

LA PILA DE COMBUSTIBLE

# LA PILA DE COMBUSTIBLE

L' HIDROGEN, UN GRAN REACTIU

# LA PILA DE COMBUSTIBLE

## ÍNDEX

0. INTRODUCCIÓ.....	3
1. LA PILA DE COMBUSTIBLE.....	4
1.1 <u>Fonaments teòrics</u> .....	4
1.2 <u>Projecte propi</u> .....	11
1.3 <u>Estudi de la pila comercial</u> .....	15
1.4 <u>Comparació del nostre projecte amb la pila comercial</u> .....	17
2. FORMES D'OBTENCIÓ D'HIDROGEN.....	20
2.1 <u>Electròlisi</u> .....	20
2.2 <u>Reacció d'un àcid amb un metall</u> .....	22
2.2.1 Projecte de mecanisme d'obtenció d'hidrogen.....	24
2.3 <u>A partir de combustibles fòssils</u> .....	27
3. CONCLUSIONS.....	28
4. AGRAÏMENTS.....	29
5. LLISTA DE REFERÈNCIES.....	30
6. ANNEXOS (en el CD)	

## LA PILA DE COMBUSTIBLE

### 0. INTRODUCCIÓ

El nostre principal objectiu per aquest treball és trobar una font d'energia sostenible, és a dir, que el combustible que utilitza i el procés d'obtenció no sigui contaminant.

Aquest treball tracta sobre la pila de combustible i les formes d'obtenció del seu principal reactiu, l'hidrogen, que compleix els requisits anteriors.

També hem volgut fer un projecte propi de pila amb el mateix funcionament que una pila de combustible comercial utilitzant materials al nostre abast. A més a més hem fet un estudi de la comercial i la hem comparat amb la nostra.

Respecte l'obtenció d'hidrogen hem estudiat els principals processos en els quals nosaltres hem pogut fer alguns experiments senzills per veure'n el funcionament i analitzar-ne el rendiment.

## LA PILA DE COMBUSTIBLE

### 1. LA PILA DE COMBUSTIBLE

#### 1.1 Fonaments teòrics de la pila

La pila de combustible és un dispositiu que ens permet convertir l'energia química de la reacció de l'hidrogen i l'oxigen, formant així aigua, en energia elèctrica. El seu funcionament és semblant al d'una bateria, però amb la diferència que a aquesta els reactius estan dins de la mateixa i no venen de fora, per tant, tenen una vida limitada si no se les carrega. A la pila de combustible, en canvi, l'origen dels reactius és extern.

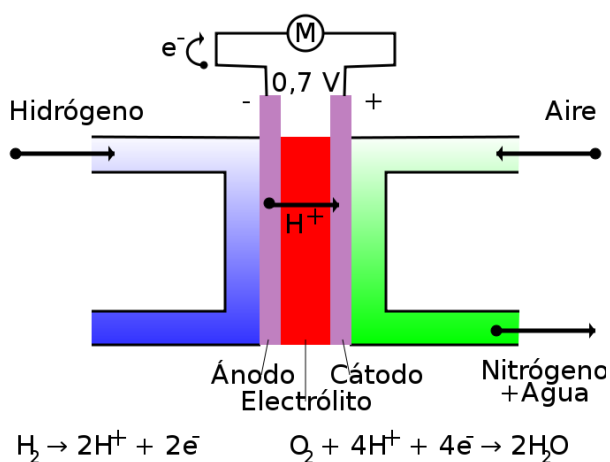
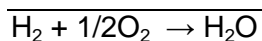
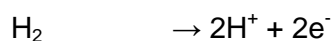


Figura 1.1.1

#### Explicació del funcionament fent referència a la figura 1.1.1:

Per a aconseguir aquesta energia, els àtoms d'hidrogen (que venen per el conducte blau) es dissocien en l'elèctrode negatiu (part lila de l'esquerra) i es forma un electró i un protó. L'electró passa per un circuit extern, aprofitant d'aquesta manera nosaltres l'energia elèctrica, i el protó, passa per electròlit (part vermella), que pot ser de diferents naturaleses, com ja explicarem més endavant. Finalment, el conjunt del protó, l'electró i l'oxigen provinent de l'altre part de la pila (part verda), es recombinen al càtode (part lila de la dreta) formant aigua, segons la reacció següent (esquema simplificat en la figura 1.1.1):

## LA PILA DE COMBUSTIBLE



Com ja hem dit anteriorment, hi ha diferents tipus de piles de combustible que es caracteritzen per tenir electròlits de diferents naturaleses.

<b>Tipus i sigles en anglès</b>	<b>electròlit</b>	<b>Combustible</b>	<b>Aplicacions*</b>
Polimèriques o de membrana (PEM)	Nafion	H <sub>2</sub>	Transport, equips portàtils, electricitat
Alcalines (AFC)	NaOH(aq)	H <sub>2</sub>	Militars, espacials
D'àcid fosfòric (PAFC)	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub>	electricitat
De carbonats fosos (MCFC)	Carbonats: Li, Na, K	H <sub>2</sub>	Electricitat
D'òxid sòlid (SOFC)	(Cr,Y)O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	electricitat
Conversió directa de metanol (DMFC)	Nafion	CH <sub>3</sub> OH	Transport, equips portàtils, electricitat

Taula 1.1.1

També cal dir que la pila d'hidrogen és una forma d'obtenció d'energia neta, és a dir, que té una contaminació 0, ja que la reacció no té com a producte cap substància que contribueixi a l'efecte hivernacle. Això és degut només si l'hidrogen s'ha obtingut a partir de formes que tampoc produeixin cap contaminació.

## LA PILA DE COMBUSTIBLE

Un exemple de pila PEM amb Nafion d'electròlit com la que ens ha deixat el Jaume Pont de La Culla, seria la següent (figura 1.1.2):

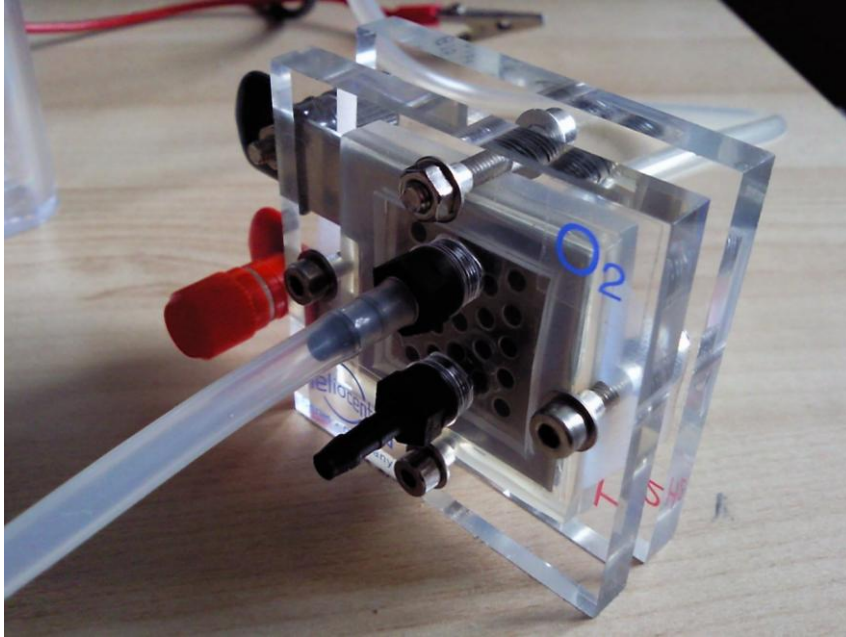


Figura 1.1.2

### **Aplicacions\***

La pila de combustible és una font d'energia que per la seva naturalesa té diferents tipus d'aplicacions, molt diverses i útils. Les podríem resumir en 6 grans blocs: Indústria militar, dispositius portàtils, proveïment energètic en habitatges, missions espacials, generació d'energia a gran escala i transport.

#### **- Indústria militar:**

S'espera que les aplicacions militars suposin un mercat molt significatiu per a la tecnologia de piles de combustible. L'eficàcia, versatilitat, temps de funcionament prolongat i la seva operativitat sense sorolls, fan de les cel·les de combustible un sistema a la mesura per a les necessitats dels serveis militars. Les piles de



## LA PILA DE COMBUSTIBLE

combustible podrien aportar una solució de generació energètica vàlida per a l'equipament militar portàtil terrestre o marítim.

Les piles de combustible en miniatura podrien oferir grans avantatges sobre les piles sòlides convencionals voluminoses i a més s'eliminaria el problema de la seva recàrrega.

Seguint la mateixa tònica, l'eficàcia de les piles de combustible per al transport veuria reduïda dràsticament la necessitat de combustible necessari durant les maniobres. Els vehicles serien capaços de recórrer grans distàncies o treballar en àrees remotes durant més temps i la quantitat de vehicles de suport, personal i equipament necessari a la zona de combat podrien reduir-se.

### - Dispositius portàtils:

El desenvolupament continu de les piles de combustibles ha contribuït al desenvolupament de nombrosos dispositius electrònics mòbils. La miniaturització de les piles de combustible ofereix seriosos avantatges respecte a les bateries convencionals, tals com l'increment del temps d'operació, la reducció del pes i la facilitat de recarregar.



Per a aquest tipus d'aplicacions com a ordinadors portàtils, telèfons mòbils i videocàmeres, serà necessari considerar els següents paràmetres que s'han de donar a les piles:

- \* Baixa la temperatura d'operació.
- \* Disponibilitat de combustible.
- \* Activació ràpida.

En aquest punt, la investigació se centra en dos tipus de piles: les piles de membrana polimèrica (PEM) i les piles de combustible de metanol directe (DMFC), com ja vam explicar en el primer apartat.

## LA PILA DE COMBUSTIBLE

Els desavantatges actuals són relatius al cost del catalitzador de platí necessari per convertir el metanol en diòxid de carboni i energia elèctrica a baixes temperatures i baixa densitat energètica.

### Proveïment energètic en habitatges:

Les dificultats tècniques a l'hora de dissenyar les piles de combustibles se simplifiquen en les aplicacions estàtiques. La majoria de les piles de combustibles comercialitzades, si no totes, són immòbils i treballen a gran escala (generant més de 50 kW d'energia elèctrica). Hi ha, tanmateix, un potencial significatiu per a unitats menors per a aplicacions en habitatges (menors que 50 kW).

Tota la calor i els requeriments energètics de residències privades o petits negocis podrien servir-se de piles de membrana polimèrica (PEM) o d'àcid fosfòric (PAFC).



Actualment, aquestes unitats no es troben fàcilment disponibles. Aquest tipus de piles ofereixen una major densitat energètica respecte a les PAFC, però aquestes poden ser més eficients i la seva fabricació actualment és més econòmica. Les unitats podrien proveir cases independents o grups d'habitatges i podrien

dissenyar-se per satisfer totes les necessitats energètiques dels habitants.

### Missions espacials:

La necessitat del govern nord-americà d'identificar una energia de confiança i segura que servís com font de proveïment per a missions espacials tripulades a finals dels 50 i principis dels 60, va proporcionar l'ímpetu i l'ajuda per a l'avenç considerable de la indústria de piles de combustible.



## LA PILA DE COMBUSTIBLE



La combinació del seu pes lleuger, l'aportament d'electricitat i calor sense sorolls significatius i vibracions i amb l'avantatge afegit de la producció d'aigua potable, van atorgar a les piles de combustibles avantatges considerables respecte a altres fonts d'energia alternatives. Aquestes piles de combustible que operen a baixa temperatura són les més eficients.

### Generació d'energia a gran escala:

Actualment, el mercat més desenvolupat de les piles de combustible és present en fonts estacionàries d'electricitat i calor. L'eficàcia i el volum reduït d'emissions respecte als dispositius que empen combustibles fòssils tradicionals, fan de la tecnologia de les piles de combustible una atractiva opció per als usuaris. Operant a temperatures per sota dels 80 °C, les piles de combustible poden ser instal·lades a qualsevol habitatge privat a més de poder satisfer les necessitats energètiques dels processos industrials.

Fins ara, els fabricants de cèl·lules de combustible s'han centrat en aplicacions no residencials. En el futur, les piles de combustible que operen a altes temperatures, com de carbonat fos (MCFC) i d'òxid sòlid (SOFC), podrien adaptar-se a aplicacions industrials i generar energia a gran escala (megawatts). Operant a temperatures entre 600-1100 °C aquestes piles de combustible "d'altres temperatures"

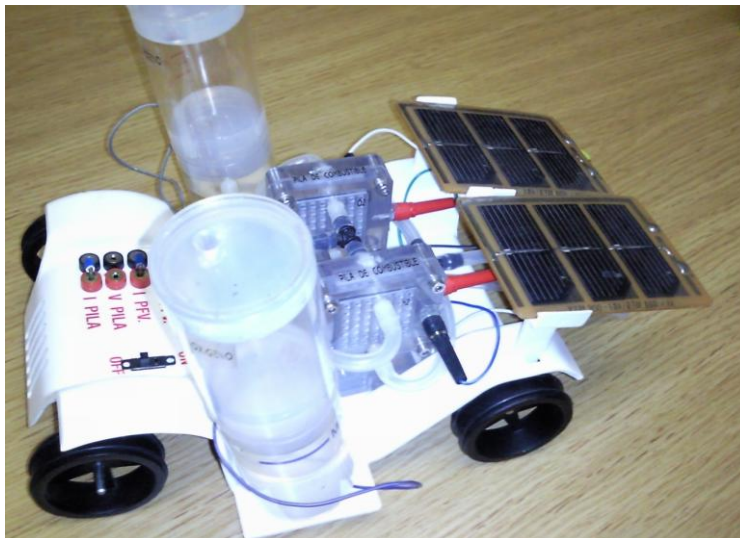


poden tolerar una font d'hidrogen contaminada, per això poden emprar gas natural no reformat, gasoil o gasolina. A més, la calor generada pot ser usada per produir electricitat addicional mitjançant turbines de vapor.

## LA PILA DE COMBUSTIBLE

### Transport:

La legislació ambiental, cada vegada més, força els fabricants d'automòbils a substituir aquells vehicles que produeixin gran quantitat d'emissions contaminants. La tecnologia de piles de combustible ofereix una oportunitat tangible per assolir aquest requeriment. La quantitat de diòxid de carboni procedent d'un cotxe petit pot reduir-se fins i tot en un 72% quan s'empra una pila de combustible d'hidrogen obtingut a partir de gas natural en lloc d'un motor de combustió interna de gasolina. Tanmateix, si les piles de combustible reemplacen als motors de combustió interna, la tecnologia deurà no solament satisfer l'estricta legislació sobre emissions, també aportaran solucions per al transport. Les piles de combustible que utilitzin els vehicles seran capaces d'assolir les temperatures operatives amb rapidesa, proveir una economia competitiva de combustible i oferir unes prestacions acceptables.



Les piles de membrana polimèrica (PEM) són les més adequades per complir aquests requeriments.

Aquestes piles poden oferir una eficàcia superior al 60% comparada amb el 25% que s'aconsegueix amb els motors de combustió interna.

Actualment, el problema principal per impulsar aquesta tecnologia al sector del transport rau en l'elevat cost de fabricació, la qualitat del combustible i la mida de la unitat. Les investigació realitzada en aquest àmbit, sembla que ha optat per emprar metanol com a font de combustible i utilitzar l'oxigen de l'aire. Aquest fet podria eliminar el procés de reformat del combustible.

## LA PILA DE COMBUSTIBLE

### 1.2 Projecte propi

Volem dissenyar i elaborar una pila d'hidrogen per a poder produir electricitat.

Tenim per triar diferents tipus de piles, com seria fer una PEM, però després de fer un estudi, trobem que el procés d'elaboració és complicat, el preu per a la nostra economia és massa elevat (superior als 100€), el i els materials són difícils d'aconseguir.

Un altre tipus de pila que analitzem per a poder fabricar és la pila Alcalina (AFC) amb electròlit de sosa (NaOH), que finalment és la que triem per fer, degut a la poca despesa econòmica (no superior a 50€), la facilitat d'elaboració i la disponibilitat dels materials.

### **Projecte de la pila d'hidròxid de sodi**

#### Funcionament

Consisteix en un procés d'electròlisi invers (sentit invers del que explicarem en l'apartat 2.1), és a dir, a partir d'H<sub>2</sub> i O<sub>2</sub> obtenir electricitat i aigua. En la nostra pila ho fem ajuntant els dos gasos mitjançant un electròlit de sosa dissolta en aigua per a la transferència de protons i un cable connectat a elèctrodes a cada un dels recipients per al pas d'electrons.

#### Disseny experimental

Materials (veure figura 1.2.1):

- 2 plaques de metacrilat (20cm x 15 cm)
- Tubs de PVC ( 18mm diàmetre interior i 22mm exterior i 1m de llargada aproximadament)
- Recipients de plàstic ( 8 pots de 33cm<sup>3</sup>)
- 16 Cables elèctrics de coure
- Plaques d'acer ( 18mm x 40mm)

## LA PILA DE COMBUSTIBLE

- Cola termofusible
- Serra de mà
- Llima de mà
- Trepant
- Ganivet
- Estany
- Soldador
- Regle
- Llapis



Figura 1.2.1

Procés de construcció: (per a veure detalladament i amb il·lustracions les fases, veure l'annex A)

- 1- Marquem el tub amb un llapis en 16 divisions iguals de 6 cm mesurades amb un regle
- 2- Tallem els tubs amb la serra de mà
- 3- Els hi llimem l'extrem
- 4- Col·loquem els pots sobre les plaques de metacrilat i els marquem amb el llapis
- 5- Dins dels cercles dibuixats anteriorment, marquem els dos cercles dels tubs que aniran a l'interior del pot i els perforem amb un trepant. Com veiem que el metacrilat s'esquerda, utilitzem un ganivet.
- 6- Utilitzem la pistola de cola termofusible per enganxar els tubs a la placa, però com que ens adonem que no queda totalment hermètic, la substituïm per cola instantània. Comprovem que no hi ha fugues afegint-hi aigua i fent pressió.
- 7- Soldem els cables amb les plaques d'acer mitjançant estany i el soldador
- 8- Introduïm els cables dins dels forats fets anteriorment i els fixem amb cola instantània. Comprovem, també, que no hi ha fugues.

Un cop acabat queda de la següent manera (veure figura 1.2.2 i figura 1.2.3):

## LA PILA DE COMBUSTIBLE

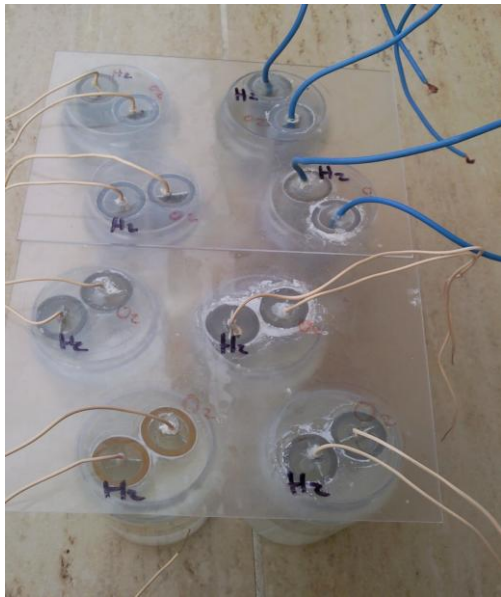


figura 1.2.2

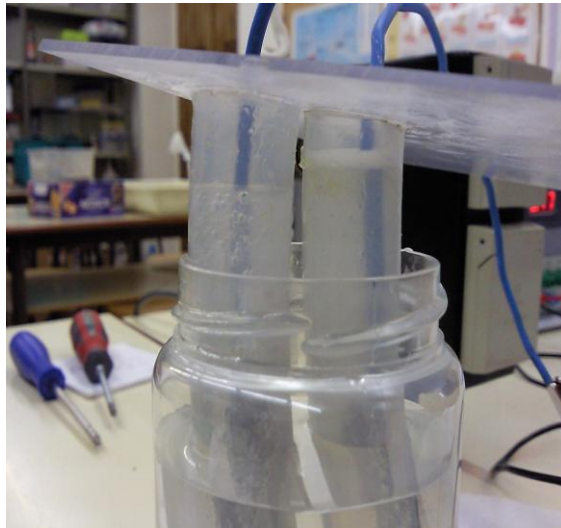


figura 1.2.3 (lateral d'una cel·la)

Prova de funcionament: (Veure annex B per a un millor comprensió del procés a seguir):

- 1- Preparem la dissolució d'hidròxid de sodi i aigua.
- 2- Omplim els pots i els tubs amb la dissolució anterior
- 3- Mitjançant l'electròlisi obtenim oxigen ( $O_2$ ) en un tub i hidrogen ( $H_2$ ) en l'altre de cada pot
- 4- Ara connectem tots els cables per fer el procés invers de l'electròlisi i obtenir electricitat i observem, mitjançant un tester, que varia segons com està connectat, ja sigui en paral·lel o en sèrie:

Com ho connectem	Voltatge ( V )	Intensitat ( A )
Paral·lel	0,025	0,025
Sèrie	6,2	0

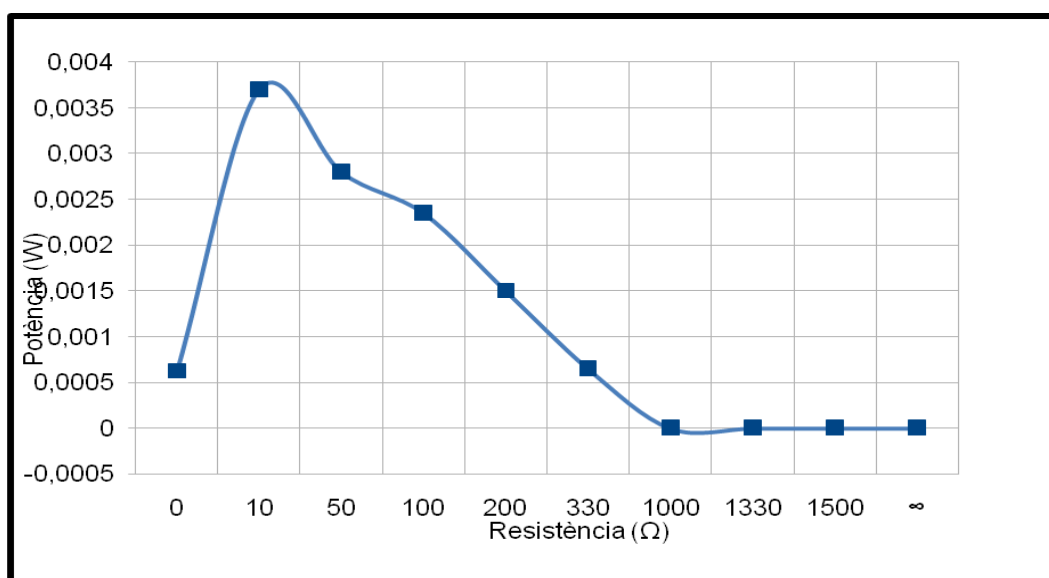
- 5- Com que obtenim una intensitat molt baixa pensem que la resistència interna de la pila és molt gran. Per aquest motiu la busquem i, com està explicat més detalladament a l'annex C, fent un gràfic de la potencia (buscant-la a partir de la

## LA PILA DE COMBUSTIBLE

fòrmula de  $P=V \cdot I$ ) obtinguda i connectant-hi diferents resistències, la que coincideixi amb el màxim de la gràfica correspondrà a la interna.

Taula 1.2.3

Resistència ( $\Omega$ )	Intensitat (A)	Voltatge (V)	Potència (W)
0	0,025	0,025	0,000625
10	0,019	0,195	0,003705
50	0,007	0,4	0,0028
100	0,005	0,47	0,00235
200	0,003	0,5	0,0015
330	0,001	0,65	0,00065
1000	0	0,636	0
1330	0	0,695	0
1500	0	0,708	0
$\infty$	0	0,9	0



Gràfic 1.2.4

## LA PILA DE COMBUSTIBLE

### Conclusió:

Trobem que la resistència interna de la pila és de  $10\Omega$  i per saber si aquesta és alta o baixa la comparem amb la comercial fent-hi un estudi

### 1.3 Estudi de la pila comercial

Després d' haver buscat per la xarxa piles de combustible comercial per comprar, ens vam trobar amb l'obstacle de que els seus preus eren molt elevats i la seva distribució era complicada, és a dir, era difícil de localitzar distribuïdors a petita escala, com ja hem dit anteriorment.

Així que gràcies a la Marta Casas vam poder trobar una pila de combustible didàctica a La Culla per a poder-la estudiar.

Un cop teníem la pila (veure figura 1.3.1) ens vam disposar a utilitzar-la i provar el seu funcionament. Per fer això primer hem carregat els diposits d'oxigen i hidrogen de la pila mitjançant el electrolitzador, aparell que fa la funció de l'electròlisi, que explicarem a l'apartat 2.1, amb 1,5 volts i 0,5 ampers

Prova de funcionament (veure annex E.1, E.2, E.3 i E.4) :

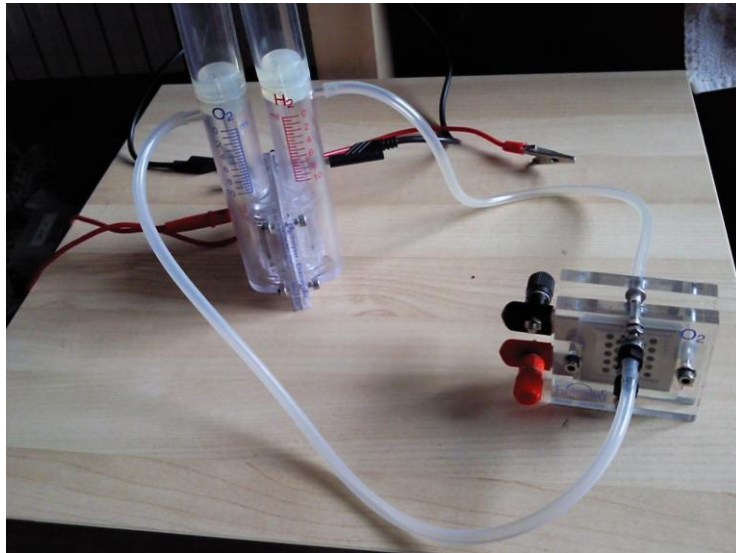
- 1- Preparem els materials i les diferents parts de la pila (electrolitzador, pila de combustible i font d'alimentació).
- 2- Omplim l'electrolitzador d'aigua destil·lada.
- 3- Connectem el electrolitzador a la pila mitjançant els tubs.
- 4- Endollem l'electrolitzador a la font d'alimentació amb les bananes.
- 5- El deixem carregant durant 10 minuts fins que la pila comença a obtenir el màxim rendiment.
- 6- Ara connectem unes bananes a la pila de combustible que van a parar a un tester que ens serveix per mesurar la intensitat i el voltatge. I els resultats són els següents:



## LA PILA DE COMBUSTIBLE

Voltatge màxim	Intensitat màxima	Potència màxima
0.92 V	0.76 A	0.68 W

Figura 1.3.1



### Conclusions:

Una pila de combustible com la que tenim nosaltres, que es didàctica, tot i que produeixi un baix voltatge i una baixa intensitat, podem connectar moltes en sèrie i d'aquesta manera aconseguir altes potències que es poden aprofitar, que és el que fan les empreses per aconseguir energies aprofitables.

Un dels avantatges que hem pogut observar de la pila de combustible amb membrana de protons és que amb pocs minuts de càrrega hem aconseguit el suficient hidrogen i oxigen per a fer funcionar la pila durant unes 10 hores, d'aquesta manera observem que l'energia amb l'hidrogen com a combustible és molt rendible ja que amb pocs mil·límetres cúbics podem aconseguir energia durant molta estona (moltes hores). Això fa que puguem tenir moltes aplicacions com les que estan indicades anteriorment.



## LA PILA DE COMBUSTIBLE

### 1.4 Comparació del nostre projecte amb la pila comercial

La principal diferència entre el nostre projecte i la pila de combustible comercial és la variació de voltatge i intensitat, i per tant de potència que produeix cada una de les piles.

Es pot observar en els apartats anteriors que la nostra pila produeix una intensitat i voltatge inferior a la pila de combustible comercial.

En primer lloc ens vam plantejar que aquesta diferència podria ser degut a la resistència interna de la nostra pila i amb l'ajuda d'en Jaume Pont que ens va explicar com trobar la resistència interna d'una pila mitjançant un gràfic de la potència amb relació de la resistència aplicada a la pila on el punt màxim era igual a la resistència interna (veure annex C com ja hem dit anteriorment).

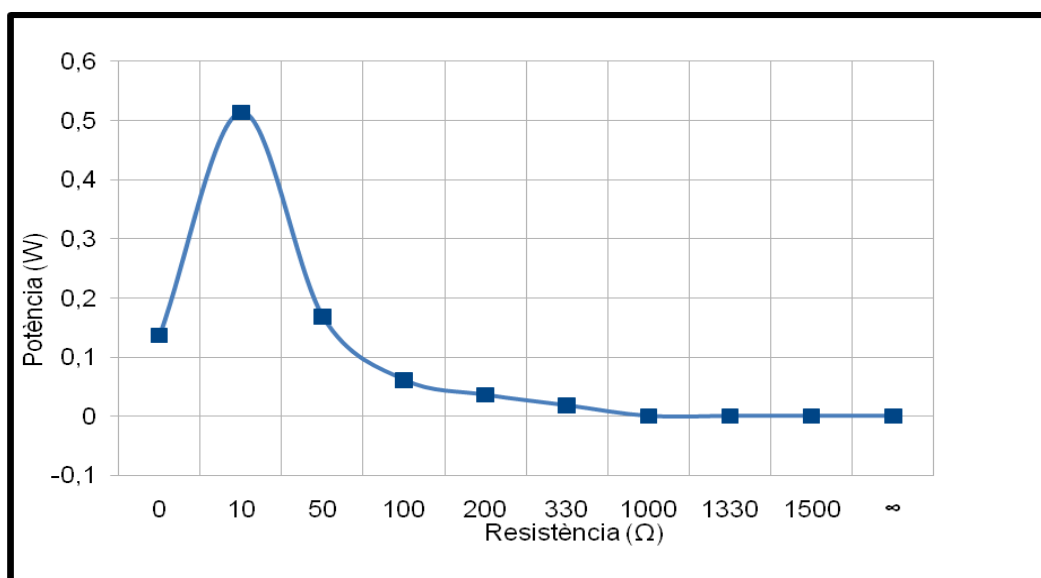
Per poder trobar la resistència primer ens va deixar una pila de petaca amb una resistència interna, on el gràfic resultant era clar i entenedor d'aquesta manera vam veure el procés per trobar la resistència interna. (veure annex D on trobem la de la pila de mostra)

Un cop coneixíem la manera de trobar la resistència interna ens vam disposar a mesurar el voltatge i la intensitat aplicant diferents resistències per tal d'arribar a fer una taula. La taula i el gràfic de la nostra pila el podeu veure en l'apartat 1.2 i el de la pila de combustible es el següent:

## LA PILA DE COMBUSTIBLE

Resistència ( $\Omega$ )	Intensitat (A)	Voltatge (V)	Potència (W)
0	0,76	0,18	0,1368
10	0,69	0,745	0,51405
50	0,2	0,841	0,1682
100	0,07	0,872	0,06104
200	0,04	0,893	0,03572
330	0,02	0,897	0,01794
1000	0	0,91	0
1330	0	0,912	0
1500	0	0,913	0
$\infty$	0	0,926	0

Taula 1.4.1



Gràfic 1.4.2

Podem observar comparant els gràfics que la resistència interna de les dos piles es troben més o menys al mateix punt a uns 10 $\Omega$ , per tant la causa de que tinguin una producció de voltatge i intensitat tan diferent no és per la resistència interna.

## LA PILA DE COMBUSTIBLE

Així que seguim buscant fins que ens adonem que és per la velocitat de reacció ja que la velocitat de reacció a la pila esta accelerada per la presencia d'uns catalitzadors formats de platí que tot i que no tinguin cap paper en la reacció tenen un efecte sobre aquesta que fa que es produeixi més ràpid.

Una altra diferència entre les dues piles és que, la pila que hem fet, només necessita que li apliquem “el combustible”, és a dir, l'aigua amb hidròxid de sodi un cop, ja que després de fer el procés per crear electricitat, la substància torna al mateix estat que al principi. D'aquesta manera la pila només necessita que es carregui per fer l'electròlisi al començament. En canvi, en la pila de combustible un cop s'ha produït l'electricitat la substància residual, és a dir, l'aigua que es forma al finalitzar el procés es deixa anar lliurement en l'atmosfera per tant no es pot reutilitzar.

Tot i que hi hagin algunes diferències també hi ha similituds que fan que les dues formes d'obtenir energia estiguin éssent estudiades i en vies de desenvolupament. Les característiques més importants de les dues piles són: que no produeixen residus que afectin al efecte hivernacle o que pugin provocar contaminació, les dues utilitzen com a combustible un element net, no contaminant i que abunda a la naturalesa com es el hidrogen, el problema d'aquest és que tot i que sigui fàcil de trobar a la Terra, sempre o quasi sempre es troba associat o combinat amb altres substancies, per això hem estudiat diferents tipus d'obtenció del hidrogen que podreu trobar en l'apartat 2.

## LA PILA DE COMBUSTIBLE

### 2. FORMES D'OBTENCIÓ D'HIDROGEN

#### 2.1 Electròlisi

L'electròlisi és el procés en el qual un compost, en aquest cas aigua, es separa en els elements que el conformen (hidrogen i oxigen) a partir de corrent elèctric. (Veure figura 2.1.1.).

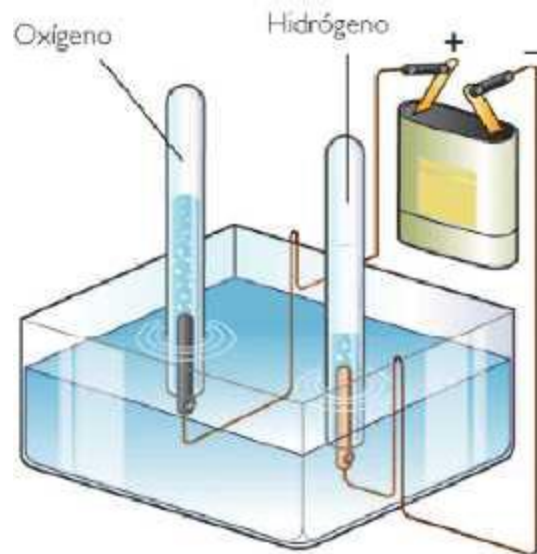
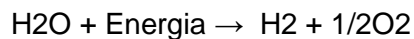


Figura 2.1.1

Aquest procés el podríem simplificar en l'equació química següent:



Segons aquesta equació s'hauria d'obtenir 2 parts de volum d'hidrogen per cada una d'oxigen. Per comprovar-ho fem una petita pràctica (Per ampliar, veure vídeo de l'annex F)

- Omplim cada un dels dos compartiments de l'electrolitzador (figura 2.1.2.) de la pila de combustible amb aigua destil·lada i els enrasem fins a la línia de 0mL.
- Agafem un adaptador de corrent de 500mA i 1,8V, que ens serveix per passar la corrent alterna dels endolls a corrent continua, i l'endollem a la xarxa.
- Connectem l'extrem positiu de l'adaptador amb el positiu de l'electrolitzador i el negatiu amb el seu corresponent.
- Cronometrem 1 minut de temps

## LA PILA DE COMBUSTIBLE

- Observem que la quantitat d'hidrogen produïda és de 3,5mL i la de oxigen és de 1,75 aproximadament. Per tant, arribem a la conclusió que el funcionament de l'electrolitzador és correcte i coincideix amb la teoria.



Figura 2.1.2

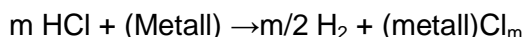
## LA PILA DE COMBUSTIBLE

### 2.2 Reacció d'un àcid amb un metall

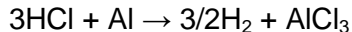
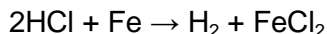
A partir de certes reaccions químiques podem obtenir H<sub>2</sub> com a producte. Un típic exemple d'aquest fenomen és la reacció d'un àcid amb un metall.

La reacció àcid-metall es una reacció de desplaçament, en la qual el metall desplaça l'hidrogen d'un àcid i l'allibera en forma d'hidrogen gas

L'equació química seria la següent:



NOTA: Caldria igualar la reacció, donant el valor a m del nombre d'oxidació del metall. Per exemple si utilitzem com a metall el ferro o el alumini les equacions serien les següents:



La reacció té com a productes resultants dos substàncies l'hidrogen (H<sub>2</sub>) i el clorur del metall empleat.

Segons el metall que utilitzem com a reactiu, obtindrem més mols d'hidrogen per a mol del clorur del metall empleat, això es un factor important a tenir en compte a l'hora de triar e metall a utilitzar ja que el residu que aquest provoca és molt contaminant.

En aquesta reacció es produeix un procés exotèrmic, és a dir, un cop el conjunt de reactius ha obtingut l'energia d'activació necessària, el sistema continua desprenent energia en forma de calor.

Aquesta característica es un gran avantatge ja que permet aprofitar l'energia que es desprèn per a utilitzar-la com a energia d'activació perquè el procés continuï, d'aquesta manera el sistema només necessita un cop l'energia d'activació i es pot anant autoalimentant fins que tot els reactius o el reactiu limitant s'acabi.

## LA PILA DE COMBUSTIBLE

Tot això té un inconvenient, que si la quantitat de reactius no es té controlada la reacció no es detindrà i a conseqüència de que un dels productes resultants és un gas pot arribar a ser més perillós ja que el volum que ocupen els mols en estat gasos és molt més gran que en estat sòlid.

## LA PILA DE COMBUSTIBLE

### 2.2.1. Projecte de mecanisme d'obtenció d'hidrogen

A partir de diferents tipus de metalls aconseguits a la deixalleria de Sant Joan de Vilatorrada i àcid clorhídric (HCl) de concentració 24,78 % en massa comprat a una drogueria, volem aconseguir hidrogen a petita escala. Per a aconseguir-ho hem dissenyat un simple aparell format per una ampolla petita d'aigua reciclada, un recipient de vidre en desús, globus biodegradables i un tub de goma de 0.9 cm de diàmetre (veure materials a les figures 2.2.1 i 2.2.2).



Figura 2.2.3



Els tres metalls que hem fet servir per l'experiment són l'Alumini, el Ferro i el Coure. Per fer la prova hem mesurat amb una balança precisa (Figura 2.2.3) un gram de cada metall per a fer reaccionar i, mitjançant càlculs estequiomètrics, hem trobat la quantitat d'àcid clorhídric corresponent.



Les equacions químiques que hem fet servir per fer els càlculs son les següents:

- $\text{Al} + 3\text{HCl} \rightarrow 3/2\text{H}_2 + \text{AlCl}_3$
- $\text{Fe} + 2\text{HCl} \rightarrow \text{H}_2 + \text{FeCl}_2$
- $\text{Cu} + \text{HCl} \rightarrow 1/2\text{H}_2 + \text{CuCl}$



## LA PILA DE COMBUSTIBLE

Teòricament trobem que les quantitats són (mesurades en condicions estàndard) (Veure annex G):

Metall	Quantitat d'HCl requerida (g)	Volum d'hidrogen obtingut (dm <sup>3</sup> )	Quantitat de sal iònica de residu (g)	Rendiment (hidrogen / residu)
Alumini	4,05	1,27	4,95	0,26
Ferro	1,31	0,41	2,27	0,18

Però experimentalment trobem algunes diferències. La primera i més important és que el coure no reacciona amb l'HCl encara que passi molt temps. Per tant suposem que les propietats d'aquest metall fan impossible la reacció química. Una altra petita diferència que trobem amb els altres metalls, el ferro i l'alumini, que sí reaccionen, és que el volum obtingut de H<sub>2</sub> no coincideix exactament amb el teòric, sinó que és més petit. El que nosaltres intuïm sobre aquest fenomen és que els nostres càlculs els vam fer amb una pressió atmosfèrica (101300 Pascals) i la pressió a l'interior del nostre aparell és segurament major, ja que al reaccionar es crea un volum final més gran que l'inicial i, a més a més la temperatura incrementa, per tant la pressió també augmenta (per la fórmula  $P \cdot V = n \cdot R \cdot T$ ) i fa possible l'inflament del globus.

## LA PILA DE COMBUSTIBLE

Vegem un esquema (figura 2.2.4) del funcionament del nostre aparell:

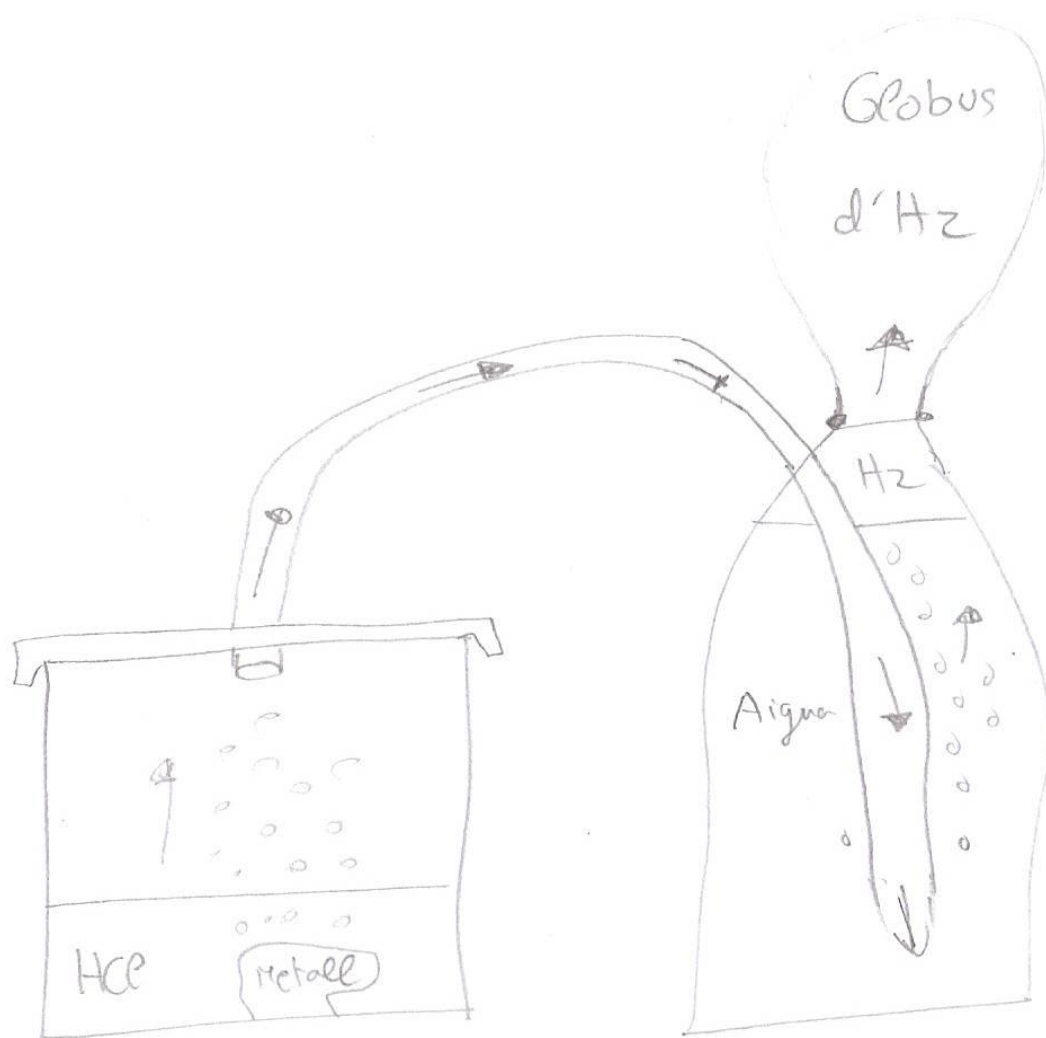


Figura 2.2.4

## LA PILA DE COMBUSTIBLE

### 2.3 Reacció de combustibles fòssils

Tot i que l'electròlisi sigui la manera d'obtenir hidrogen menys contaminant, també existeixen altres formes com l'oxidació parcial o combustió incompleta, de qualsevol substància que contingui carboni orgànic, en presència de vapor d'aigua.

Com que aquest procés utilitza combustibles fòssils, no hem volgut indagar en el tema ja que en el nostre treball ens hem volgut centrar en energies sostenibles, és a dir, amb taxes de contaminació properes a 0.

.

## LA PILA DE COMBUSTIBLE

### 3. CONCLUSIONS

Respecte a la part pràctica del treball, nosaltres hem fet dos projectes propis. El primer ha estat elaborar una pila de combustible, la qual el seu electròlit és hidròxid de sodi, és a dir sosa càustica. Vam tenir alguns problemes al fer-la, com fugues, però els vam poder solucionar. Tot i que al principi el projecte tenia bona pinta, més endavant vam veure que ens donava una potència molt petita, pràcticament nul·la, i que l'energia que feia no es podia aprofitar gairebé per a res. Aleshores ens vam posar a investigar i ens vam formular diverses hipòtesis per intentar conèixer la causa, com que la pila tenia una resistència interna molt gran o que la velocitat de la reacció era molt lenta. Per a la primera hipòtesi vam seguir un procediment electrotècnic per a trobar la resistència interna i vam poder saber que aquest no era el problema ja que era aproximadament la mateixa que a altres piles comercials. Per tant la vam descartar. La segona hipòtesi, en canvi, vam veure que encaixava en el nostre problema, ja que la superfície de la reacció era molt petita i els materials que fèiem servir com a elèctrodes no ajudaven a la rapidesa de la reacció. Per aquest motiu vam comprendre la raó per la qual les empreses que es dediquen a fabricar piles de combustibles comercials fan servir catalitzadors cars com el platí, ja que fan augmentar en gran mesura la rapidesa de les reaccions.

El segon projecte que hem fet ha estat un dispositiu simple que ens permet fabricar hidrogen a partir de la reacció química d'àcid clorhídric amb un metall, canalitzar-lo i emmagatzemar-lo. Amb això hem après que aquest gas és molt difícil d'emmagatzemar ja que és molt reactiu i per tant perillós i que potser aquest és un dels motius per els quals no es generalitza més aquesta energia.

#### OPINIÓ PERSONAL:

Primer de tot volem dir que fer aquest treball ens ha agradat molt, tot i que hem hagut d'invertir una gran quantitat de temps i esforç. Tot i això estem molt satisfets dels nostres resultats, ja que ens han servit per aprendre el funcionament de la pila de combustible, de les diferents formes d'obtenció d'hidrogen i a seguir un bon disseny experimental.

Per tant, per tot això, la nostra valoració final és molt positiva envers aquest treball.

## LA PILA DE COMBUSTIBLE

### 4. AGRAÏMENTS

Volem agrair a algunes persones l'ajuda que ens han brindat en l'elaboració d'aquest treball, tot i que no podem citarles. També voldríem agrair-ho :

**Als nostres pares**, per haver-nos deixat fer servir la seva casa per fer els nostres experiments i el treball, per haver-nos donat suport moral i, principalment, econòmic per a fer la nostra investigació.

## LA PILA DE COMBUSTIBLE

### 5. LLISTA DE REFERÈNCIES

Generals:

- <http://www.edu365.cat/batxillerat/comfer/recerca/#llista>
- <http://www.ariema.com/>
- <http://www.tecnociencia.es/especiales/hidrogeno/introduccion.htm>
- Química 2 batxillerat, Ed. CASALS. M.D. Masjuan, J. Pelegrín.
- La Culla, Jaume Pont

\*La pila de combustible

- Fonaments teòrics:

- [http://es.wikipedia.org/wiki/Pila\\_de\\_combustible](http://es.wikipedia.org/wiki/Pila_de_combustible)
- <http://www.upcomillas.es/catedras/crm/report07/ppts/III%20Loreto%20Daza%20ICPQ.pdf>
- Figura 1.1.1: [http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Fuel\\_cell\\_ES.svg](http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Fuel_cell_ES.svg)
- Taula 1.1.1: <http://www.cienciateca.com/fuelcells.html>
- Figura 1.1.2: Fotografia pròpia de la pila que ens van deixar

- Projecte propi:

- <http://www.cientificosaficionados.com/pilas%20de%20combustible/pilas%20de%20combustible.htm>
- [http://www.ikkaro.com/files/La\\_energia\\_del\\_futuro\\_la\\_pila\\_de\\_hidrogeno.pdf](http://www.ikkaro.com/files/La_energia_del_futuro_la_pila_de_hidrogeno.pdf)
- Figura 1.2.1: Fotografia pròpia dels materials de la pila
- Figura 1.2.2: Fotografia pròpia de la pila acabada
- Figura 1.2.3 Fotografia pròpia del lateral d'una cel·la
- Taula 1.2.1: Taula de intensitats, voltatges i potències segons la resistència de la pila pròpia.
- Gràfic 1.2.1: Gràfic de la taula anterior (1.2.1)

- Estudi de la pila comercial:

- <http://www.ariema.com/>
- Manual d'instruccions i funcionament de la pila prestada
- Figura 1.3.1: Fotografia pròpia de la pila comercial

## LA PILA DE COMBUSTIBLE

- Comparació del nostre projecte amb la pila comercial:
  - Text 1 de l'annex C
  - Taula 1.4.1: Taula de intensitats, voltatges i potències segons la resistència de la pila comercial.
  - Gràfic 1.4.2: Gràfic de la taula anterior (1.4.1)
  - Taula 1.2.3: Taula de intensitats, voltatges i potències segons la resistència de la pila pròpia.
  - Gràfic 1.2.4: Gràfic de la taula anterior (1.2.3)
  - Taula i gràfic de l'annex D
- Aplicacions de la pila de combustible:
  - <http://www.tecnociencia.es/especiales/%/hidrogeno%/aplicaciones.htm>
  - Foto 1: [http://www.a400m-countdown.com/newsletters/1/images/art1\\_img1.jpg](http://www.a400m-countdown.com/newsletters/1/images/art1_img1.jpg)
  - Foto 2: <http://desenchufados.soygik.com/wp-content/uploads/2009/07/pilas-de-combustible-para-recarga-de-dispositivos-moviles.jpg>
  - Foto 3: <http://www.biocarburante.com/wp-content/uploads/2008/casa-hidrogeno.jpg>
  - Foto 4: <http://weltnx.blogspot.com/2009/03/nuevo-cohete-lunar-ruso-pronto.html>
  - Foto 5: [http://img.directindustry.es/images\\_di/photo-g/planta-de-cogeneracion-de-pila-de-combustible-373490.jpg](http://img.directindustry.es/images_di/photo-g/planta-de-cogeneracion-de-pila-de-combustible-373490.jpg)
  - Foto 6: Fotografia pròpia del cotxe d'hidrogen de La Culla

\*Formes d'obtenció d'hidrogen

- Electròlisi:
  - <http://ca.wikipedia.org/wiki/Electr%C3%B2lisi>
  - <http://enciclopedia.us.es/index.php/Electr%C3%B3lisis>
  - [Figura 2.1.1: http://quimica1m.blogspot.com/2009/04/electrolisis-del-agua.html](http://quimica1m.blogspot.com/2009/04/electrolisis-del-agua.html)
  - Figura 2.1.2: Fotografia pròpia de l'electrolitzador de la pila de combustible de La Culla

## LA PILA DE COMBUSTIBLE

### - Reacció d'un àcid amb un metall:

- [Marta Casas](#)
- Química 2 batxillerat, Ed. CASALS. M.D. Masjuan, J. Pelegrín.
- [http://www.jpimentel.com/ciencias\\_experimentales/pagwebciencias/pagweb/la\\_ciencia\\_a\\_tu\\_alcance\\_II/quimica/Exp\\_qui\\_metal\\_acido.htm](http://www.jpimentel.com/ciencias_experimentales/pagwebciencias/pagweb/la_ciencia_a_tu_alcance_II/quimica/Exp_qui_metal_acido.htm)
- <http://www.galileog.com/quimica/inorganica/reacciones/reacciones.htm>

### - Projecte de mecanisme d'obtenció d'hidrogen:

- <http://elemental.awardspace.com/experimentos/hidrogeno.htm>
- <http://es.answers.yahoo.com/question/index?qid=20090923090327AAGQeli>
- Figura 2.2.1, 2.2.2, 2.2.3: Fotografies pròpies dels materials empleats i dels processos seguits
- Figura 2.2.4: Esquema pròpi del funcionament del nostre mecanisme

### - Reacció de combustibles fòssils:

- <https://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3144/5/52157-5.pdf>