillos que son apretados para unir el ensamble de la celda de combustible; unos orificios para la entrada y/o salida de gases (15), (16), (21), (22) y también unos orificios para las conexiones eléctricas (17) y (23) se encuentran roscados para conectar las mangueras de suministro de gas y las conexiones eléctricas respectivamente.

2. La celda de combustible tipo PEM de acuerdo con lo reivindicado en la reivindicación 1 caracterizada porque el colector-difusor (1) tiene un solo canal de flujo (2) que sigue una trayectoria espiral simple geométrica del tipo Arquímedes; el canal contiene unos orificios (3) y (4) para la entrada y/o salida de los gases que circulan dentro de la celda de combustible tipo PEM.

3. La celda de combustible tipo PEM de acuerdo con lo reivindicado en la reivindicación 1 caracterizada porque contiene un segundo colector-difusor (5) que integra el compartimiento donde se realiza la contrareacción en la celda de combustible; dicho

segundo colector-difusor (5) contiene los mismos elementos que el colector-difusor (1) en donde un canal de flujo (6) es una imagen especular del canal de flujo (2).

4. La celda de combustible tipo PEM de acuerdo con lo reivindicado en las reivindicaciones 1, 2 y 3 en donde ambos colectores (1) y (5) son cada uno la imagen especular del otro.

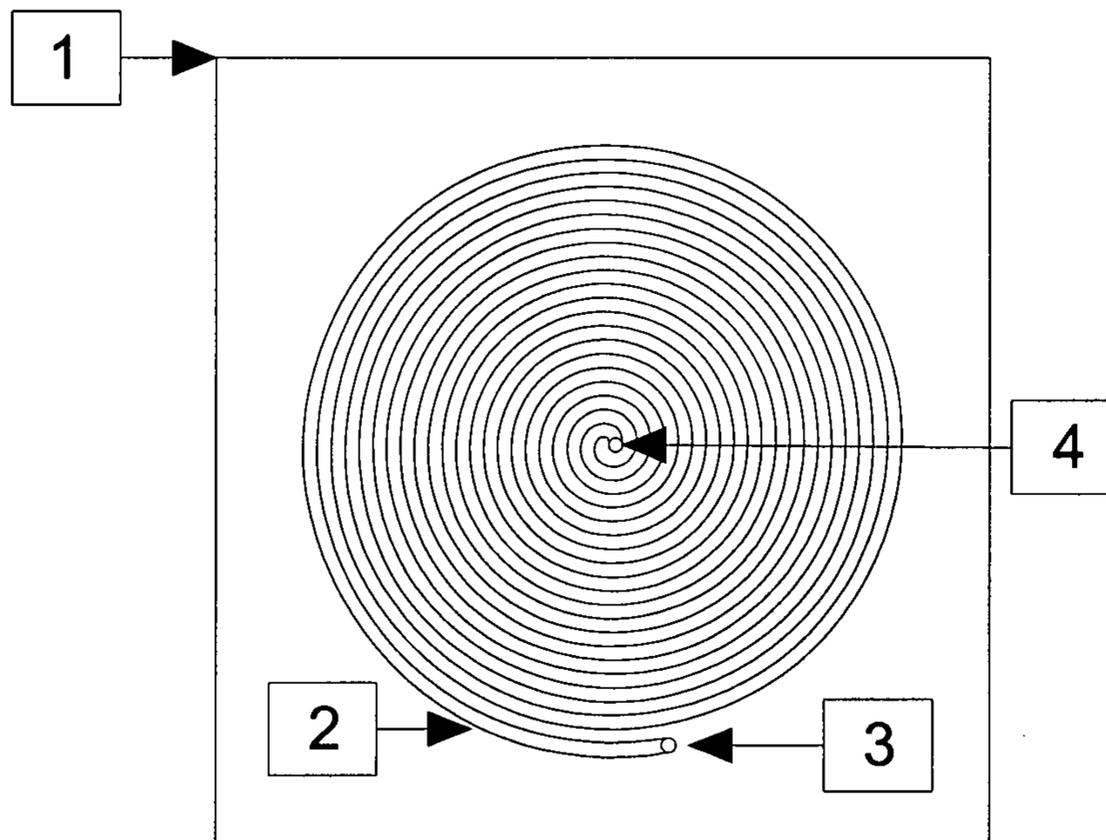
5 5. La celda de combustible tipo PEM de acuerdo con lo reivindicado en la reivindicación 1 caracterizada porque la MEA (9) contiene una membrana hecha de sulfonado tetrafluoroetileno basado fluoropolímero - copolímero que ocupa toda el área de los colectores-difusores de gas (1) y (5) y la membrana de sulfonado tetrafluoroetileno basado fluoropolímero - copolímero se encuentra cubierta parcialmente por el material composite  
10 (catalizador/carbono/ sulfonado tetrafluoroetileno basado fluoropolímero - copolímero), formando a su vez las capas de difusión (10).

6. La celda de combustible tipo PEM de acuerdo con lo reivindicado en la reivindicación 1 caracterizada porque la base del colector-difusor (12) está maquinada sobre acrílico.

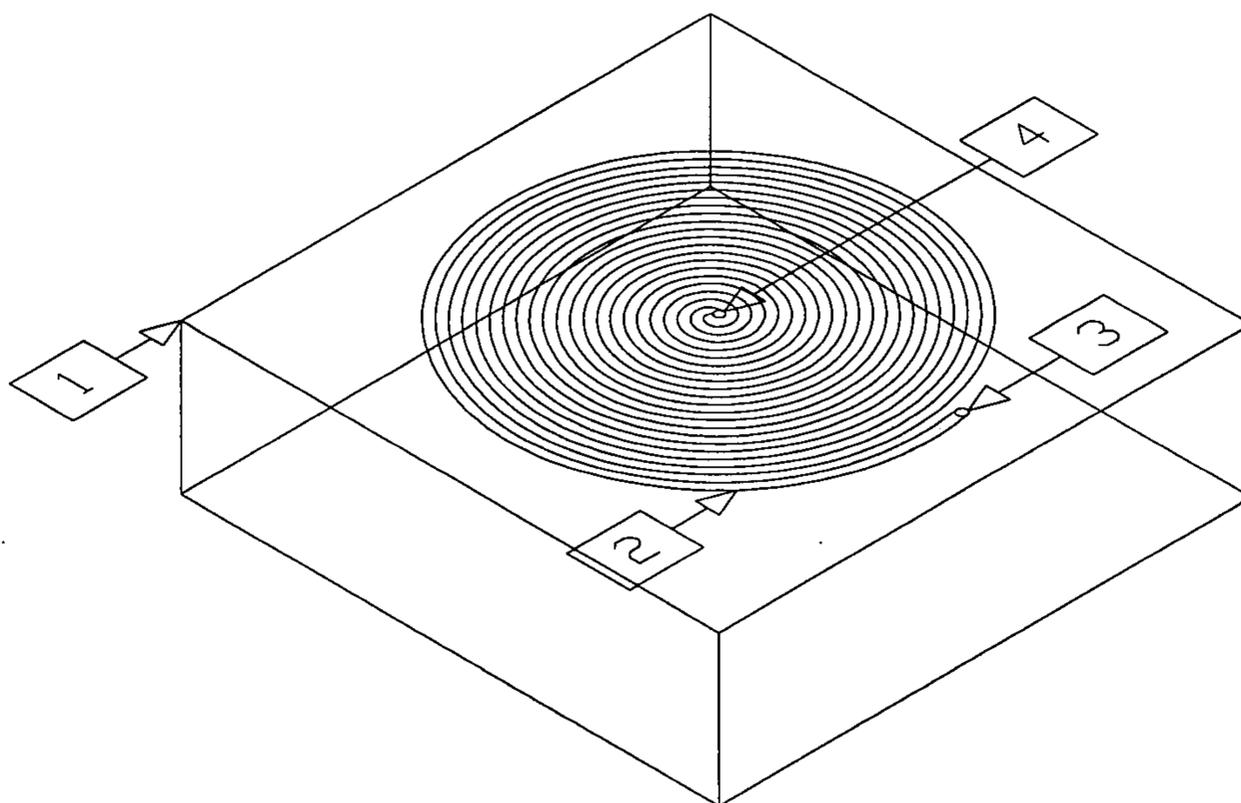
7. La celda de combustible tipo PEM de acuerdo con lo reivindicado en la reivindicación 1  
15 caracterizada porque se roscan los orificios (15), (16), (21), (22) para evitar la fuga de los gases.

## RESUMEN

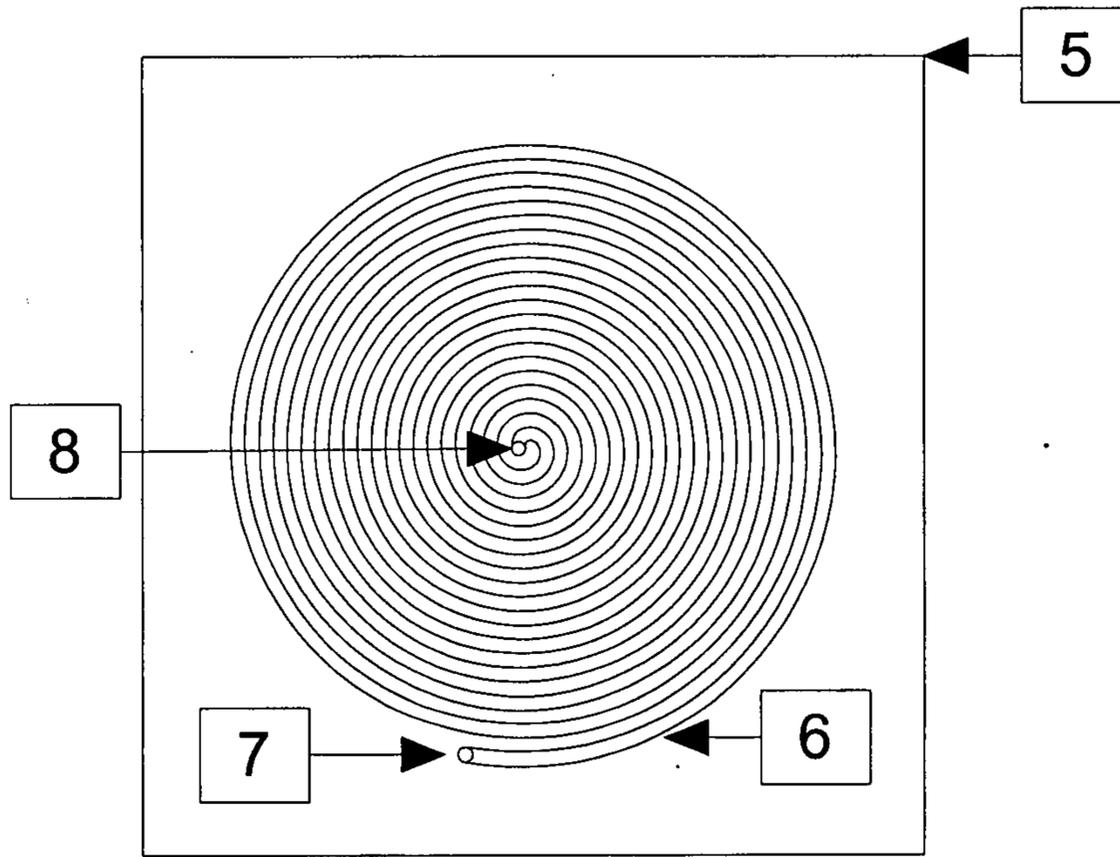
Se propone una novedosa trayectoria para el canal de flujo de un colector-difusor para una celda de combustible del tipo PEM. La trayectoria se caracteriza por ser en forma de espiral. El colector-difusor se compone de un canal de flujo y de varios orificios para la entrada y/o salida de gas, estos orificios se pueden localizar en cualquier punto a lo largo de la trayectoria del canal. El propósito de utilizar una trayectoria del canal de flujo en forma de espiral simple es eliminar las vueltas a 90° para evitar las zonas de estancamiento de gas, el estancamiento de gases dentro de la celda de combustible provoca que se inunde la membrana y se reduzca la cantidad de densidad de corriente producida. También al eliminar las vueltas a 90° se evitan las grandes pérdidas de presión que provocan este tipo de cambios de dirección. Además al usar un solo canal se pretende tener una mejor distribución de los gases reactantes dentro de la celda de combustible. Con el uso de un canal para el desalojo de los gases producto de la reacción se pretende que el mecanismo de desalojo sea en gran medida dependiente del empuje de la transferencia de momentum. El colector-distribuidor fue montado en un sistema especialmente diseñado para construir una celda de combustible tipo PEM. La celda propuesta aquí mostró tener un desempeño superior a una celda equivalente comercial.



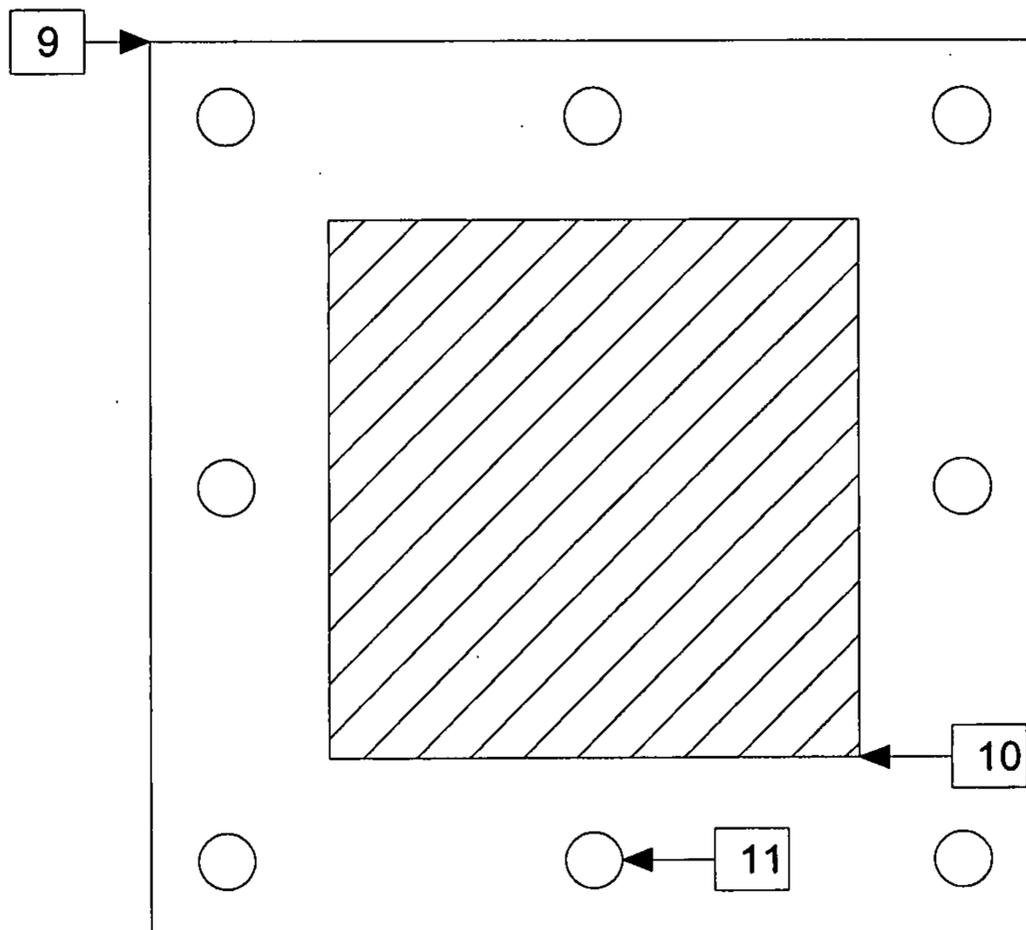
**Figura 1.**



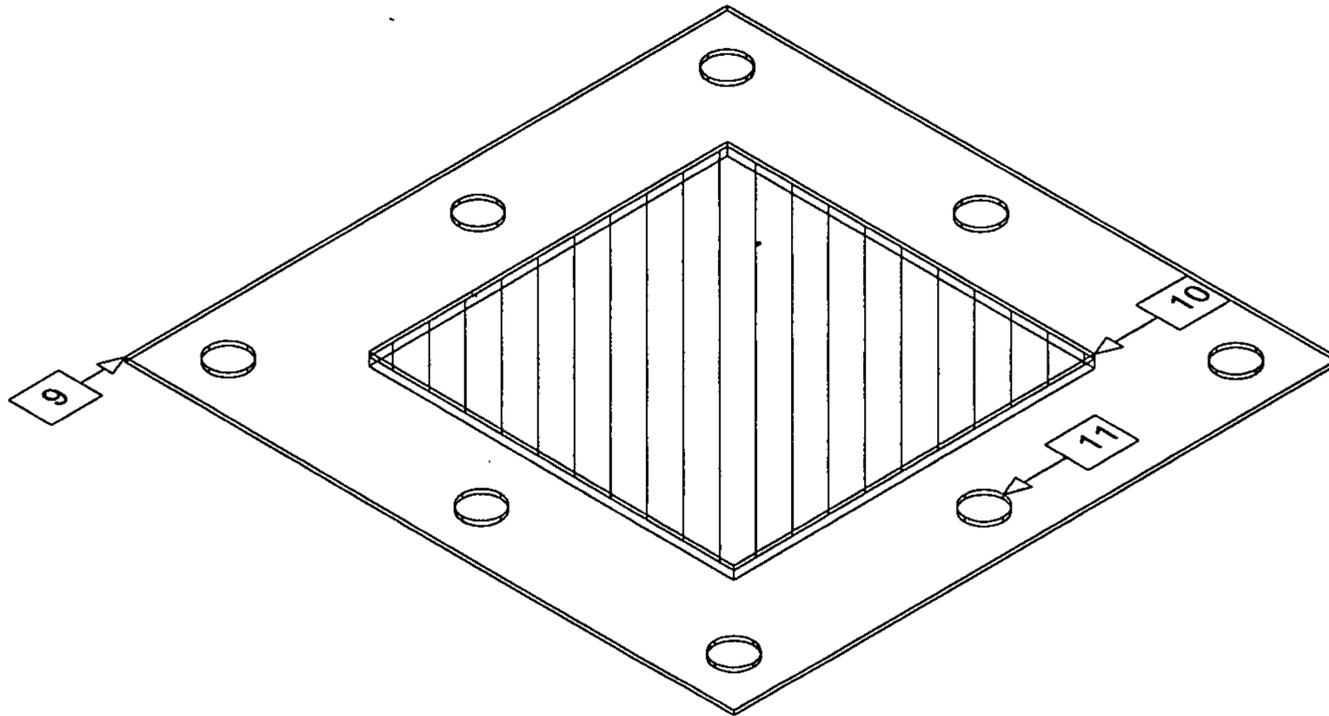
**Figura 2.**



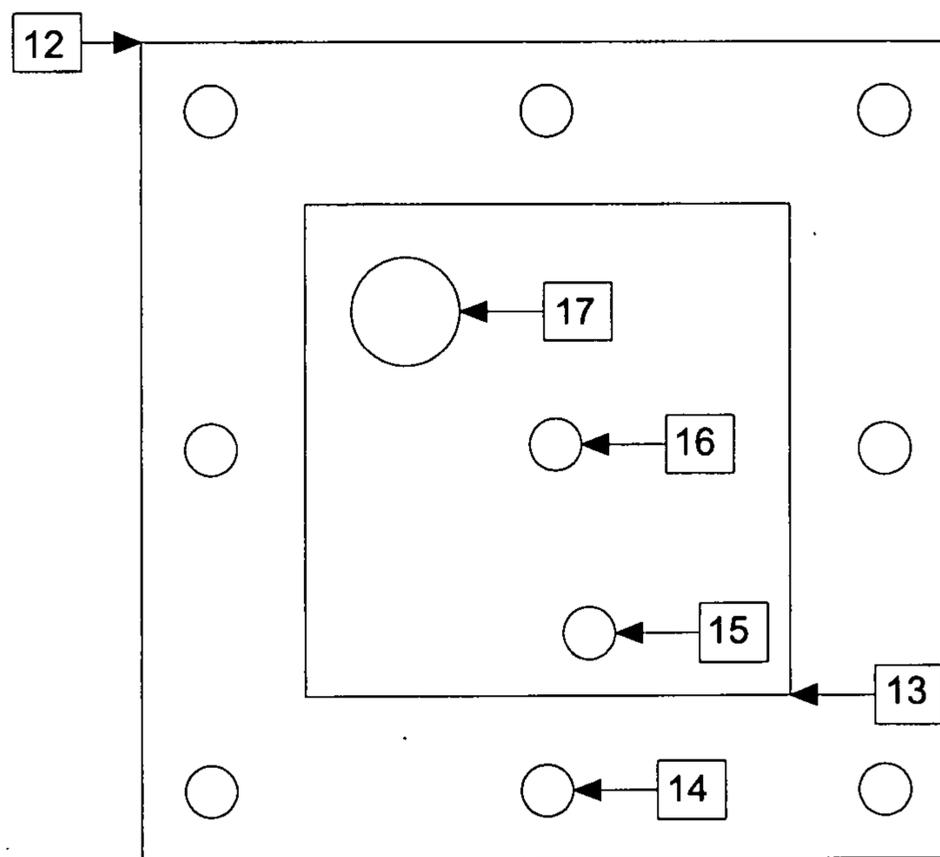
**Figura 3.**



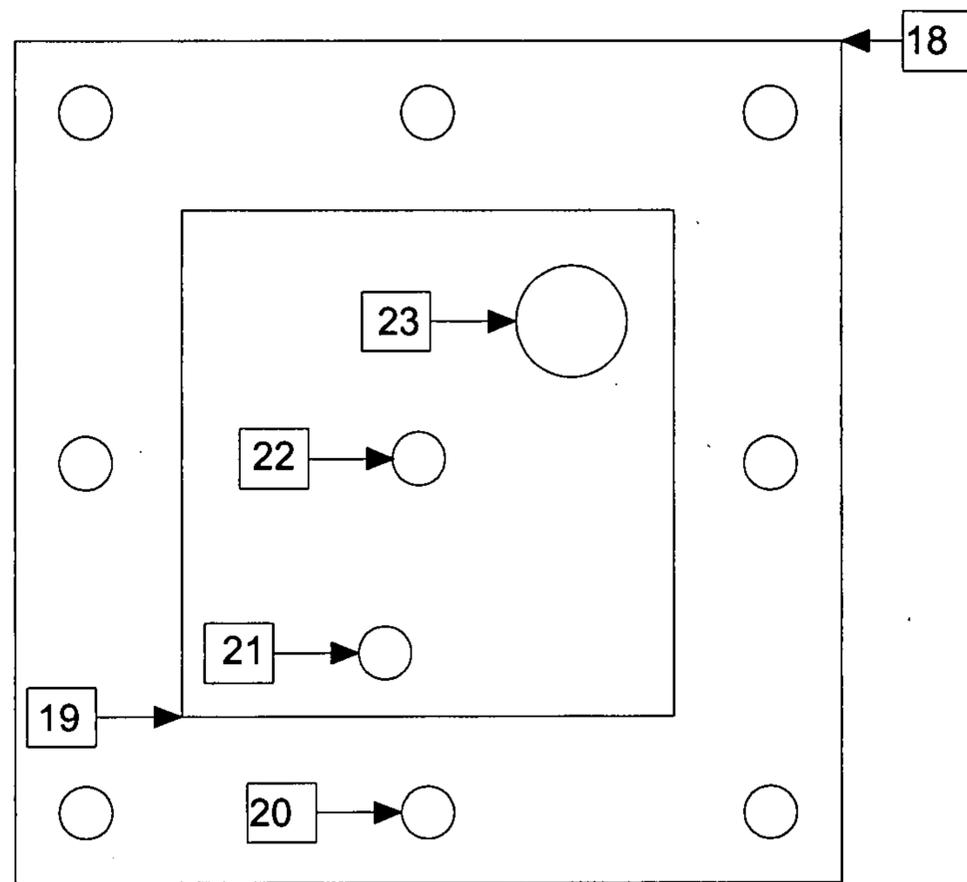
**Figura 4.**



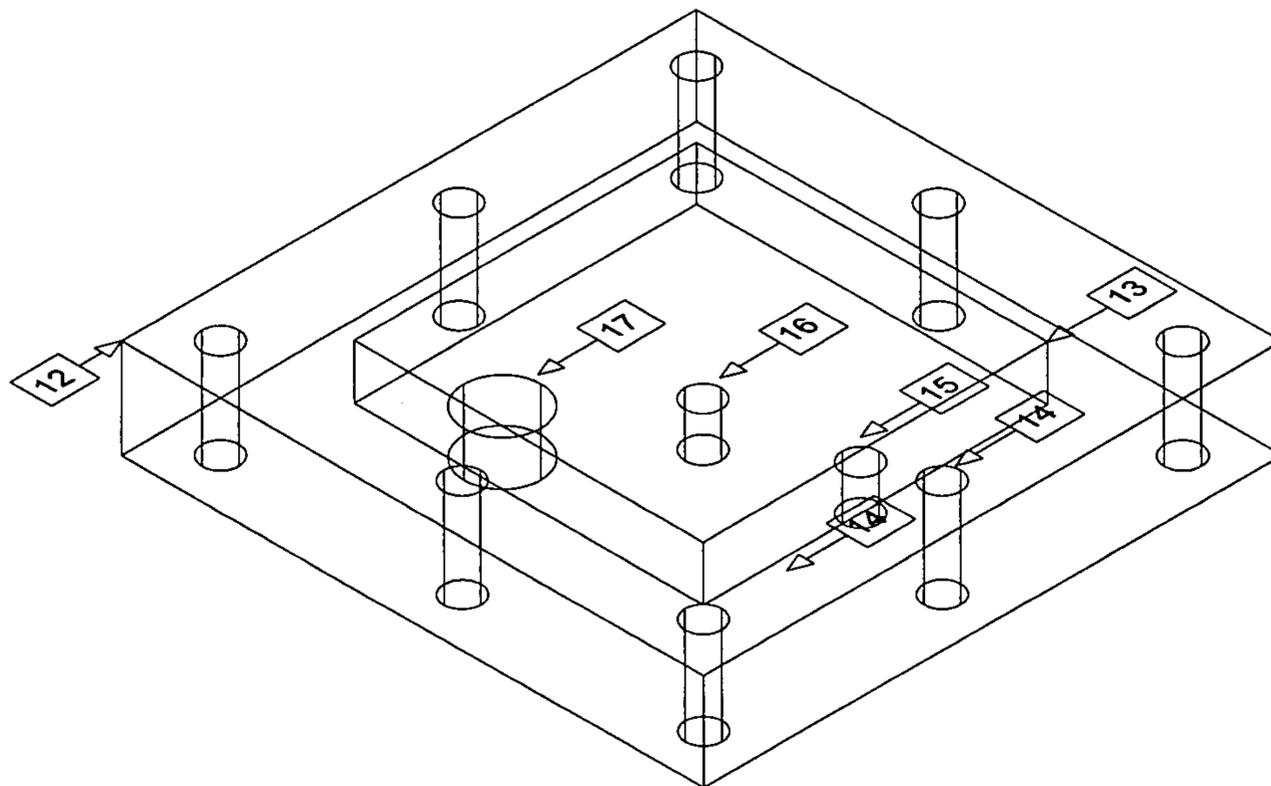
**Figura 5.**



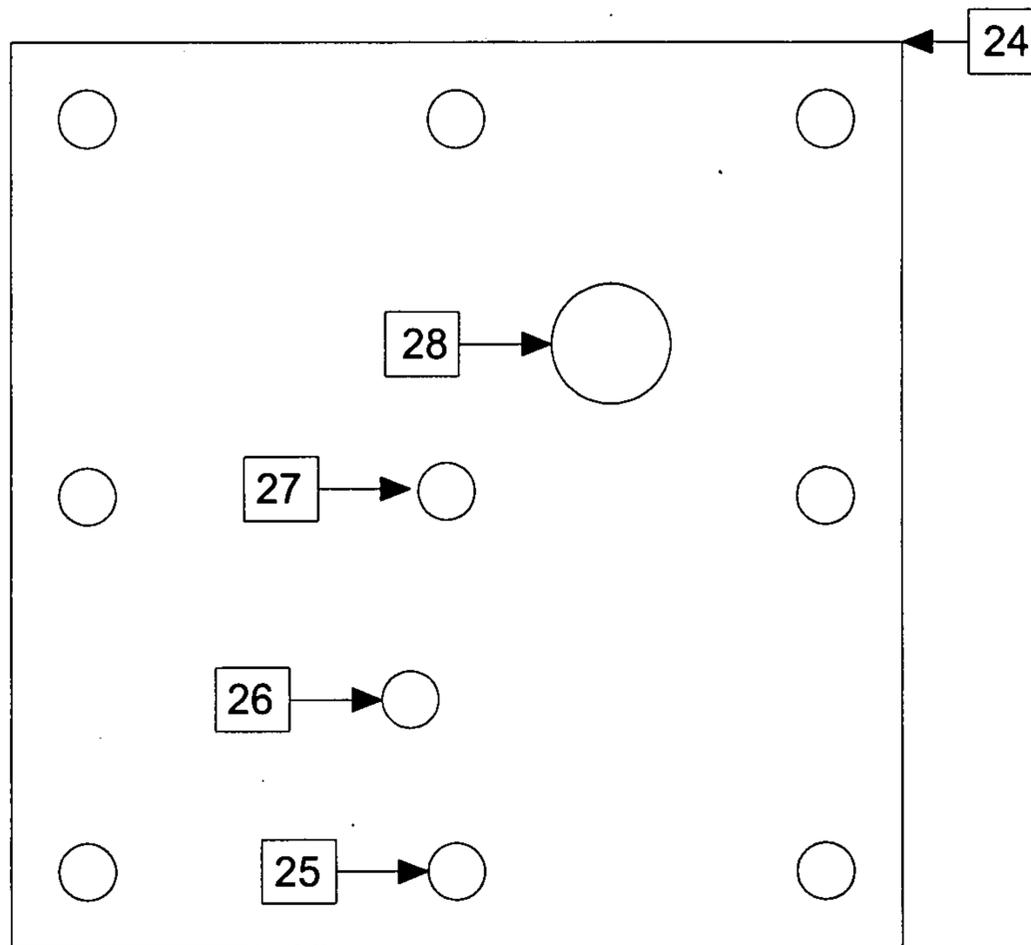
**Figura 6.**



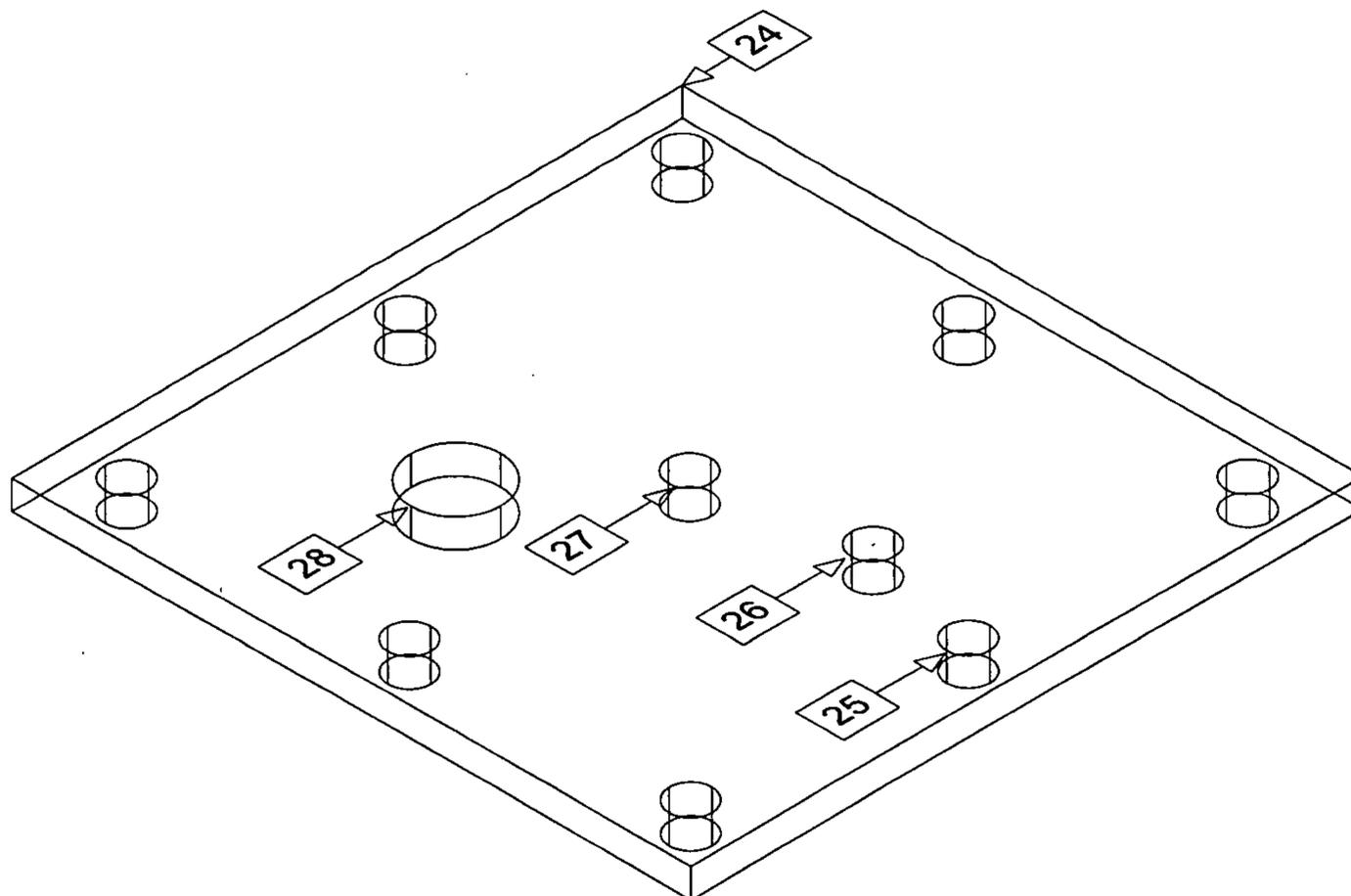
**Figura 7.**



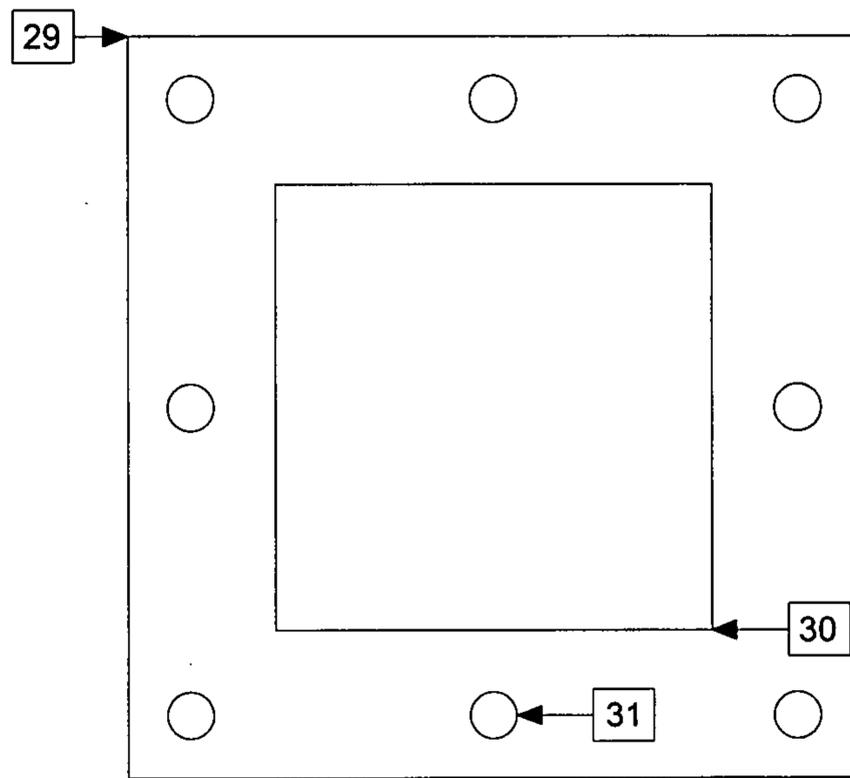
**Figura 8.**



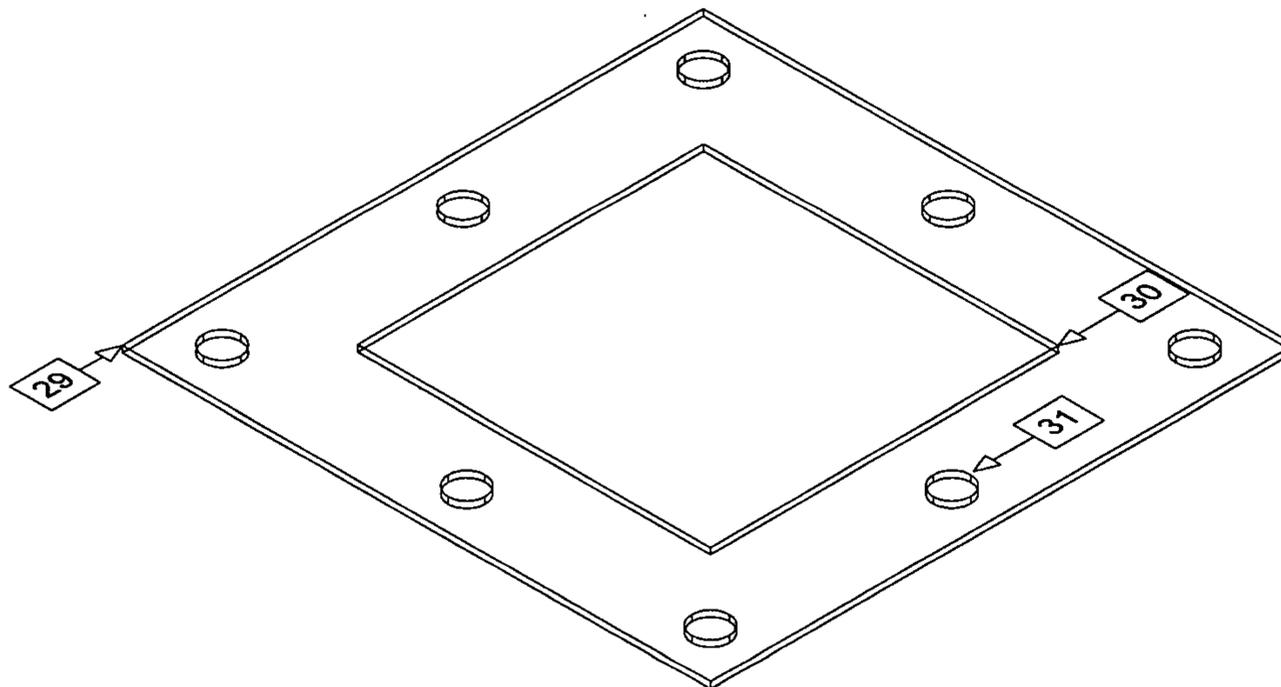
**Figura 9.**



**Figura 10.**



**Figura 11.**



**Figura 12.**

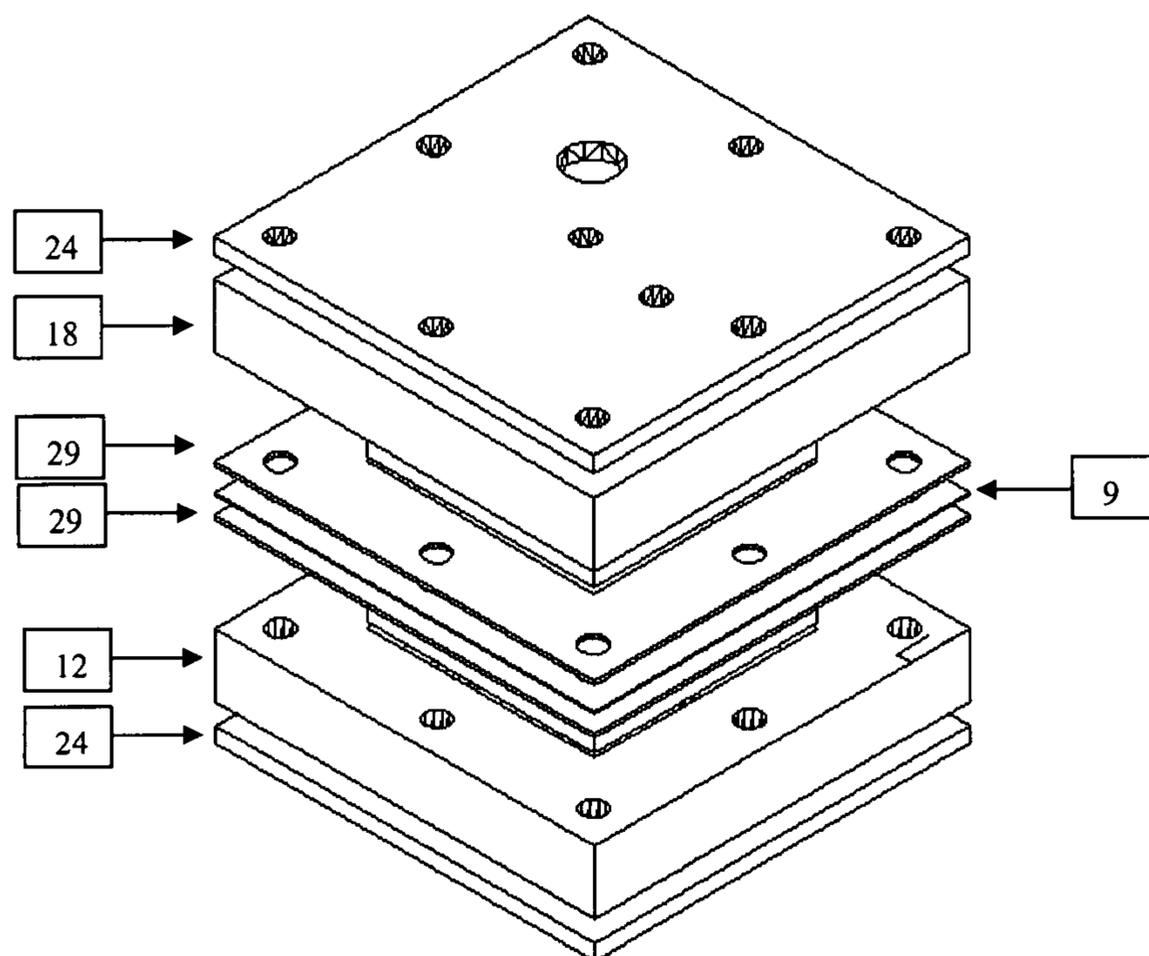


Figura 13.

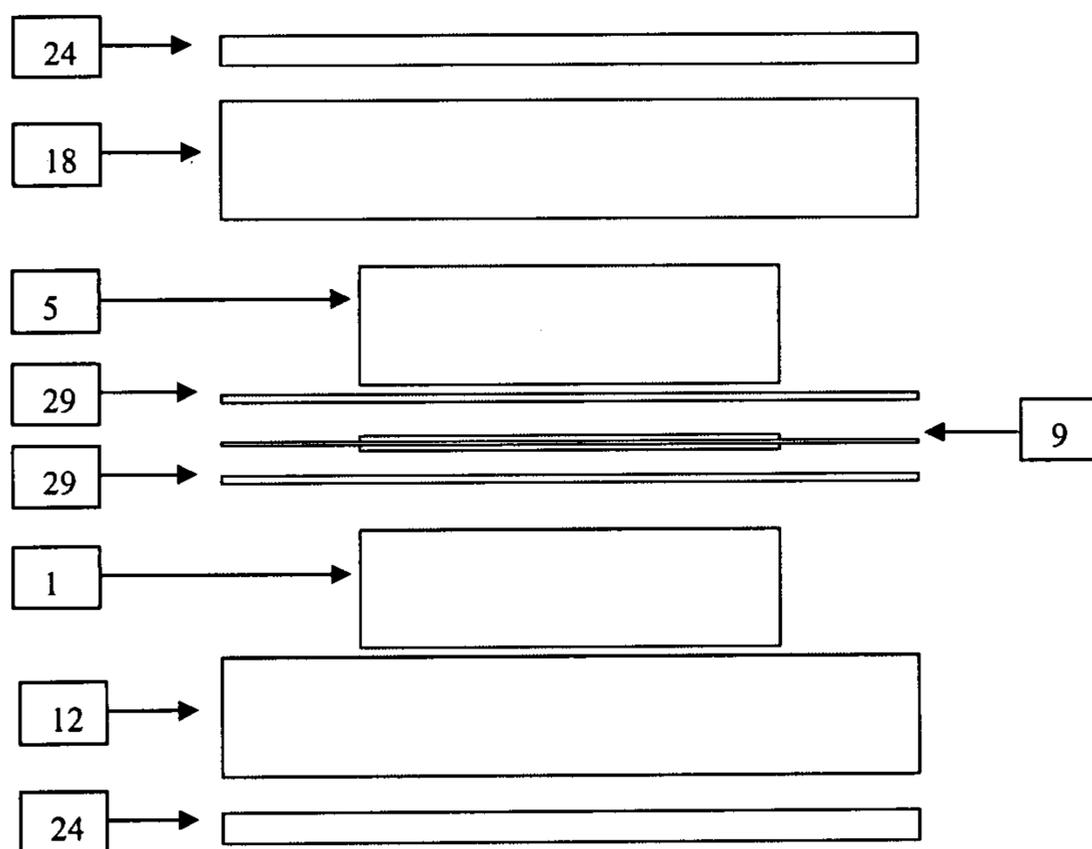


Figura 14.

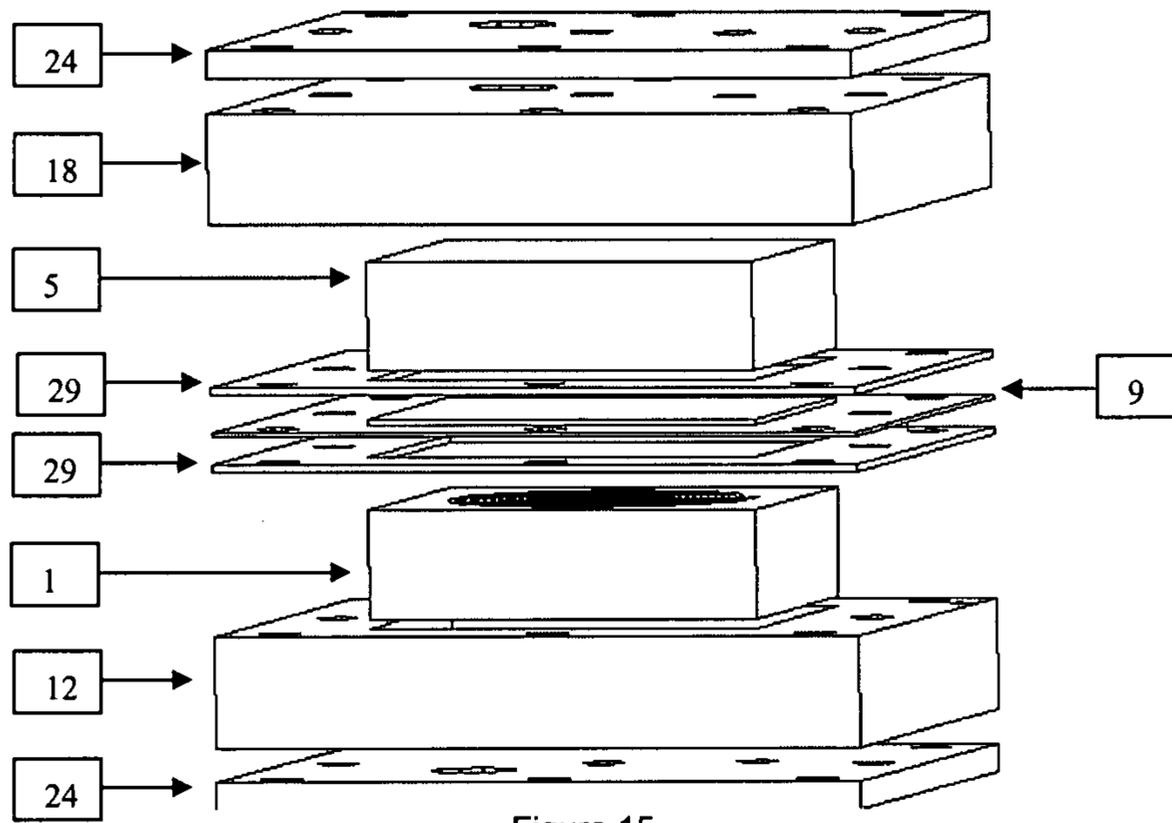


Figura 15.

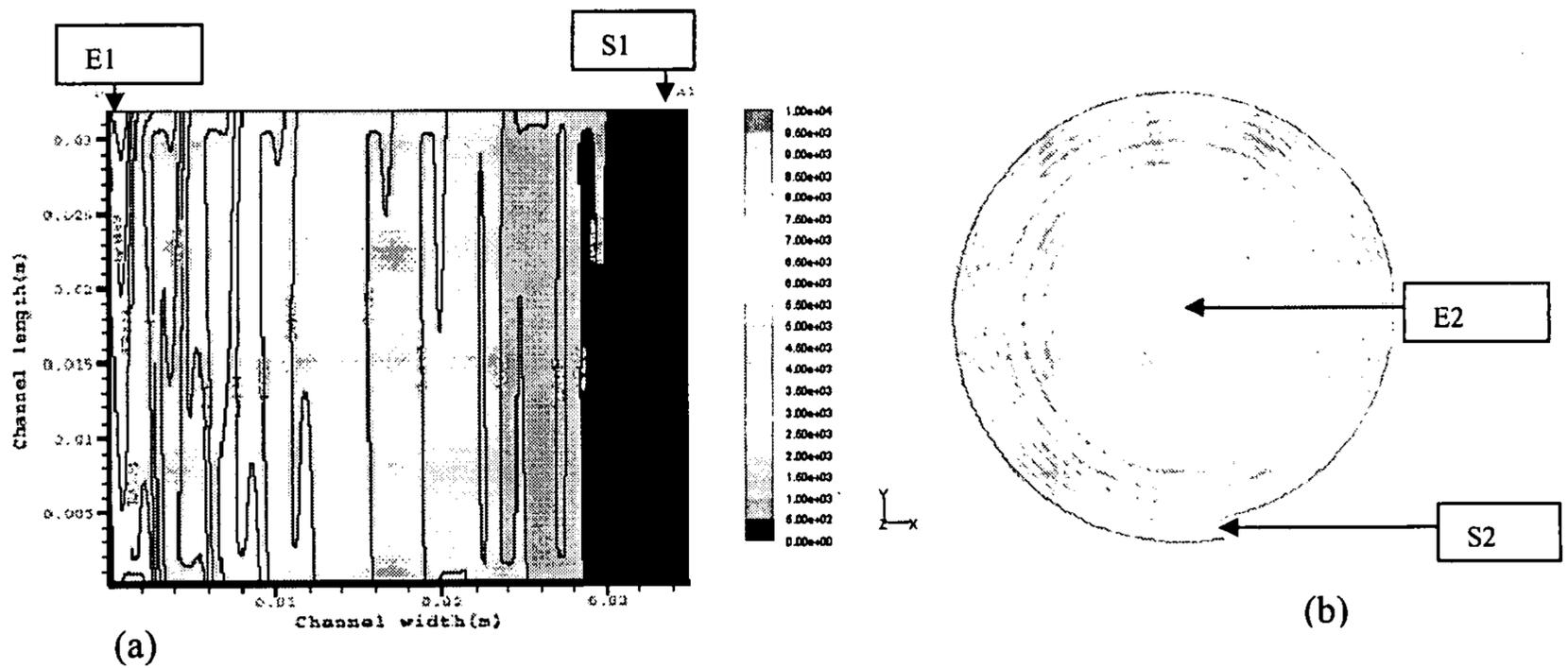


Figura 16.

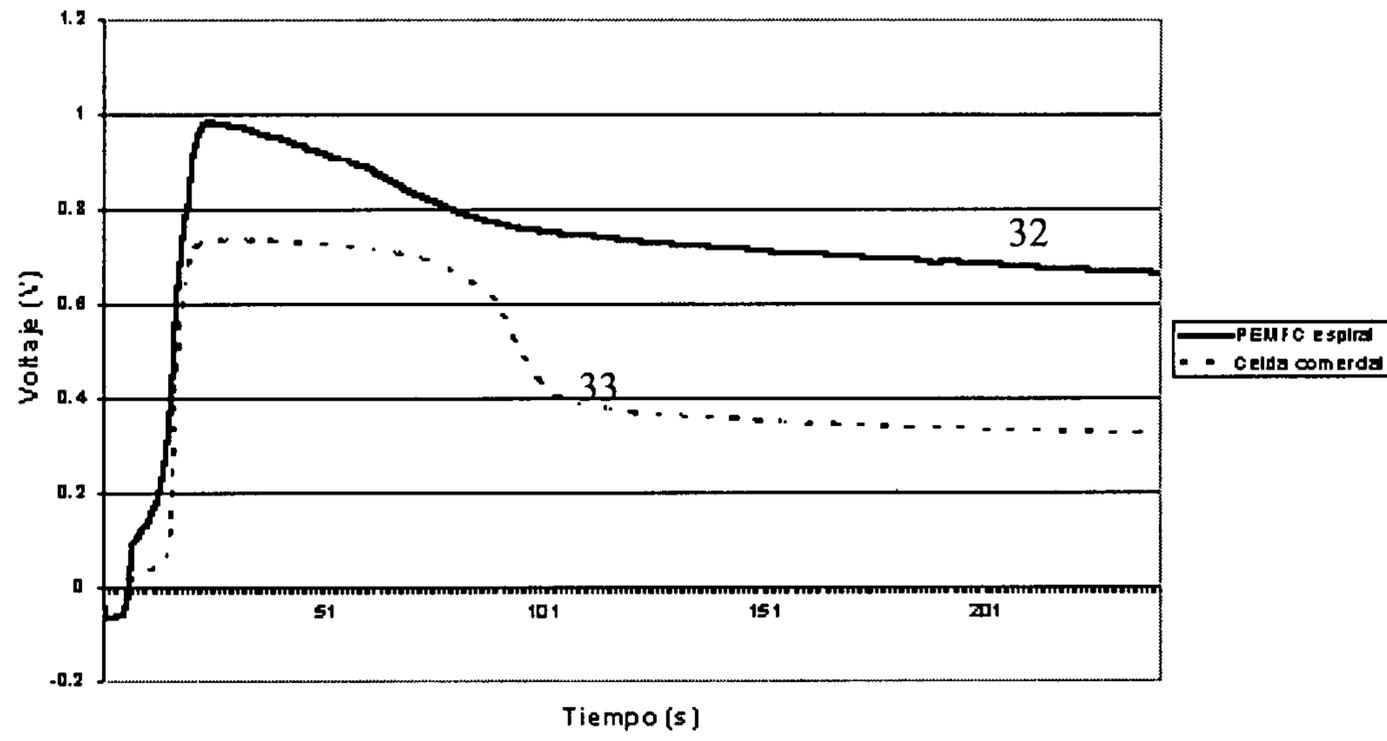


Figura 17.