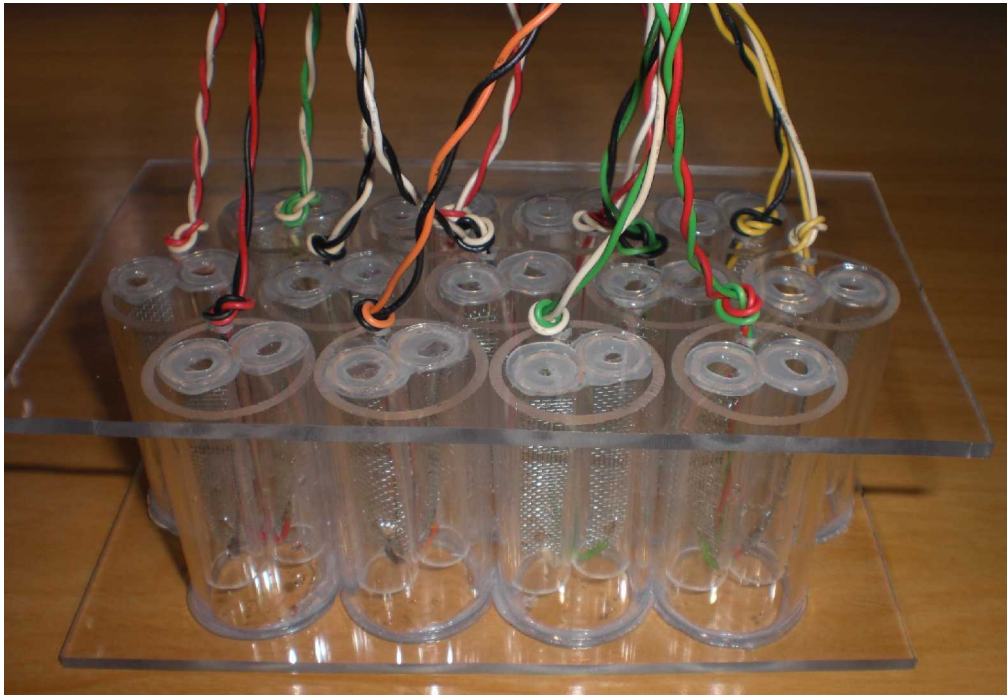


La energía del futuro: la pila de hidrógeno



Realizado por:
Carlos García Saura
Daniel Fernández Louro

1º Bachillerato - A

Asignatura:
Ciencias para el mundo contemporáneo
Profesora: M^a Carmen San José

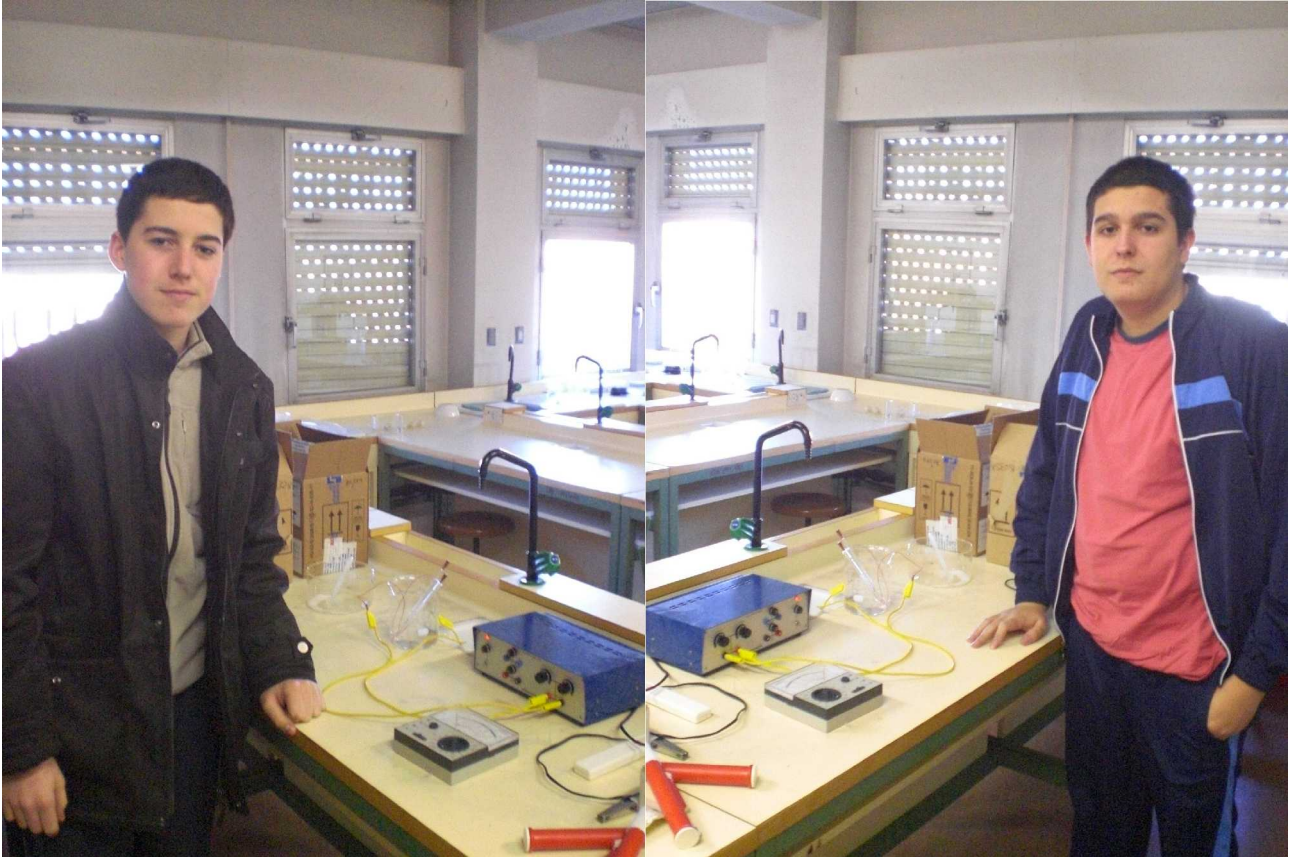
IES Severo Ochoa 2008-09

Índice

Introducción.....	1
Justificación.....	3
Objetivos.....	5
Capítulo I: Antecedentes.....	7
Capítulo II: El hidrógeno.....	11
1.Obtención.....	11
2.Almacenamiento y transporte.....	13
Capítulo III: Aplicaciones energéticas.....	15
Capítulo IV: Diseño experimental.....	19
1.Introducción.....	19
2.Experimentos iniciales.....	20
3.Prototipos.....	22
4.Construcción de la pila de hidrógeno.....	27
5.Prueba de la pila.....	32
6.Conclusiones del diseño.....	34
Conclusiones.....	35
Agradecimientos.....	37
Fuentes.....	38

Introducción

Este proyecto, ha sido llevado a cabo por Carlos García Saura y Daniel Fernández Louro, alumnos de 1º de Bachillerato, para la asignatura de Ciencias para el mundo contemporáneo.



Carlos García Saura y Daniel Fernández Louro

Nuestra profesora M^a Carmen San José nos encargó realizar un proyecto de investigación sobre un tema científico de la actualidad.

Después de hacer una gran búsqueda, nos decidimos por una investigación sobre las pilas de hidrógeno. Nosotros sabíamos qué es lo que hacen las pilas de hidrógeno, pero desconocíamos cómo funcionan internamente. Esto fue lo que más nos motivó a elegir el tema.

Además, pensamos que el hecho de investigar un nuevo recurso energético en la situación energética actual es algo que realmente es necesario.

La metodología que hemos seguido ha sido:

- **Recopilación de la información:** A través de medios tales como internet. De esta forma averiguamos que las pilas normales (no las de hidrógeno) funcionan a partir de reacciones químicas bastante complicadas, y que producen residuos que son muy difíciles de eliminar. Esto ayudó al hecho de seguir investigando las pilas de hidrógeno dado que funcionan gracias a reacciones químicas bastante simples, y los residuos que produce no son peligrosos (agua). También comprobamos que los materiales son de fácil adquisición y bajo precio.
- **Estudio de la información:** Así comprendimos el funcionamiento básico de estas pilas y las reacciones químicas que son necesarias para generar electricidad. Entonces buscamos reacciones químicas que produjesen hidrógeno, que es el combustible necesario para este tipo de pilas.
- **Experimentación:** En un principio utilizamos la electrólisis para obtener hidrógeno, pero investigando pudimos comprobar que que otro tipo de reacciones químicas producían mayor cantidad de hidrógeno en menos tiempo. Esto nos ayudó bastante en el diseño experimental, dado que al producirse gran cantidad de hidrógeno más rápidamente no teníamos que emplear tanto tiempo en producir el hidrógeno y pudimos dedicarlo plenamente al diseño y prueba de nuestros prototipos de pila.
- **Diseño experimental:** En base a los datos obtenidos en la recopilación de información y en la experimentación, diseñamos y construimos un prototipo de pila de hidrógeno.

Justificación

La finalidad principal de este proyecto es estudiar el funcionamiento y las aplicaciones de las pilas de hidrógeno, para ello recopilaremos información y la aplicaremos desarrollando un prototipo.

Consideramos que esta investigación es necesaria, dado el panorama actual de los recursos energéticos en el que el fin del petróleo se acerca rápidamente, además este tipo de energías no dañan el medio ambiente y son más económicas.

Éstos son los principales motivos para el desarrollo e investigación de este tipo de tecnología:

1. La miniaturización de las baterías una vez acabada la investigación será algo relativamente fácil, considerando el tipo de pila de la que hablamos.
2. Este tipo de energía se podrá “fabricar” en grandes cantidades. Por ejemplo, se podrían instalar grandes “huertos solares” en los desiertos, y mediante la electricidad obtenida, obtener el hidrógeno del agua del mar, mediante electrólisis.
3. Es renovable (se puede obtener mediante el sol) por lo tanto no hay peligro de que se agote o se gaste mas rápido de lo que se genera.
4. No emite ningún tipo de residuo que pueda dañar el medio ambiente por lo tanto se puede usar sin peligro, a diferencia de la pilas actuales, que producen residuos muy contaminantes, como el mercurio.
5. Las pilas de hidrógeno son fáciles de fabricar, tanto en mano de obra como en materiales. Por lo tanto se podrán producir industrialmente de forma fácil y relativamente barata, lo que mejorará el mercado y las hará mas asequibles para otras personas o entidades.

Por estos motivos sería provechoso llevar acabo la creación de pilas de hidrógeno que a la vez que portátiles sean seguras y proporcionen bastante energía.

Nuestro trabajo consta de varios capítulos:

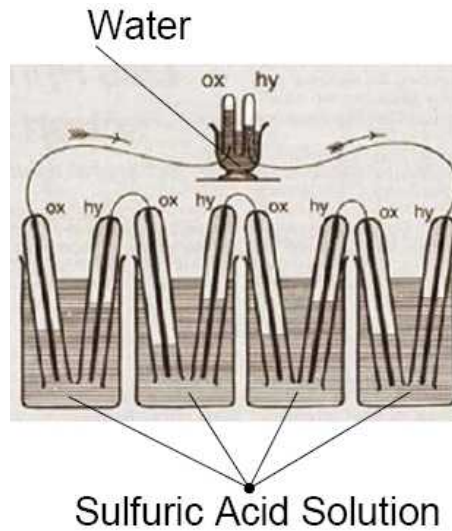
- I. En el primero de ellos, “Antecedentes” investigamos quienes fueron los científicos que, bien por casualidad o bien por causalidad, inventaron las primeras células de Hidrógeno. También hemos investigado sobre dónde han sido ya empleadas las pilas de Hidrógeno.
- II. En el segundo capítulo, “El Hidrógeno” estudiamos las propiedades fundamentales de éste elemento, y cuáles son los mejores métodos para obtenerlo, ya sea para su uso en el laboratorio o industrialmente. Además explicamos los métodos de almacenamiento del hidrógeno.
- III. En el tercer capítulo, hemos resumido y simplificado toda la teoría y reacciones químicas que hacen que las pilas de hidrógeno funcionen.
- IV. Finalmente, en el cuarto capítulo realizamos nuestro diseño experimental; una pila de hidrógeno funcional basada en nuestros experimentos en el laboratorio.

Objetivos

- Comprender el funcionamiento de las pilas de hidrógeno, no sólo por el proyecto si no también por el interés científico que nos motivó a investigar sobre el tema.
- Basándonos en estas investigaciones, diseñar y construir una pila de hidrógeno.
- Gracias al experimento, averiguar los fallos o posibles mejoras en el primer diseño.
- Crear otra pila que solvete los inconvenientes e incorpore éstas mejoras.
- Comprobar que las nuevas mejoras mejoran la eficiencia de la pila de hidrógeno.

Capítulo I: Antecedentes

El principio químico que utilizan las pilas o células de hidrógeno fue descubierto por el científico Christian Friedrich Schöbein en Suiza en 1838. Más tarde, en 1843 Sir William Grove desarrolló la primera pila de hidrógeno con materiales similares a los utilizados actualmente en las pilas de ácido fosfórico.



Pila de combustible de William Grove

No obstante, no fue hasta 1959 cuando Francis Thomas Bacon fabricó la primera pila de hidrógeno con un alto rendimiento de 5 kilovatios.

La NASA utilizó las patentes de Francis Bacon en su programa aeroespacial, para poder disponer de agua y electricidad en el espacio, a partir del hidrógeno y del oxígeno disponibles en los depósitos de la nave. Las primeras misiones que utilizaron éste tipo de pilas de hidrógeno fueron las del programa Apollo.

Fue entonces cuando General Electric desarrolló las primeras pilas con membrana de intercambio de protones (pila PEM), mucho mas ligeras y duraderas que el modelo de Francis Bacon. Éste tipo de pila se utilizó por primera vez en la misión Gemini V.

Se utilizaban materiales muy caros, y las primeras células necesitaban temperaturas de funcionamiento muy elevadas, sin embargo, debido a las grandes cantidades de combustible disponible (hidrógeno y oxígeno en el agua) no cesó la investigación en las células de hidrógeno.

Debido a su elevado coste, el uso de pilas de hidrógeno se vio limitado a aplicaciones espaciales.

A finales de los años 80, las células de hidrógeno tuvieron un gran desarrollo: se produjeron varias innovaciones (electrodos de película fina y catalizador con menos platino), y se inventaron nuevas tecnologías que abarataron los procesos de fabricación de los componentes de las pilas de hidrógeno.



*Pila de hidrógeno con membrana de intercambio de protones (PEM)
Se puede apreciar la condensación del agua formada en la salida de los gases*

En la actualidad ya se han fabricado prototipos de coches y otros vehículos propulsados mediante pilas de hidrógeno con membrana de intercambio de protones. Muchas compañías trabajan en el desarrollo de éstos sistemas, por lo que hay un gran secretismo industrial.



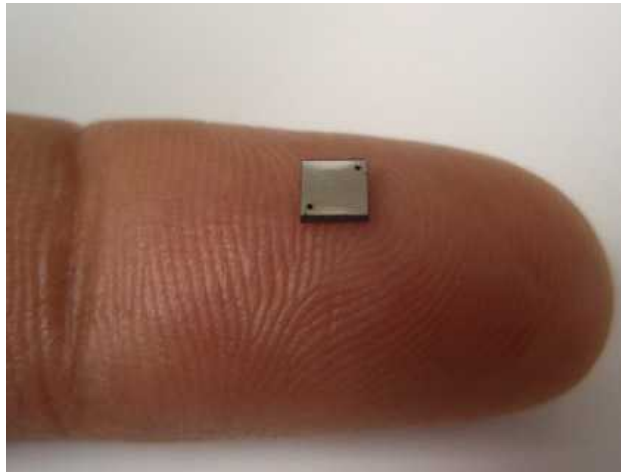
Coche y submarino que utilizan pilas de hidrógeno como fuente de energía

Éstos diseños son experimentales, por ello no suelen ser completamente seguros, eficientes o requieren demasiado mantenimiento, lo que hace que aún no sea posible su salida al mercado.

En la actualidad se está investigando en mejorar la seguridad, la eficiencia, el tamaño y el fácil

mantenimiento de las instalaciones de pilas de hidrógeno.

Recientemente (Enero de 2009) ha aparecido un artículo en www.newscientist.com que habla de un nuevo tipo de pila de hidrógeno, con un tamaño mucho menor del habitual. Mide tan sólo 3 milímetros de lado y uno de alto. Con éstas dimensiones se ha convertido en la pila de hidrógeno más pequeña del mundo. Su tamaño es realmente impresionante.



La pila de hidrógeno más pequeña del mundo

En el artículo se explica que lo más complicado al reducir el tamaño de éstas pilas, es conseguir un flujo regulado y constante de hidrógeno, consumiendo la menor energía posible. Al ser una pila tan pequeña, se requeriría consumir más energía en regular la presión que la que se produce mediante ella.

Centrándose en éste problema, un equipo de científicos formado por Saeed Moghaddam, Mark Shannon y Richard Masel entre otros, ha inventado éste diseño, que genera electricidad sin consumirla.

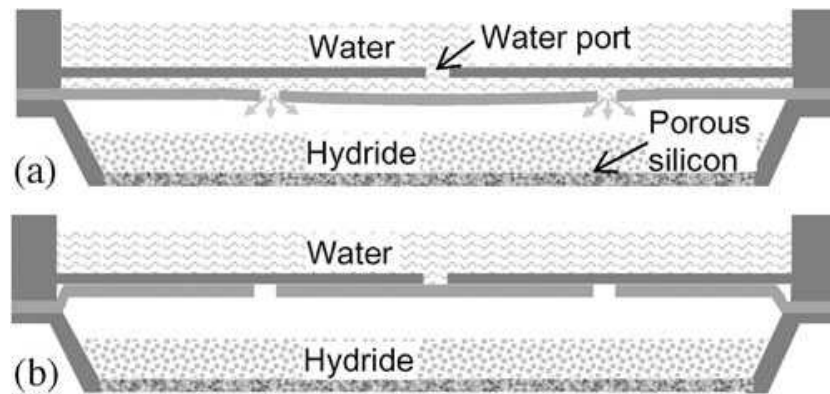
La novedad de éste nuevo diseño, aparte de su increíble tamaño, es el alimentador que proporciona hidrógeno a la célula.

La pila obtiene hidrógeno a partir de la reacción que se produce al combinar agua con un hidruro metálico. El hidruro viene incorporado dentro de la pila, debido a que la reacción de producción de hidrógeno requiere menos hidruro que agua, pero el agua debe ser proporcionada de manera externa.

Otra de las curiosidades de ésta pila es que no necesita depósito contenedor del agua, basta con colocar una gota de agua sobre la pila, y ésta se mantiene en su sitio gracias a la tensión superficial.

Esto tiene otra ventaja, ya que es posible utilizar la pila en cualquier posición, lo que la haría perfecta para su uso en dispositivos portátiles.

Éste nuevo diseño consta de sólo cuatro elementos: un depósito de agua, una membrana, una cámara con hidruro metálico y luego la célula de hidrógeno en sí (los electrodos separados por la membrana de intercambio de protones).



Esquema de funcionamiento

La reacción que se produce entre el hidruro metálico y el agua es peligrosa si se produce de manera descontrolada, porque produce mucha energía calorífica.

La solución que han inventado consiste en una membrana micro-perforada que deja pasar pequeñas gotas de agua en forma de vapor a la cámara en la que se encuentra el hidruro (a).

Cuando éstas moléculas reaccionan con el hidruro y producen hidrógeno, la presión aumenta, y la membrana se hincha, impidiendo que entre más agua (b).

Justo debajo del hidruro están colocados los electrodos separados por la membrana de intercambio de protones. Así, cuando se consume el hidrógeno contenido en la cámara del hidruro, la presión descende y deja pasar más agua, creando un bucle que regula automáticamente la presión y el flujo del hidrógeno.

Los primeros diseños de este tipo de pilas generaron 0.7 voltios y 0.1 miliamperios durante 30 horas antes de que se acabase el hidruro metálico, pero los científicos dicen haber llegado a generar en posteriores diseños alrededor de 1 miliamperio.

Esa intensidad de corriente aún no es suficiente para, por ejemplo teléfonos móviles, pero si sería capaz de alimentar circuitos electrónicos simples o incluso micro-robots.

Capítulo II: El hidrógeno

El hidrógeno es el átomo más simple y ligero que existe. Está representado con el símbolo “H”, y ocupa el primer puesto en la tabla periódica. Es un no metal, que en condiciones normales (a 0°C y 1 atm), es un gas diatómico (H₂) incoloro, inodoro e insípido y muy reactivo. Además, constituye aproximadamente el 75% de la masa en el universo.

Fue descubierto en 1766 por Henry Cavendish. Él fue el primero en describir con precisión varias de las propiedades fundamentales del hidrógeno. Más tarde, en 1783, Antoine Lavoisier le dio el nombre de “Hidrógeno” (del griego ὕδωρ “agua” y γένος “generación”) cuando comprobó el descubrimiento de Cavendish de que al quemar el gas se generaba agua.

En la naturaleza, el isótopo del hidrógeno más común es el protio (sin ningún neutrón).

El deuterio (1 neutrón) y el tritio (2 neutrones y radioactivo) también se encuentran en la naturaleza, pero en proporciones tan pequeñas que es necesario obtenerlos artificialmente, normalmente para ser utilizados en reacciones nucleares.

Como hemos mencionado antes, el hidrógeno es muy reactivo. Es por esto por lo que lo encontramos, combinado con el oxígeno, formando el agua (más del 72% de la superficie terrestre). Su reacción de combustión es la siguiente:



La energía que se libera con la combustión es normalmente calorífica, pero, gracias a las pilas de combustible de hidrógeno, por ejemplo, es posible extraer esa energía liberada en forma de electricidad.

1. Obtención

Ya que en la naturaleza el hidrógeno casi no está presente en estado puro, podemos obtenerlo de diversas maneras:

- **Ciertas reacciones liberan hidrógeno:** Por ejemplo, se libera hidrógeno cuando reacciona el ácido clorhídrico (HCl) con un metal como el litio (Li), el aluminio (Al)... etc. Éste

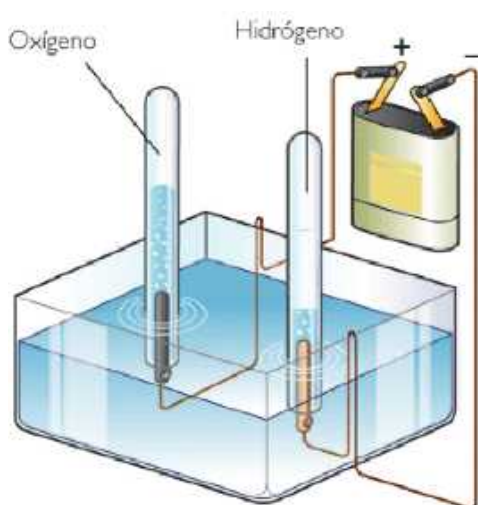
método es muy útil para su producción a pequeña escala en el laboratorio, pero es un método que resultaría muy caro industrialmente debido a los productos químicos necesarios.

- **Obtención de hidrógeno a partir de hidrocarburos:** Como por ejemplo, el metano (CH₄) o el gas natural.
- **Fotólisis del agua:** Consiste en la disociación del agua en hidrógeno y oxígeno directamente utilizando la energía solar. Aún no es posible realizar la fotólisis artificialmente, pero se han descubierto micro algas que sí la realizan, y que podrían ser utilizadas para este fin en el futuro.
- **Electrólisis del agua:** La electrólisis fue descubierta accidentalmente en el año 1800 por Willison Nicholson, y más tarde, (entre 1833 y 1836) Michael Faraday desarrolló las leyes de la electroquímica. Consiste en la disociación del agua en hidrógeno y oxígeno utilizando la electricidad.

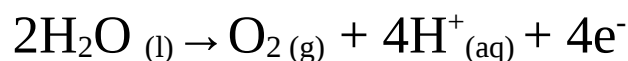
Éste proceso se realiza sumergiendo dos electrodos en agua, (normalmente con una pequeña cantidad de ácido o una sustancia iónica para facilitar la reacción) y conectando a uno de ellos el polo positivo y al otro el polo negativo.

Al hacer circular corriente continua por ambos electrodos, en el polo positivo (ánodo) se desprenderá oxígeno, y en el negativo (cátodo) se desprenderá el preciado hidrógeno.

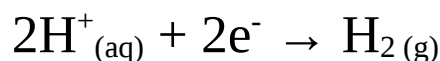
Vamos a estudiar mas a fondo lo que sucede en ésta reacción:



- **En el ánodo,** se le extraen 4 electrones a dos moléculas de agua, de ésta forma, se disocian en 1 molécula de oxígeno gaseoso y 4 cationes H⁺:



- **En el cátodo,** cada dos cationes H⁺ toman 2 electrones, formando una molécula de hidrógeno gaseoso:



Nos habremos percatado de que la reacción de combustión es reversible, es decir, podemos disociar

el agua mediante la electrólisis en hidrógeno y oxígeno, y luego, al quemar ese hidrógeno con ese oxígeno obtendremos la misma cantidad de agua que teníamos al principio.

Por ello, el hidrógeno es una de las posibles fuentes de energía del futuro, ya que no pierde su energía como hacen las pilas y baterías, y almacena una cantidad mucho mayor. Además y a diferencia de los hidrocarburos, el hidrógeno no contamina ya que, como hemos comprobado, la combustión del hidrógeno produce únicamente vapor de agua.

2. Almacenamiento y transporte

El gran inconveniente, y por el que aún no se utiliza el hidrógeno como combustible es que es tan reactivo que es muy peligroso almacenarlo comprimido (como se hace con muchos otros gases), ya que explota violentamente. Prueba de su peligrosidad es el dirigible “Hindenburg”, que explotó en una inmensa bola de fuego a causa del hidrógeno que contenía.

Aun con ese gran riesgo, en la industria aeroespacial el hidrógeno se emplea comprimido en estado líquido a muy bajas temperaturas, gracias a las altas medidas de seguridad.



Prototipo de tanque de almacenamiento de hidrógeno líquido

Actualmente se están investigando otros métodos para almacenar el hidrógeno, uno de ellos se basa en que el platino y otros metales lo absorben como una esponja.

También se investigan otros métodos para producirlo “in situ” a partir del gas natural, por ejemplo.

Uno de los inconvenientes del almacenamiento del hidrógeno es que se necesita mayor cantidad para obtener la misma energía que otros combustibles. Actualmente, por cada litro de gasolina se necesitarían cuatro litros de hidrógeno líquido.

Hay que tener en cuenta que aún no se ha conseguido explotar todo el potencial del hidrógeno. Además, el hidrógeno es muchísimo mas ligero que otros combustibles.

Capítulo III: Aplicaciones energéticas

Las aplicaciones energéticas del hidrógeno son muy variadas:

- **Sustitución de hidrocarburos:** El hidrógeno puede ser empleado directamente en los motores de combustión interna. Actualmente ya se ha comprobado que inyectando hidrógeno en los motores de combustión interna a través del carburador, es posible arrancar y utilizar el motor, tal y como si fuese gasolina. Esto es lógico, ya que la gasolina está compuesta en gran parte por hidrógeno, que se encuentra combinado con el carbono para formar los hidrocarburos. Para utilizar el hidrógeno en los motores actuales, sería necesario desarrollar un sistema de almacenamiento de hidrógeno compacto, y también un sistema seguro de transporte de hidrógeno al motor.

Ésta podría ser una de las soluciones para cuando se acaben los combustibles fósiles y nos quedemos con un montón de coches inútiles.

- **Fusión nuclear:** Al fusionar dos átomos de dos isótopos de hidrógeno, el deuterio y el tritio, se produce helio y una gran cantidad de energía térmica. Ésta energía se puede convertir en energía eléctrica para el uso doméstico.

Actualmente el ser humano aún no ha logrado producir energía a partir de una fusión nuclear, ya que se emplea más energía en provocar la fusión de la que se produce en ella.

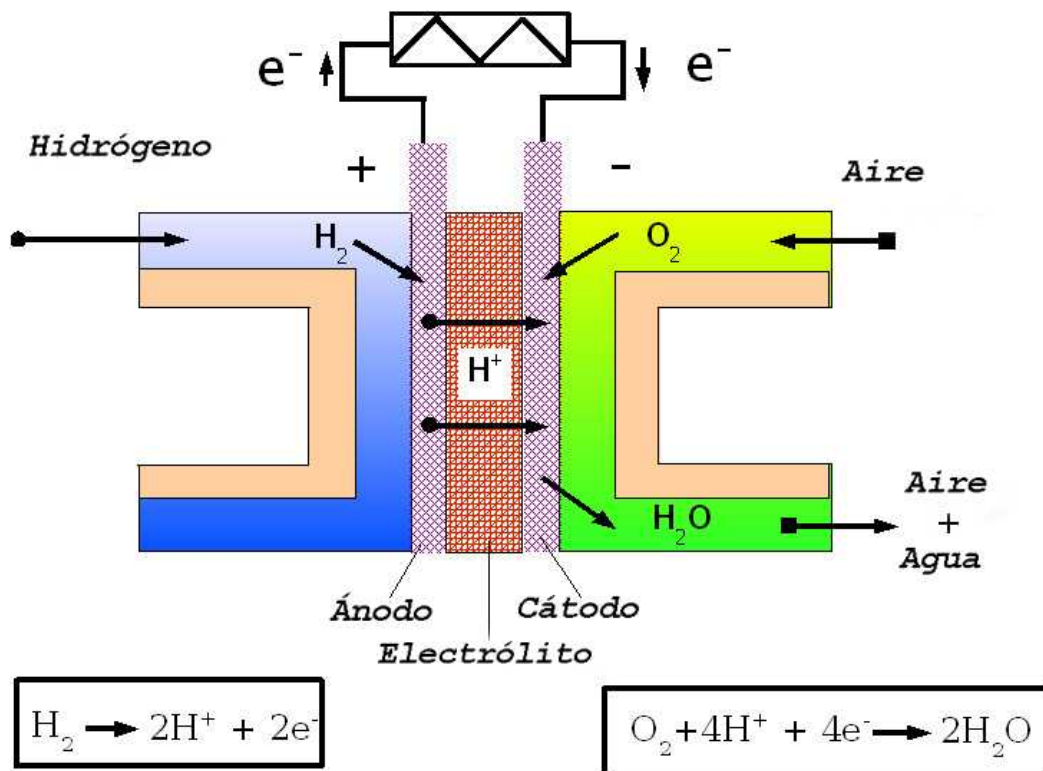
Los científicos aseguran que en el futuro será posible realizar fusiones nucleares de manera controlada, y que sean económicamente rentables.

En la actualidad, una de las fuentes de energía más demandadas es la de fisión nuclear. Ésta consiste en romper átomos de un isótopo del Uranio, de forma que se genera una gran cantidad de energía. El problema es que al dividir los átomos de Uranio, quedan residuos muy radioactivos, que son muy difíciles de eliminar. En su lugar, se guardan bajo tierra, pero esto no puede durar eternamente.

En cambio, la fusión promete ser la energía del futuro, ya que no produce ningún residuo radiactivo.

- **Pilas de combustible o células de combustible de hidrógeno:** Como hemos mencionado antes, las pilas de combustible de hidrógeno realizan la combustión del hidrógeno de manera controlada para poder obtener directamente electricidad.

El principio que utilizan las pilas de combustible fue descubierto por Christian Friedrich Schönbein en 1838. Más tarde, en 1839, Sir William Robert Grove demostró el funcionamiento de la primera pila de combustible, basándose en el trabajo de Schönbein. Hay multitud de tipos de pilas de hidrógeno. Hay algunas que funcionan a altas temperaturas, que están pensadas para su uso industrial, y otras que funcionan a poca temperatura (70-200°C), pensadas para su uso doméstico o en vehículos.



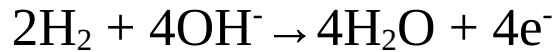
Esquema de funcionamiento de las pilas de hidrógeno

Las pilas que hemos considerado más importantes, debido a su simplicidad y prestaciones son:

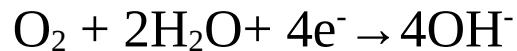
- **Pilas de combustible alcalinas:** También conocidas como “pilas de combustible de Francis Bacon”, debido a su inventor. Utilizan como electrolito un hidróxido, los que se suelen utilizar son la sosa cáustica (NaOH) o el hidróxido de potasio (KOH), que tiene mejores prestaciones que el anterior. Suelen alcanzarse rendimientos de alrededor del 70%. Éste tipo de pilas es de los más desarrollados, y la NASA ya ha utilizado éste tipo de pilas en las misiones Apollo. Debido a su alto rendimiento y bajo coste de materiales, decidimos desarrollar

nuestro diseño experimental en base a éste tipo de pilas. Por ello estudiamos las reacciones en las que están basadas estas pilas:

1. El hidrógeno reacciona con el grupo OH^- para formar agua y soltar 2 electrones:



2. El oxígeno se combina con las moléculas de agua y con 4 electrones, para formar 4 grupos OH^- :



Éstos grupos OH^- se combinan con el hidrógeno, y así se produce un ciclo en el que se genera agua, y se produce un movimiento de electrones que es el que genera la electricidad, junto con energía térmica.

- **Pilas de combustible PEM** (Membrana de Intercambio de Protones): Utilizan un electrólito sólido, una membrana de plástico especial que sólo permite que la atraviesen los cationes H^+ . Están basadas en reacciones muy similares a las que suceden en las pilas de hidrógeno alcalinas.

Debido a éste electrólito sólido, son pilas muy ligeras, fiables y robustas, y por ello, aún teniendo sólo un 60% de rendimiento, son el candidato más probable a estar en nuestros vehículos dentro de unos años.

Llegado este punto de la investigación, todo se resume en que, básicamente, para utilizar el hidrógeno primero invertimos electricidad en la electrólisis, y luego ésta electricidad nos es devuelta a través de éstas pilas de combustible.

Pero entonces, ¿para qué, si al final se pierde energía?

La respuesta es muy sencilla; el hidrógeno es transportable, al contrario que la mayoría de energías renovables. Por ello, el hidrógeno nos sirve, más que como recurso energético, como método de transporte de energía. Una buena comparación son las baterías recargables, se aporta energía eléctrica para cargarlas, y luego se nos es devuelta. Entonces nos preguntamos ¿por qué no usamos simplemente esas baterías recargables?

Pues porque es muchísimo más sencillo almacenar un gas (hidrógeno) que almacenar productos químicos dispuestos de una manera específica, que además se descargan con el tiempo (baterías). En nuestro diseño experimental, decidimos crear nuestra pila de

hidrógeno de la forma más semejante a una batería, de manera que la cargamos con electricidad, utilizando la electrólisis en el momento, y no aportando hidrógeno directamente.

Capítulo IV: Diseño experimental

1. Introducción

Este capítulo trata de el diseño y construcción de nuestra pila de hidrógeno

Desde la elección del tema de éste trabajo, decidimos realizar una de éstas pilas, ya que no nos conformamos con sólo conocer su funcionamiento.

Así que buscamos mucho a través de internet para encontrar diseños sencillos de pilas de hidrógeno. Encontramos varios diseños de pilas fáciles de construir, pero la mayoría de ellas necesitaban el uso de una “membrana de intercambio de protones” (PEM – Proton Exchange Membrane) como electrólito, un elemento que no es muy fácil de conseguir.

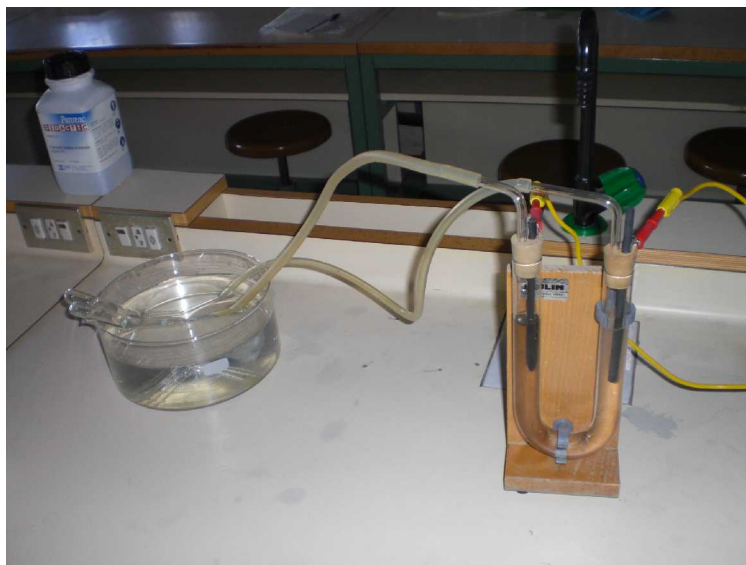
Por ello elegimos las pilas alcalinas como alternativa, ya que utilizan como electrólito un hidróxido, nosotros hemos utilizado NaOH (Hidróxido de sodio – Sosa cáustica), que es muy fácil de conseguir en la zona de limpieza de cualquier supermercado.

Como método de unión de piezas, nos decantamos por el pegamento termofusible, que al ser plástico fundido y no un pegamento químico, no se diluye en el agua, ni reacciona con la sosa cáustica.

Entonces, de recreo en recreo, fuimos al laboratorio de química y nos pusimos manos a la obra con los primeros experimentos.

2. Experimentos iniciales

En el laboratorio, comenzamos probando sencillamente la electrólisis del agua:



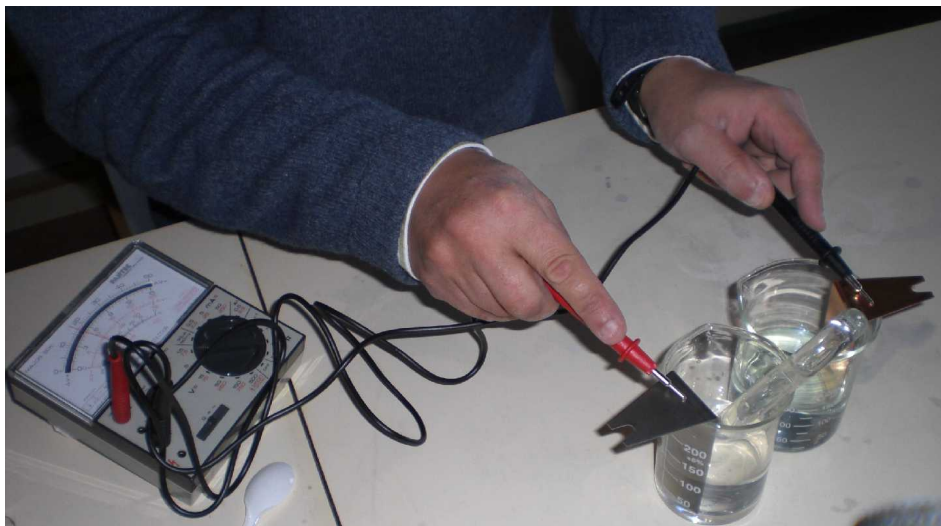
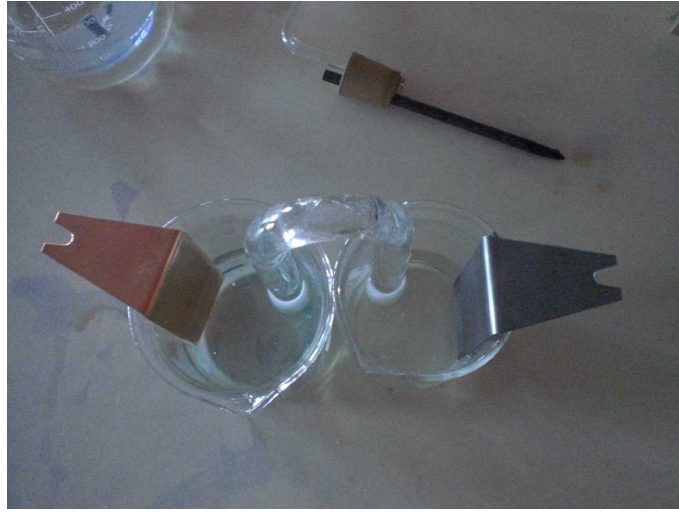
Electrólisis en el laboratorio

Nos dimos cuenta de que no se producía el suficiente flujo de hidrógeno como para ser utilizado en una pila de hidrógeno. Por ello, investigamos otras reacciones que lo produjesen en mayor cantidad. Fue entonces cuando nuestro profesor de Química nos enseñó que, al introducir un metal como el Zinc en una disolución de ácido clorhídrico (HCl), se libera mucho hidrógeno. Esto es perfecto para demostrar el funcionamiento de una pila de hidrógeno en el laboratorio.

Luego, solucionado el problema de la obtención del hidrógeno, empezamos a pensar en cómo sería nuestro diseño de pila de hidrógeno.

En ese momento, nuestro profesor de Química nos enseñó el funcionamiento de una pila de

concentración, porque pensaba que las pilas de hidrógeno funcionan de esa manera, pero mas tarde descubrimos que no es así. Éste tipo de pilas pueden funcionar mediante hidrógeno, pero en éste caso utilizamos químicos líquidos por más facilidad.



Pila de concentración generando 0.5 voltios

3. Prototipos

Los primeros prototipos los fabricamos siguiendo los esquemas de funcionamiento de las pilas de hidrógeno, esto es, con dos electrodos separados por un material denominado electrólito.

Decidimos realizar nuestra pila con electrodos de acero inoxidable, debido a su bajo coste y resistencia a la corrosión, y como ya hemos mencionado antes, utilizamos una disolución de sosa cáustica como electrólito, debido a su fácil adquisición y buen rendimiento.

Los electrodos los fabricamos a partir de malla fina de acero inoxidable, extraídas de unas tapas anti-salpicadura para sartenes:



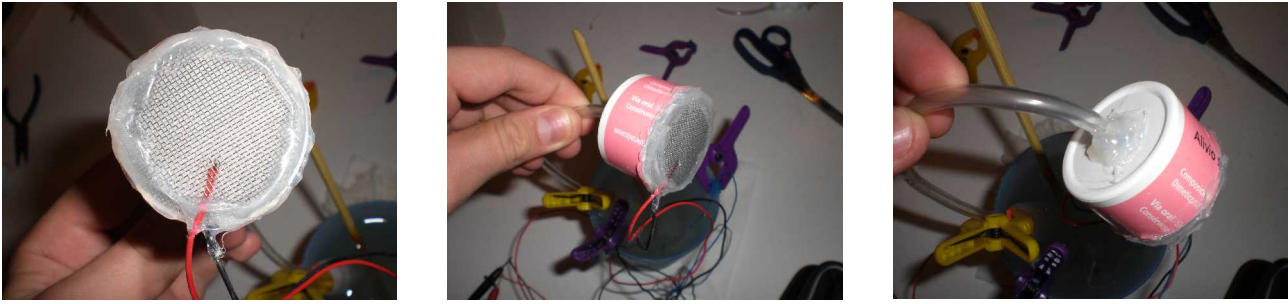
Malla fina y estropajo de acero inoxidable

También pensamos en usar estropajos de acero inoxidable, pero éstos se oxidaban mas fácilmente que la malla.

Nuestro primer diseño estaba formado por un tubo de plástico (un tubo gastado de “Aero-Red”) al que realizamos un agujero en la base e introducimos un tubo fino de plástico (de los utilizados en los acuarios), por el que fluiría el hidrógeno.

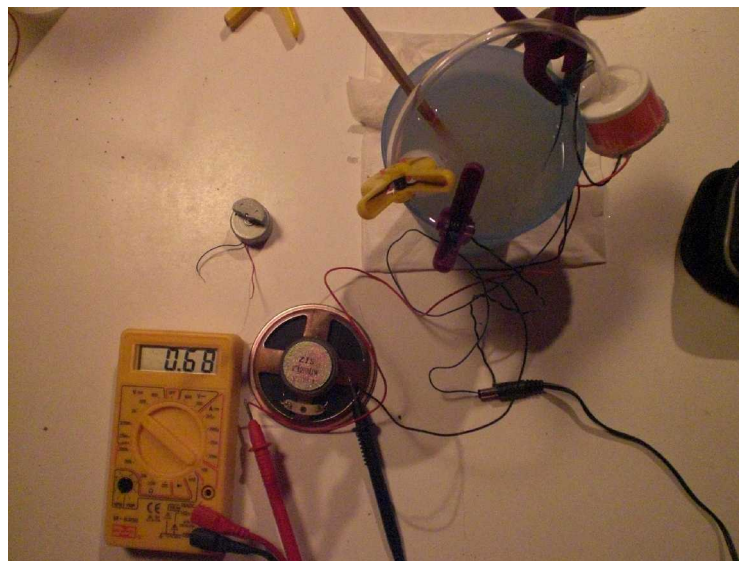
Luego, mas o menos a la mitad del tubo pegamos transversalmente un trozo circular de malla inoxidable, a la que conectamos un cable que sería uno de los polos de la pila.

Encima de la malla colocamos un disco de algodón, y sobre él pegamos otro trozo de malla inoxidable, con otro cable conectado como el otro polo de la pila.



Nuestro primer intento de pila de hidrógeno

Así, para hacer funcionar la pila, empapamos el algodón con la disolución de NaOH, e hicimos fluir el hidrógeno, generado a partir del ácido clorhídrico y el Zinc, por el tubo.



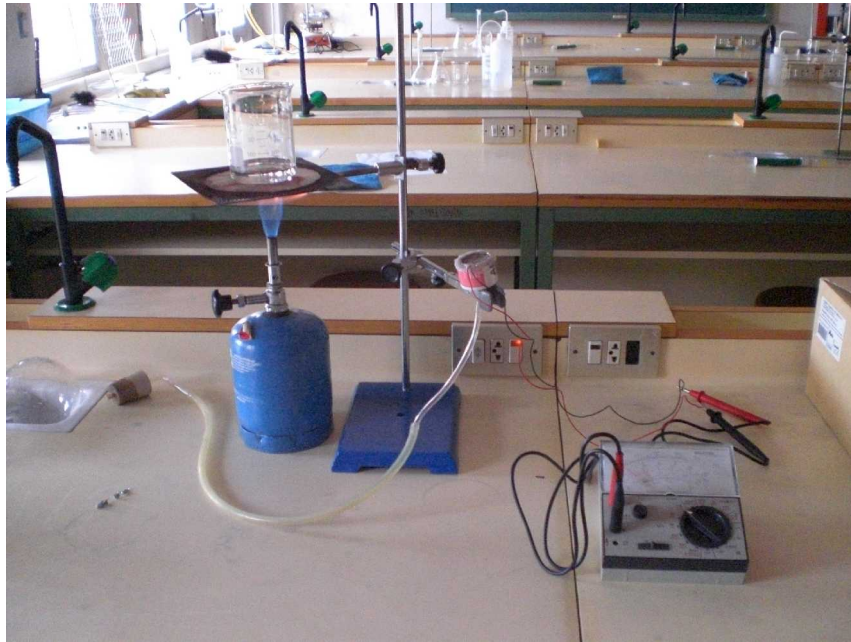
Primeras pruebas de nuestro primer prototipo

Los resultados eran buenos; conectamos la pila a la fuente de hidrógeno, empapamos el algodón de la disolución de NaOH, y comenzamos a medir una corriente de 0.6 voltios.

Con esa electricidad pudimos hacer un poco de ruido con un altavoz, comprobando así la existencia de esa corriente.

No nos quedamos conformes con tan poca corriente, así que seguimos investigando, hasta dar con unos gráficos de un libro que muestran que las pilas de hidrógeno alcalinas funcionan mejor cuanto mas presión y temperatura halla en en el electrólito. La presión no la podíamos controlar, pero sí la temperatura.

Por ello decidimos calentar nuestra disolución de NaOH para añadirla a nuestra pila casi a la temperatura de ebullición, y volvimos a medir el voltaje:



Segunda prueba, aumentando la temperatura del electrolito

El voltaje no se elevó demasiado, mucho menos de lo que nos esperábamos, pero ése no fue el problema, sino que descubrimos que la pila producía electricidad al aplicar el electrolito, pero sin tener conectada la fuente de hidrógeno. Comprobamos que el voltaje generado no variaba en absoluto al conectar el hidrógeno, lo que nos hizo suponer que no se estaba produciendo la reacción esperada, sino otra desconocida que no tenía nada que ver con la de las pilas de hidrógeno.

Como último intento de este diseño, decidimos aumentar la superficie de los electrodos, utilizando

un recipiente de plástico más grande, y siguiendo el mismo procedimiento que para la anterior, la probamos:



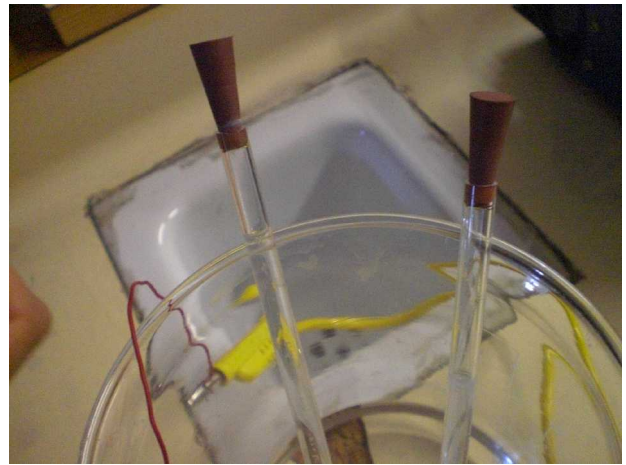
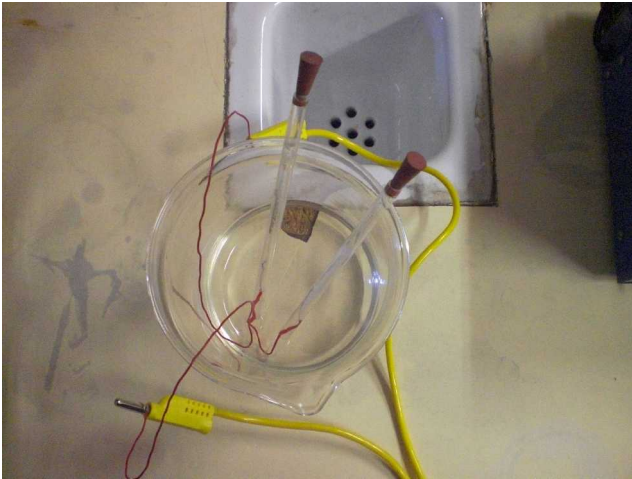
Tercera prueba, aumentando la superficie de los electrodos

Ésta pila era significativamente más grande que la anterior, sin embargo, funcionó exactamente igual. Esto nos hizo definitivamente buscar otro diseño de pila de hidrógeno.

Debido al fracaso, decidimos volver a la idea principal de la pila de hidrógeno. Así que, después de otra búsqueda de información, encontramos un diseño muy simple, que se ajustaba perfectamente a nuestras necesidades.

Éste consiste en un recipiente lleno de la disolución de NaOH, en el que se han llenado y colocado invertidos dos tubos de ensayo. En cada tubo se introduce un electrodo, y, mediante una fuente de alimentación, producimos la electrólisis en el interior de los tubos, llenando un poco los tubos; uno de hidrógeno, y el otro de oxígeno.

Luego, se desconecta la fuente de alimentación, y ya tenemos nuestra pila, alimentada por el hidrógeno y el oxígeno que acabamos de generar.



Simple célula de hidrógeno produciendo 1 voltio

Al conectar el voltímetro comprobamos que se estaba generando corriente eléctrica, y que el diseño funciona correctamente.

Así, nos decidimos a fabricar nuestra pila de hidrógeno en base a éste diseño tan simple.

4. Construcción de la pila de hidrógeno

Para construir nuestra pila, decidimos unir varias células de hidrógeno independientes, para así poder sumar sus intensidades eléctricas.

Después de pensar varias formas de unir las células, nos decantamos por un diseño rectangular y desmontable, para facilitar el cambio y limpieza de los electrodos. Elegimos utilizar 13 células, que harían que la pila tuviese unas medidas razonables. También decidimos fabricarla en plástico transparente (en nuestro caso metacrilato, para evitar la corrosión), para poder apreciar su funcionamiento.

Cada célula está formada por un tubo ancho de 3 cm pegado a una placa de metacrilato, a modo de recipiente de contención del electrólito, en el que se insertan dos tubos más finos (de 1.2 cm), tapados en su parte superior mediante otra placa de metacrilato.

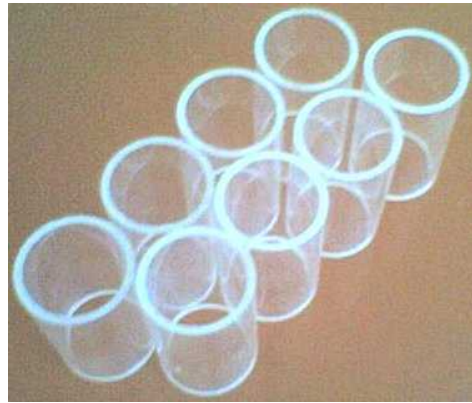
Dentro de los dos tubos interiores están colocados los dos electrodos, cada uno en un tubo.

Esto es igual que el último experimento realizado en el apartado anterior, pero mucho más compacto.

Así, para construir nuestra pila, fueron necesarios los siguientes materiales:

1. Tubos de metacrilato (de 30x26mm y de 12x10mm)
2. Placa de metacrilato (de 30x40cm)
3. Malla de acero inoxidable (extraída de tapas anti-salpicadura para sartenes)
4. Cables, muchos cables (reciclados de ordenadores viejos)
5. Pegamento termofusible
6. Estaño para soldaduras

Comenzamos a fabricar nuestra pila de hidrógeno cortando los tubos de metacrilato:



Utilizamos una sierra especial para cortes a 90°



El tubo fino lo tuvimos que cortar y limar a mano



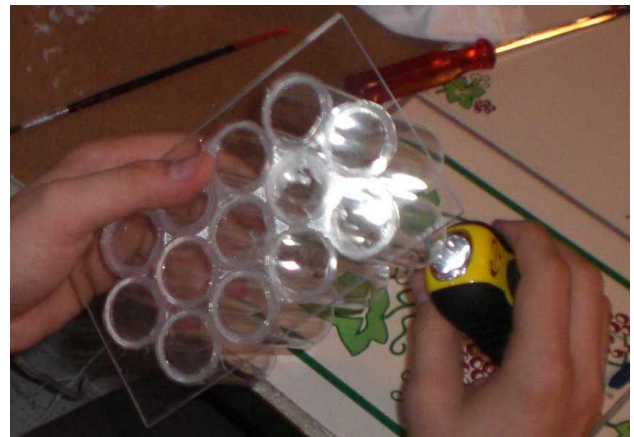
Comprobamos que las piezas encajaban

Entonces, repartimos los trece tubos en la posición que tendrían en la pila, y con esas medidas marcamos y cortamos las dos placas de metacrilato:



Marcamos las placas y realizamos los cortes con una sierra de calar

Luego pegamos los tubos anchos en su lugar mediante pegamento termofusible, y comprobamos su estanqueidad:

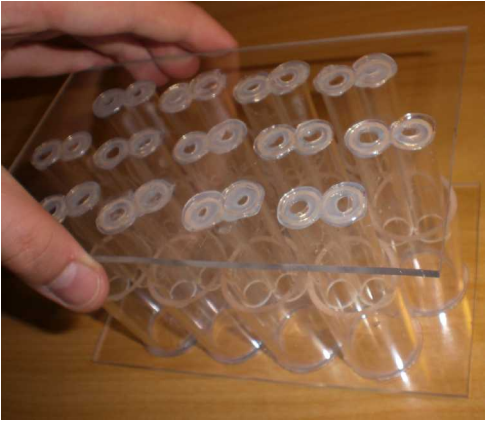


Detectamos varias fugas al llenar los tubos de agua, así que las localizamos comprobando las uniones mediante una linterna y las reparamos desde el interior de los tubos

Después de reparar las fugas, señalamos sobre la otra placa de metacrilato la posición de los tubos finos, y los pegamos en su lugar, probando a cada tubo pegado si las dos partes de la pila encajaban correctamente:

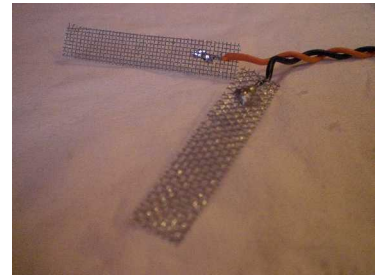
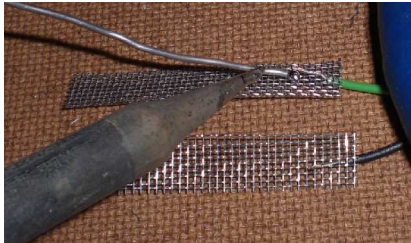
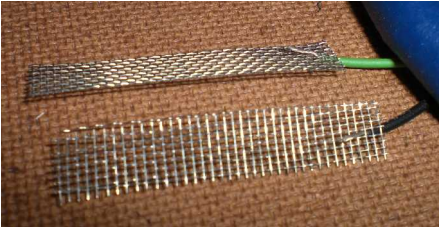


Los resultados fueron muy satisfactorios



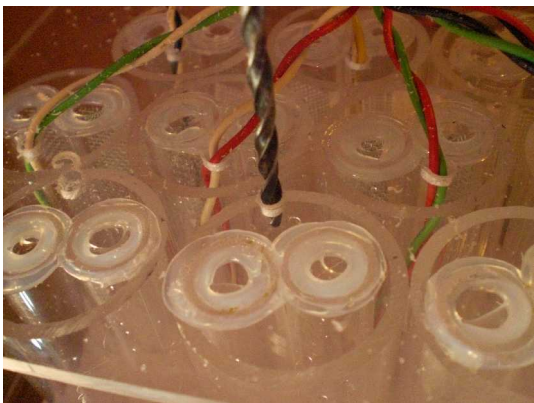
Las dos mitades encajan a la perfección

Entonces cortamos pequeños trozos rectangulares de la malla de acero inoxidable, a modo de electrodos, y los soldamos a los cables. Decidimos utilizar unos 30 cm de cable por cada electrodo:



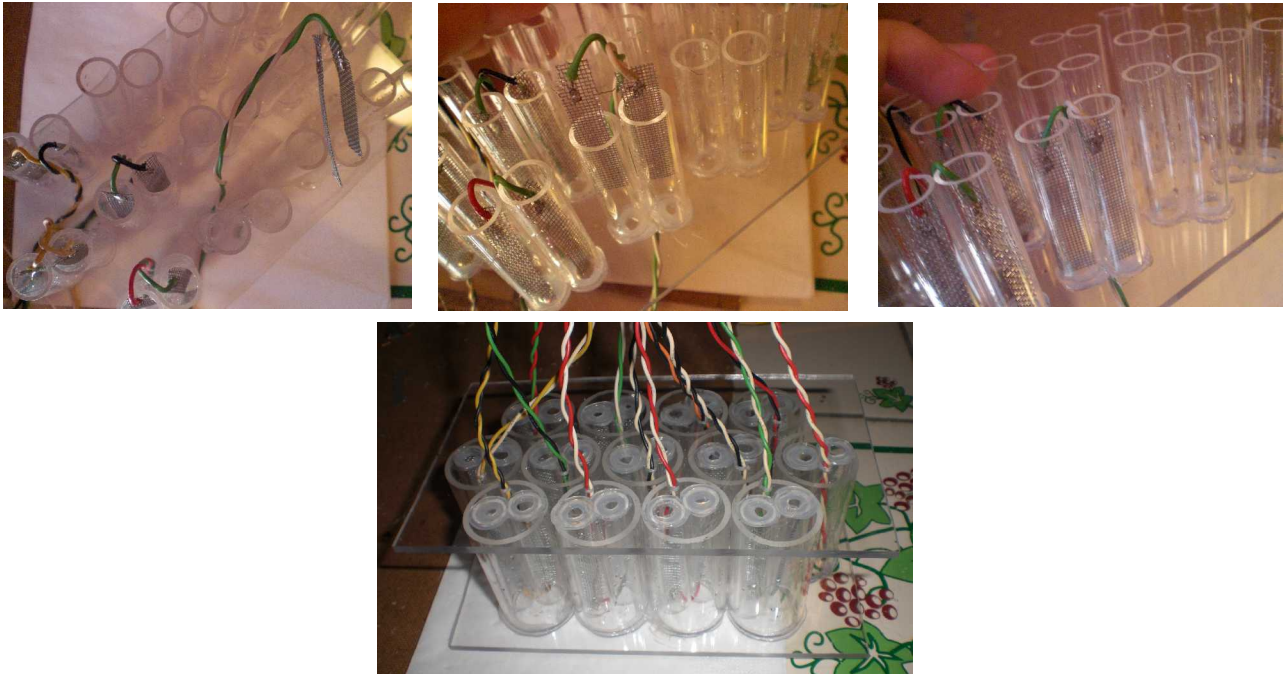
Todos los electrodos son exactamente iguales

Cuando ya tuvimos los 26 electrodos listos (2 por cada una de las 13 células de hidrógeno), realizamos un agujero encima de cada célula, para poder sacar hacia arriba los cables:



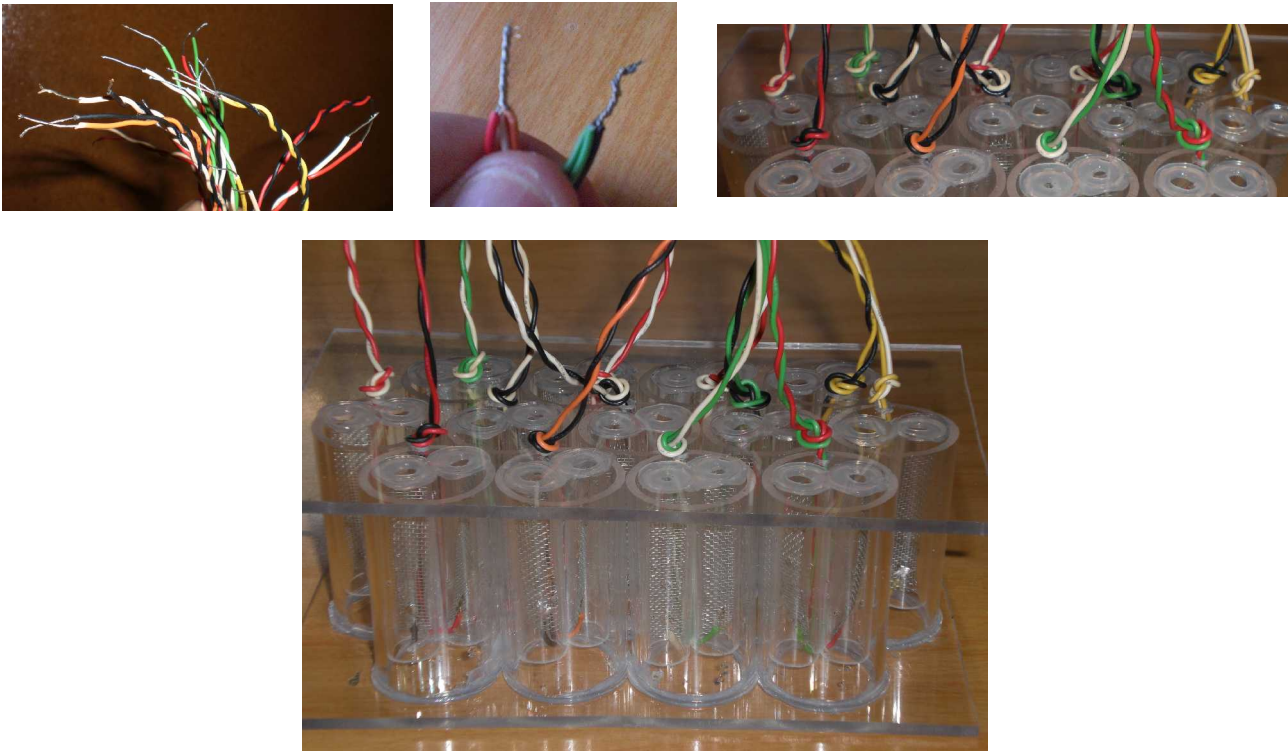
Realizamos los agujeros con un taladro y los limamos a mano

Luego montamos los electrodos en nuestra pila:



Insertamos los electrodos por abajo, y sacamos cada par de cables por la parte superior de la pila

Ya casi habíamos acabado, sólo quedaba organizar un poco los cables, realizando un nudo para que no se moviesen, y conectando todas las células de hidrógeno en paralelo, para poder cargarlas:



¡Y al fin teníamos nuestra pila de hidrógeno!

Ahora solo faltaba probarla.

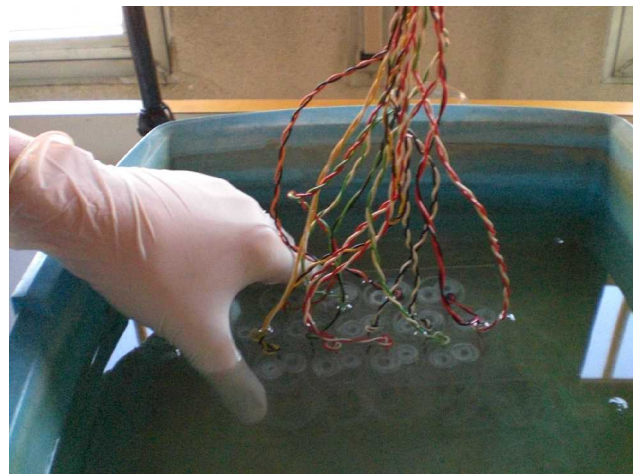
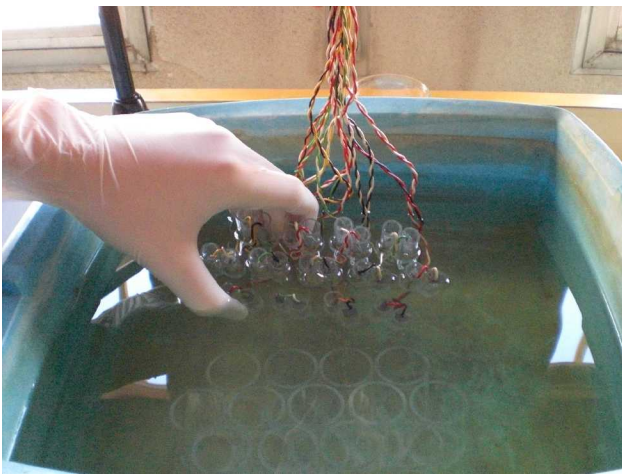
5. Prueba de la pila

Para probar la pila, primero había que llenarla de la disolución de sosa cáustica.

Para ello, utilizamos un barreño que llenamos un poco más de la mitad de agua, añadimos 4 cucharadas de sosa cáustica y removimos con una varilla.

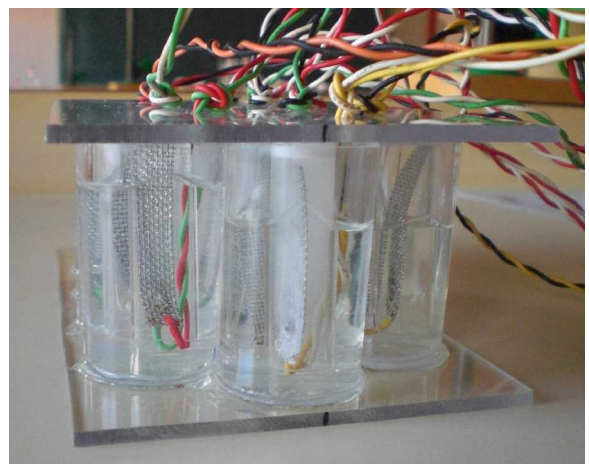
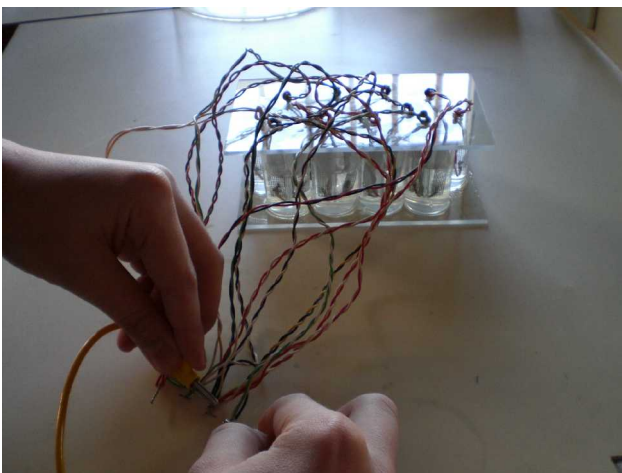
En el barreño introducimos boca arriba la base de la pila y también la parte superior con los electrodos. Luego, sin sacar la parte superior del agua, la colocamos boca abajo, y la encajamos con la parte inferior, quedando así los tubos superiores llenos completamente de agua.

Los tubos de la base se quedaron llenos hasta la mitad, inclinando ligeramente la pila para escurrir el agua sobrante:



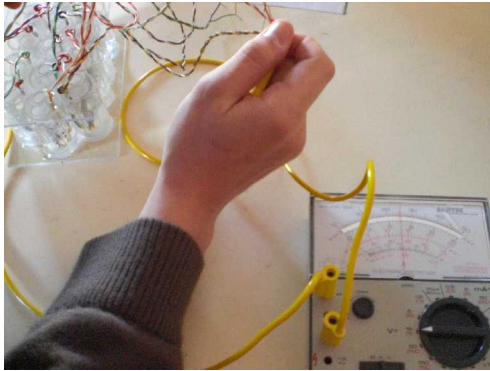
La operación de llenado es muy rápida

Tras el llenado, secamos bien la pila y la conectamos a la fuente de alimentación, para cargarla de hidrógeno y oxígeno mediante electrólisis. Conectamos todas las células en paralelo, porque se necesitaría mucho voltaje para cargarlas en serie:

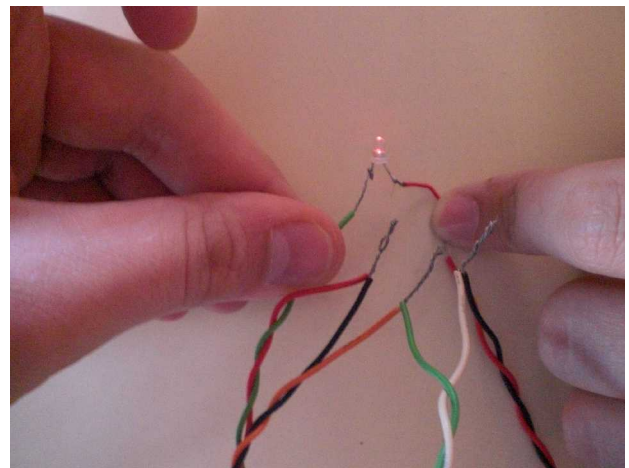
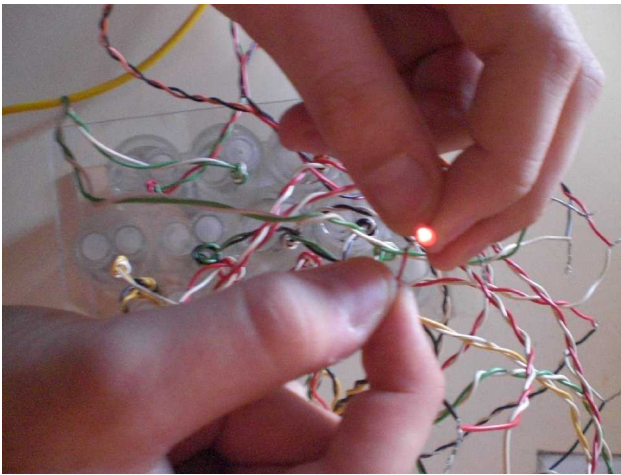


La carga de la pila llevó unos 5 minutos, aunque no la cargamos del todo

Luego desconectamos la fuente de alimentación, y conectamos todas las células en serie. Así medimos un voltaje de 9 voltios, que bajó y se estabilizó a 7.5 voltios:



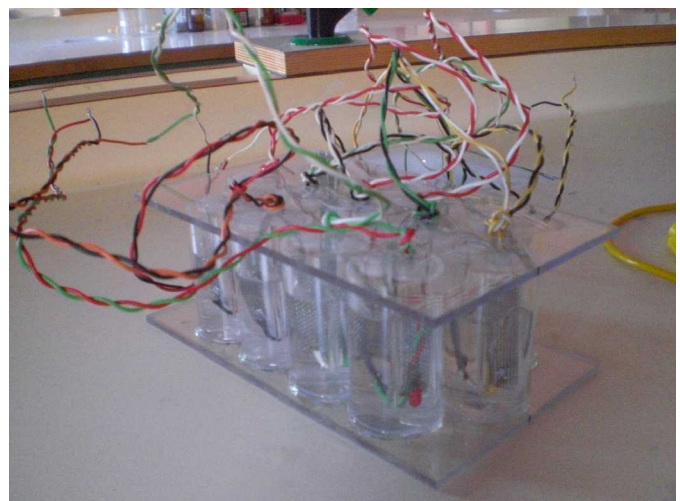
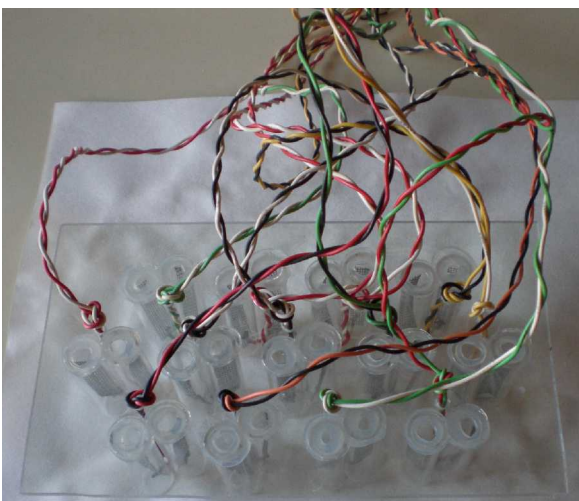
Con éste voltaje pudimos encender un LED de alto brillo, e incluso un pequeño motor eléctrico:



Funcionó incluso conectando sólo 4 de las células

¡Eureka!

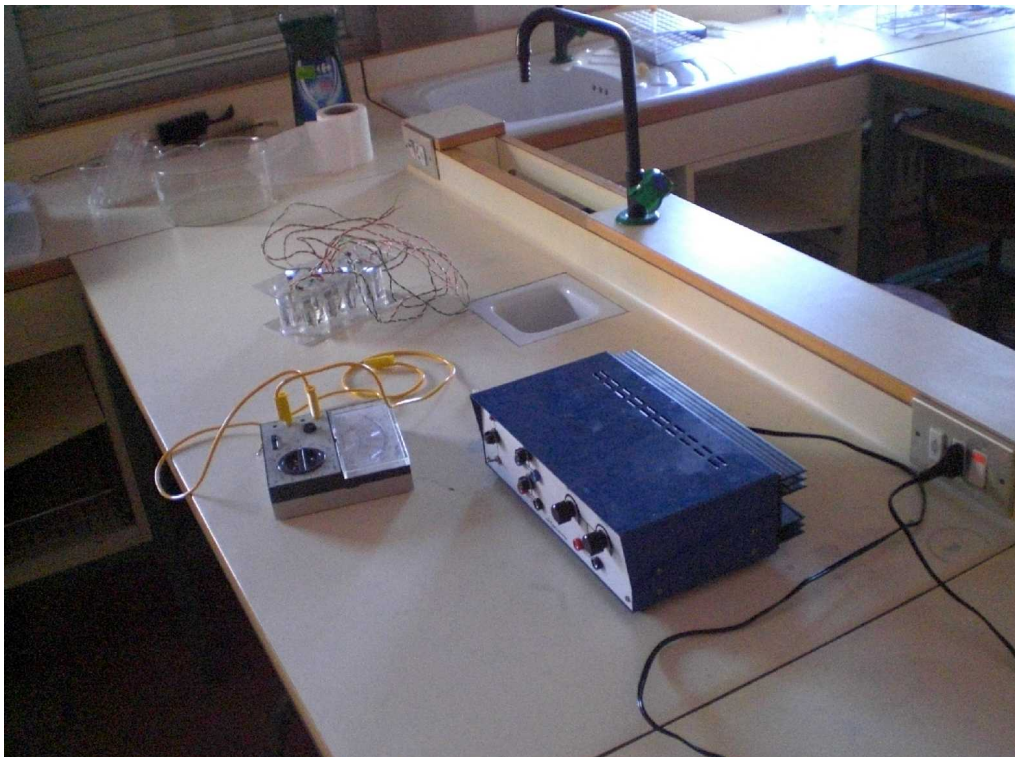
Finalmente, sólo tuvimos que vaciar la pila de hidrógeno de líquido y enjuagarla y secarla bien para evitar que se oxidasen los electrodos.



6. Conclusiones del diseño

Después de tanta experimentación y búsqueda de información, hemos decidido que los puntos a tener en cuenta al diseñar y construir una pila de hidrógeno son:

- **Uso de materiales simples y baratos;** que sean fácilmente reciclables.
- **Electrodos amplios;** para conseguir más intensidad de corriente.
- **Unir varias células de hidrógeno;** así se produce un mayor voltaje.
- **Simplicidad para calentar el electrólito;** ya que así se produce mucha más electricidad.
- **Fácil recarga;** para un llenado fácil y rápido de hidrógeno.
- **Simplicidad en las conexiones;** a ser posible, utilizar un circuito que permita conectar las diferentes células en paralelo o en serie rápidamente.



Conclusiones

Al finalizar este proyecto de investigación hemos llegado a las siguientes conclusiones:

- Siempre que se haga una investigación se debe de tener en cuenta del material y los recursos de los que vas a poder disponer, para así poder planearlo de forma adecuada.
- Las investigaciones prosperan de mejor manera cuando varias personas se ayudan en vez de competir por un mismo fin, ésta es una de las cosas más importantes que hemos aprendido.
- A la sociedad no le gusta oír hablar de nuevas energías que necesiten financiación para investigarlas, prefieren continuar con las que han venido utilizando hasta la fecha sin importar lo dañinas que puedan resultar para el medio en el que vivimos o que no sean renovables.
- Es necesario que en nuestra sociedad se investiguen y se ahonde más en otro tipo de recursos energéticos, por que lo que estamos consiguiendo con el uso continuado de combustibles fósiles es sólo empeorar la situación. Aunque nos generan energía barata, los daños secundarios son enormes. No sólo los combustibles fósiles si no también cualquier otro tipo de recurso energético que deje residuos que no seamos capaces de reciclar.



Agradecimientos

Queremos mostrar nuestro agradecimiento hacia las siguientes personas que han hecho posible la creación de este trabajo:

- **M^a Carmen San José:** Nuestra profesora de Ciencias para el mundo contemporáneo. Gracias a ella hemos realizado éste trabajo, con el que hemos aprendido mucho sobre las pilas de hidrógeno.
- **Carlos González Blanco:** Nuestro profesor de Física y Química. Nos dejó usar el laboratorio del instituto para nuestros experimentos y nos ayudó muchísimo con el contenido teórico.
- **Carlos González:** Nuestro profesor de tecnología. Nos ayudó con la construcción de la pila de hidrógeno.
- **Edwin Blom:** Tío de Carlos. También nos ayudó con la construcción de nuestra pila (nos dejó usar su sierra de cortes a 90°).

¡¡¡Muchas gracias a todos por vuestra ayuda!!!



Fuentes

Bibliografía

- EG&G Technical Services: *Fuel Cell Handbook*. Es un documento muy extenso que contiene toda la información actual sobre las pilas de hidrógeno.
Actualmente hay once ediciones, cada una está actualizada con los datos conocidos en la fecha en que se publicó. Nosotros hemos empleado la 5ª edición, publicada en Octubre del año 2000. También revisamos la séptima edición, pero no aportaba ninguna diferencia respecto a la información que buscábamos.
Está escrito en inglés, y se puede descargar gratuitamente de internet desde la siguiente URL: <http://www.fuelcells.org/info/library/fchandbook.pdf>
- Nuestro profesor de Física y Química: *Carlos González Blanco*

Páginas web utilizadas

- http://es.wikipedia.org/wiki/Celda_de_hidr%C3%B3geno
- <http://www.enbuenasmanos.com/articulos/muestra.asp?art=954>
- <http://www.portalplanetasedna.com.ar/hidrogeno.htm>
- <http://www.energiaslimpias.org/el-hidrogeno-como-fuente-de-energia/>
- http://es.wikipedia.org/wiki/Alkaline_fuel_cell
- http://en.wikipedia.org/wiki/Electrolysis_of_water
- <http://www.newscientist.com/article/dn16370-worlds-smallest-fuel-cell-promises-greener-gadgets.html>
- <http://menosgas.blogspot.com/2008/02/electrlisis-del-agua.html>
- http://scienceathome.cienciaviva.pt/celcombsalina_eng.html
- http://sci-toys.com/scitoys/scitoys/echem/fuel_cell/fuel_cell.html
- <http://www.howstuffworks.com/fuel-cell2.htm>
- http://www.claudio-otero.cl/fuel_cells/
- <http://americanhistory.si.edu/fuelcells/pem/pemmain.htm>

- <http://americanhistory.si.edu/fuelcells/basics.htm>
- http://es.wikipedia.org/wiki/Tecnolog%C3%ADas_del_hidr%C3%B3geno
- http://es.wikipedia.org/wiki/Hidr%C3%B3geno_l%C3%ADquido
- <http://www.cientificosaficionados.com/tecnicas/hidrogeno%20electrolitico.htm>
- <http://elemental.awardspace.com/experimentos/hidrogeno.htm>
- http://www.physics.ubc.ca/~outreach/phys420/p420_03/shane/title.htm
- <http://www.cientificosaficionados.com/pilas%20de%20combustible/pilas%20de%20combustible.htm>

Imágenes

- Páginas 7 y 8: http://en.wikipedia.org/wiki/Fuel_cell
- Páginas 9 y 10:
<http://www.newscientist.com/article/dn16370-worlds-smallest-fuel-cell-promises-greener-gadgets.html>
- Página 12: <http://menosgas.blogspot.com/2008/02/electrlisis-del-agua.html>
- Página 13: http://es.wikipedia.org/wiki/Hidrógeno_líquido
- Página 16: http://es.wikipedia.org/wiki/Celda_de_hidrógeno

Todas las demás fotografías o imágenes las hemos realizado expresamente para este proyecto.