

Treball de recerca

# L'HIDROGEN

## l'energia del futur



**Ángel Rodríguez Ballabriga**

Tutor: Albert Samper Sosa

Vedruna Sagrat Cor  
Tarragona, desembre 2018

*“Sense carbó no hi hauria maquinària, i sense maquinària no hi hauria vies del tren, ni locomotores, ni fàbriques, res del que és indispensable a la civilització moderna.*

*Què cremaran en lloc de carbó?*

*Aigua - va contestar Harding.*

*¿Aigua? - va exclamar Pencroft - ¿aigua per escalfar aigua?*

*Sí, però aigua en els seus elements primitius - va respondre Harding - Crec que l'aigua serà algun dia utilitzada com a combustible, que l'hidrogen i l'oxigen que la constitueixen, utilitzant-los junts o per separat, proporcionaran una font inesgotable de calor i llum.*

*M'agradaria veure-ho - va observar el mariner.*

*Vam néixer massa aviat, ... “*

*L'illa Misteriosa, Julio Verne, 1874.*

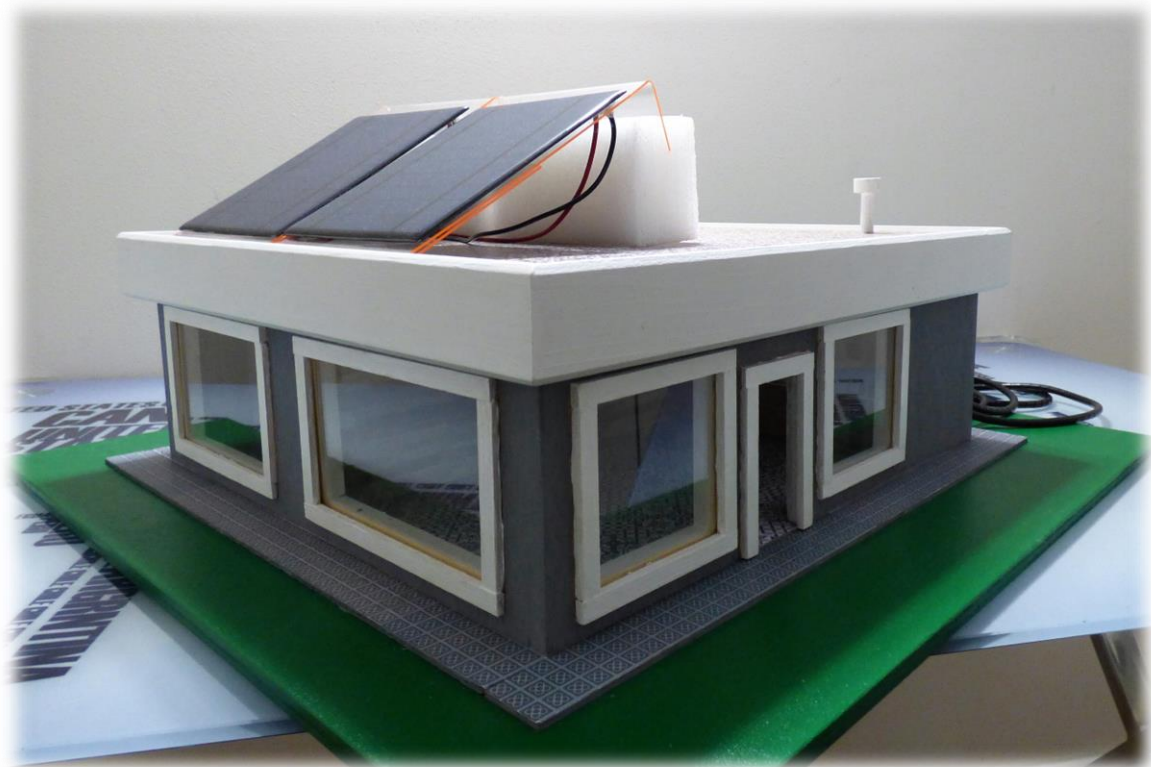
## Presentació

Estem acostumats a utilitzar gas i electricitat procedents de no sabem on, sempre connectats a una xarxa de distribució que ens cobra sense saber bé què ni com es produeix.

La societat cada vegada més conscient del problema mediambiental demana energia neta i sostenible que obliga a la innovació i a l'experimentació per arribar a nous descobriments que són aplicats a projectes per millorar la vida dels humans. Actualment hi ha molts grups de recerca que investiguen formes netes de produir hidrogen així com la seva transformació en electricitat. He tingut l'oportunitat de participar en el grup de l'ICIQ de Tarragona durant dues setmanes.

A qui no agradaria tenir una llar amb totes les comoditats i innovacions tecnològiques, autosuficient energèticament, sense pagar per l'energia que consumeix i a la vegada estar segur de no contaminar el medi?

La utilització de l'hidrogen està començant a revolucionar el món de l'energia. És per això que en aquest treball es mostrarà l'estudi realitzat sobre aquest nou mètode de producció d'energia i l'aplicació tecnològica que s'ha realitzat.



## Resum

Amb l'objectiu d'aprofundir en el coneixement de l'hidrogen com a vector o vehicle energètic s'ha començat aquest treball amb una recerca d'informació que ha portat a la necessitat d'analitzar diferents maneres de produir hidrogen. Com que són moltes i algunes difícils de portar a terme pel seu alt cost, s'ha experimentat amb les que estaven més a l'abast i s'ha intentat determinar quina era la més òptima atenent a l'impacte ambiental, l'assequibilitat econòmica i el flux d'hidrogen.

Un cop s'ha produït l'hidrogen s'ha experimentat amb ell per transformar-lo en energia utilitzant els dos mètodes coneguts: transformació en calor i transformació en electricitat. L'emoció ha portat a la necessitat d'aplicar tot el que s'ha experimentat d'una manera més divulgativa. S'ha pensat en la maqueta d'una casa que funcioni a la vegada amb el millor mètode de producció d'hidrogen i la millor transformació d'aquest en energia.

Així, s'ha intentat realitzar la maqueta d'una casa autosuficient energèticament que, després de molt de treball i dificultats, ha aconseguit plasmar l'estudi i els resultats obtinguts d'una forma didàctica.

Finalment s'ha cregut necessari conèixer i valorar l'opinió de la població sobre les cases autosuficients energèticament i sobre l'hidrogen a través d'una enquesta.

## Índex

1.	Objectius .....	6
2.	Introducció .....	7
3.	Mètodes de producció d'hidrogen.....	9
3.1.	Mètodes termoquímics.....	9
3.1.1.	Reformat amb vapor .....	9
3.1.2.	Oxidació parcial (POX).....	9
3.1.3.	Reformat autotèrmic (ATR).....	10
3.1.4.	Gasificació del carbó .....	10
3.2.	Mètodes electroquímics.....	10
3.2.1.	Electrolítics .....	10
3.3.	Mètodes biològics .....	12
3.3.1.	Mètodes fotobiològics .....	13
3.3.2.	Mètodes fermentatius .....	13
3.3.3.	Digestió anaeròbica.....	13
4.	Mètodes per transformar l'hidrogen en energia .....	14
4.1.	Combustió .....	14
4.2.	Piles de combustible .....	14
5.	Metodologia i experiències per a produir hidrogen .....	16
5.1.	Recerca d'informació .....	16
5.2.	Experiències aplicades per produir hidrogen.....	16
5.3.	Experiències aplicades per obtenir energia a partir de l'hidrogen .....	27
6.	Resultats.....	29
6.1.	Resultats específics de les experiències.....	29
6.2.	Resultats finals .....	34
6.2.1.	Resultats de les experiències per obtenir hidrogen.....	34
6.2.2.	Resultats de les experiències per transformar l'hidrogen en energia .....	35
7.	Projecte d'una casa autosuficient energèticament .....	36
7.1.	Maqueta .....	36
7.1.1.	Construcció de la maqueta.....	38
7.2.	Què opina la població?.....	42
8.	Conclusions .....	46

---

9. Valoració personal.....	48
10. Bibliografia .....	49
ANNEXOS.....	51
Annex I: Història de l'hidrogen.....	52
Annex II: Caracterització de la cèl·lula .....	54
Annex III: Màquines utilitzades a la construcció de la maqueta.....	58
Annex IV: Construcció del circuit elèctric.....	59
Annex V: Procés de construcció de la maqueta.....	60
Annex VI: Model d'enquesta .....	63
Annex VII: Recull de notícies .....	65

## 1. Objectius

La recerca de noves fonts d'energia sempre ha captivat l'interès de la humanitat. Avui en dia ja s'està treballant molt en fonts sostenibles, sobretot la solar i l'eòlica, però no es deixen de banda el petroli, el gas i l'energia nuclear, ja que les primeres no cobreixen tota la demanda.

Des de fa uns anys s'està estudiant una font innovadora que podria provocar un gran canvi a les nostres vides, l'ús de l'hidrogen com a vehicle energètic. Aquest serà l'objecte de l'estudi del treball i per a portar a terme la recerca s'han plantejat uns objectius més específics:

- Aprofundir en el coneixement de l'hidrogen com a vector o vehicle energètic.
- Analitzar les diferents maneres de produir hidrogen i experimentar algunes.
- Analitzar i experimentar els dos mètodes per transformar l'hidrogen en energia.
- Determinar quin dels mètodes de producció d'hidrogen dels estudiats és el més òptim atenent al menor impacte sobre el medi ambient, l'assequibilitat econòmica i al flux d'hidrogen.
- Determinar quin dels mètodes de transformació de l'hidrogen en energia és el més òptim.
- Aplicar els mètodes més òptims a la maqueta d'una casa autosuficient energèticament.
- Conèixer i valorar l'opinió de la població sobre les cases autosuficients energèticament i sobre l'hidrogen.

## 2. Introducció

Les necessitats energètiques del món actual estan conduint a un notable desgast de les fonts d'energia no renovables, com el carbó, el petroli, el gas natural i l'urani. La humanitat s'ha dedicat exclusivament a consumir els grans dipòsits de carbó i petroli generats al llarg de milions d'anys, pertorbant així el cicle del CO<sub>2</sub> i contribuint a l'escalfament global derivat de l'efecte hivernacle.

L'Agència Internacional de l'Energia (IEA) assegura, en el seu informe sobre les perspectives energètiques mundials, que els recursos energètics de la Terra són suficients per abastir la demanda de les pròximes tres dècades. No obstant, això no garanteix el proveïment generalitzat, ja que la concentració de les reserves dels combustibles fòssils es troben cada vegada en un nombre més reduït de països, la qual cosa té un alt risc geopolític que podria tenir conseqüències devastadores.

Això ha portat a idear noves formes d'obtenció d'energia, com l'energia solar, la geotèrmica, l'eòlica, la hidràulica, la mareomotriu, la biomassa... però moltes d'aquestes resulten molt cares i no mostren un alt grau d'efectivitat per a ser utilitzades a gran escala. En aquest context és on sorgeix la idea d'utilitzar l'aigua en els seus elements primaris per a obtenir energia. L'aigua no és un combustible, emmagatzema una matèria primera, l'hidrogen, que si és un combustible. No tots els combustibles contenen nitrogen o carboni, però tots contenen hidrogen.

Un dels escenaris que es considera per a substituir el petroli és l'hidrogen. Incolor, inodor, insípid i no tòxic en condicions normals, el gas hidrogen és l'element més senzill i abundant de l'Univers. Tres quartes parts de la matèria còsmica són hidrogen. Responsable de la lluentor de les estrelles i font de l'energia que rebem del Sol. Però l'hidrogen que es pot utilitzar com a combustible no està al nostre abast, ja que la principal acumulació d'hidrogen més propera a la Terra és Júpiter. Algunes de les seves propietats estan a la següent taula.

L'hidrogen en nombres	
Densitat	0,0899 kg/Nm <sup>3</sup> (gas) 0,0708 kg/l (líquid)
Poder calorífic	Inferior: 120 MJ/kg Superior: 141,86 MJ/kg
Límit d'inflamabilitat*	4,0 – 75,0 %
Límit de detonació*	18,3 – 59,0 %
Coeficient de difusió	0,61 cm <sup>2</sup> /s
Capacitat calorífica	C <sub>p</sub> = 14,199 KJ/(kg·K) C <sub>v</sub> = 10,074 KJ/(kg·K)
*concentració d'H <sub>2</sub> en aire	

Figura 1: Taula de les propietats de l'hidrogen. Font: ARIEMA Energia i medi ambient [www.ariema.com](http://www.ariema.com)

Aquest element no és una font primària d'energia, no es troba lliure a la natura perquè és tan lleuger que la gravetat terrestre no el pot retenir. Es tracta d'un vector o vehicle energètic, tal com l'electricitat, és a dir, és un producte energètic en el qual prèviament s'ha invertit una quantitat d'energia per a la seva elaboració.

Des del punt de vista energètic, interessa l'ús de l'hidrogen com a vector energètic, ja que té una densitat energètica en massa tres cops superior a la de la gasolina, però que el seu volum suposa una dificultat important. Tot i això, s'ha de tenir en compte que l'hidrogen s'utilitza en la indústria des de fa temps. Així, els mètodes de producció antics es fan servir més que els innovadors amb energies netes. El 96% de l'hidrogen s'obté a partir de combustibles fòssils. Si aquest hidrogen s'ha obtingut a partir de combustibles fòssils, es produeixen emissions de CO<sub>2</sub>, aquest s'anomena hidrogen brut, perquè el seu ús ha implicat l'emissió de gasos d'efecte hivernacle a l'atmosfera. En canvi, si s'obté a partir de l'aigua i d'energies renovables no s'hauran produït emissions de CO<sub>2</sub>, per tant s'anomena hidrogen net. Als gràfics (figura 2 i 3) podem observar les fonts de producció i en què es consumeix l'hidrogen.

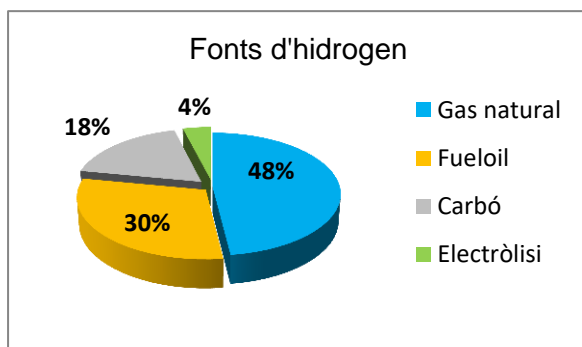


Figura 2: Gràfic sobre la producció d'hidrogen actual. Font pròpia.

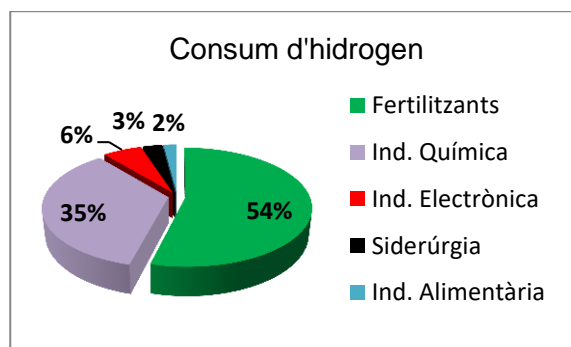


Figura 3: Gràfic sobre l'ús de l'hidrogen actual. Font pròpia.

L'hidrogen diatòmic gasós, H<sub>2</sub>, va ser formalment descrit per primera vegada fa 500 anys per T. Von Hohenheim, més conegut com a Paracels. Actualment la producció, transport, emmagatzematge i ús de l'hidrogen es continua investigant i discutint en conferències, llibres, estudis, diaris, etc.. Existeixen diverses associacions relacionades amb l'hidrogen, una internacional, una americana, una europea i moltes nacionals<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Per saber més sobre alguns esdeveniments importants veure l'Annex I: Història de l'hidrogen

### 3. Mètodes de producció d'hidrogen

Pot ser produït per diverses fonts des de combustibles fòssils (gas natural o carbó) o fonts d'energia renovable (biomassa, solar, hidroelèctrica i mareomotriu). Hi ha una gran varietat de processos tecnològics que es poden utilitzar (químic, biològic, electrolític, fotolític, termoquímic, etc.). Cada tecnologia té un grau de desenvolupament i ofereix diferents oportunitats i beneficis.

A llarg termini serà possible parlar d'una producció a gran escala, ja que els mètodes es van incrementant a causa de la investigació i la millora de la tecnologia, però a curt i mig termini les opcions estan basades en l'electròlisi de l'aigua o en el reformat de gas natural i carbó.

#### 3.1. Mètodes termoquímics

Consisteixen en reaccions químiques, que poden ser d'oxidació o no, per a la separació de l'hidrogen de la matèria primera emprada en el procés i a les que cal aportar energia perquè es produeixin. Alguns dels mètodes termoquímics emprats constitueixen tecnologies de producció ben establertes en l'àmbit industrial, els més utilitzats són els següents.

##### 3.1.1. Reformat amb vapor

Utilitza el gas natural  $\text{CH}_4$ . És el procés d'obtenció d'hidrogen més important i el més utilitzat a la indústria. És el més econòmic, no en quan a l'energia que necessita, sinó que industrialment està desenvolupat i per això conté tots els avantatges d'una tecnologia avançada. Però, inconvenientment utilitza combustibles fòssils i l'hidrogen que s'obté necessita una purificació abans de ser utilitzat en processos posteriors. Aquest procés es produeix en dues etapes:

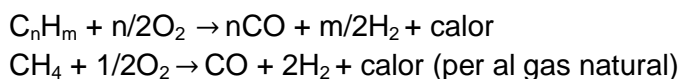
- 1a etapa: S'aporta calor i vapor d'aigua als hidrocarburs. Es produeix monòxid de carboni i hidrogen.  $\text{C}_n\text{H}_m + n\text{H}_2\text{O} + \text{calor} \rightarrow n\text{CO} + (n + m/2)\text{H}_2$   
 $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} + \text{calor} \rightarrow \text{CO} + 3\text{H}_2$  (per al gas natural)
- 2a etapa: El monòxid de carboni amb una nova aportació de vapor d'aigua i calor produeix el que s'anomena a la indústria gas de síntesi ( $\text{CO}_2 + \text{H}_2$ ). En el cas de voler utilitzar aquest hidrogen com a vector energètic, tenim l'inconvenient afegit d'haver de capturar el  $\text{CO}_2$ .  
 $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} + \text{calor} = \text{CO}_2 + \text{H}_2$

##### 3.1.2. Oxidació parcial (POX)

Aquest procés és un derivat del reformat amb vapor però, en lloc de trencar les molècules d'hidrocarburi amb vapor d'aigua i calor, s'oxiden en presència d'oxigen, formant monòxid

de carboni i hidrogen. La impuresa que contingui l'hidrogen dependrà de la composició de la matèria primera i de les condicions en les quals es desenvolupa el procés.

Té l'avantatge que produeix calor (exotèrmica), per la qual cosa no requereix cap aportació d'energia externa. Aquest gran avantatge contrasta amb la producció d'una quantitat d'hidrogen menor i amb la producció un gran contaminant com és el CO.

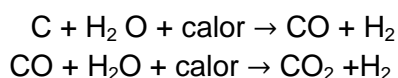


### 3.1.3. Reformat autotèrmic (ATR)

És una combinació del reformat amb vapor i de l'oxidació parcial amb el fi de combinar els avantatges dels dos. S'aprofita la calor que desprèn un en la calor que hem d'aportar a l'altre. D'aquesta manera es pretén aconseguir un procés que no necessiti font d'energia externa, que sigui ràpid en arrancar i aconseguir una bona conversió de l'hidrogen.

### 3.1.4. Gasificació del carbó

Aquest procés comença convertint el carbó sòlid en estat gasos escalfant-lo en un reactor d'alta temperatura. Aquest carbó es tracta posteriorment amb vapor d'aigua i oxigen.



Aquest és el mètode més antic de producció d'hidrogen i s'ha estat utilitzant durant un llarg temps a Europa, Àfrica i als Estats Units. Aquest procés és dues vegades més car que a partir de gas natural, i a més, les emissions de CO<sub>2</sub> són significatives.

## 3.2. Mètodes electroquímics

Es basen en la utilització d'un corrent elèctric per a la producció de l'hidrogen. És aquí on s'enquadra l'electròlisi, que és la tecnologia més neta per a la producció d'hidrogen si l'electricitat prové d'una energia renovable, però això fa que el seu preu augmenti massa. Un altre mètode electroquímic és la producció d'hidrogen de forma fotoelectroquímica, basada en la utilització de l'energia derivada dels fotons.

### 3.2.1. Electrolítics

Són els principals processos d'obtenció d'hidrogen a partir de combustibles renovables. Es basen en la ruptura de la molècula d'aigua en oxigen i hidrogen gràcies a una aportació d'energia elèctrica.



Com es veu a la figura 4, els elèctrodes, el càtode i l'ànode, se situen a la solució i generen el moviment d'electrons gràcies al generador elèctric. L'hidrogen es forma al càtode (elèctrode positiu), mentre que l'oxigen a l'ànode (elèctrode negatiu).

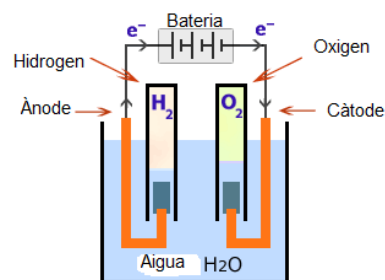


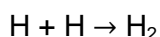
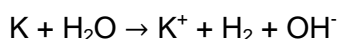
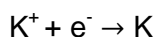
Figura 4: Esquema cèl·lula electrolítica. Font pròpia

### - **Electròlisi alcalina**

L'oxigen que produeixen la majoria dels mètodes electrolítics oxiden els elèctrodes, fins i tot si són d'acer inoxidable. Per aquest motiu i per a millorar la producció d'hidrogen, s'han d'utilitzar elèctrodes de platí o d'iridi<sup>2</sup>, i això eleva el cost del procés.

La producció d'H<sub>2</sub> per via de l'electròlisi alcalina també es pot millorar variant la composició de l'aigua, és a dir, afegint un electròlit que disminueix la resistència elèctrica de l'aigua, augmentant la velocitat de la reacció. S'utilitza normalment hidròxid de potassi (KOH) al 20 o 30% en pes.

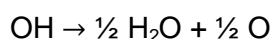
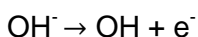
Al càtode



Reacció global



A l'ànode



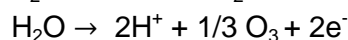
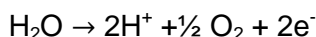
### - **Electròlisi de membrana polimèrica (PEM)**

És la principal alternativa a l'electròlisi alcalina. En aquest cas hi trobem una membrana de polímer especial que deixa passar els protons d'hidrogen (H<sup>+</sup>) i es produeixen les següents reaccions:

Al càtode



A l'ànode



Aquest mètode és més eficient, té un disseny més compacte, un funcionament senzill i a més pateix menys problemes de corrosió. El cost de la membrana és elevat i junt amb els catalitzadors basats en metalls nobles, necessaris per a aquest mètode, fan que aquests equips siguin més cars que els electrolitzadors alcalins. Són més eficients i, per tant, podrien ser més econòmics si la producció d'hidrogen fos més gran.

<sup>2</sup> El platí i l'iridi formen part dels metalls nobles, ja que no sofreixen el fenomen d'oxidació en presència d'O<sub>2</sub>. A més són bons conductors en medi aquàtic.

### - Fotoconversió o mètodes fotoelectrolítics

És un procés d'electròlisi en el qual l'energia necessària per a separar l'aigua en  $H_2$  i  $O_2$  és generada a partir d'energia solar, és a dir, els materials semiconductors absorbeixen la llum i la converteixen en electricitat. Així, els electrons generats per l'absorció de la llum són utilitzats per reduir l'aigua, generant hidrogen, i els protons són utilitzats per a oxidarla, generant oxigen. Hi ha dos mètodes:

Fotoconversió indirecta, és a dir, es col·loquen plaques fotovoltaïques i, per mitjà de la radiació solar, produïm l'electricitat necessària per a fer l'electròlisi.

Fotoconversió directa en el qual ja s'utilitzen cèl·lules fotoelectroquímiques d'uns materials semiconductors en els quals directament hi incideix la llum. Aquestes mateixes cèl·lules són les que funcionen com elèctrodes i trenquen la molècula d'aigua. El mètode directe no només elimina els costos d'un electrolitzador, sinó que també té la possibilitat d'incrementar l'eficiència global del procés, comparat amb el mètode indirecte.

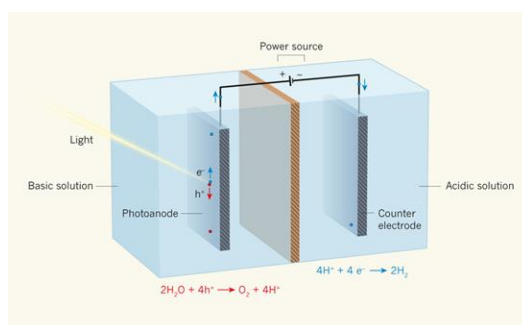


Figura 5: Esquema fotoconversió directa. Font: Estudis de l'ICIQ

A continuació s'adjunta l'enllaç d'un vídeo de la Universitat Jaume I on es veu l'estudi actual sobre la fotoconversió directa. [https://www.youtube.com/watch?v=uyuP\\_oziX8Q](https://www.youtube.com/watch?v=uyuP_oziX8Q)

### 3.3. Mètodes biològics

L'hidrogen és produït de forma biològica o de forma fotosintètica a partir de microorganismes anaeròbics i fotosintètics. Per a això fan ús de matèries primeres no tòxiques i riques en carbohidrats. És una tècnica emergent i prometedora que, a escala de laboratori, presenta altes eficiències. No es caracteritzen per una àmplia producció d'hidrogen, sinó que es coneixen per l'ús de microorganismes molt variats, des de procariotes fins eucariotes. Hi ha una sèrie de microorganismes que o bé per una via fotosintètica o per una via fermentativa produeixen hidrogen a partir de degradar la matèria orgànica. Són mètodes molt interessants perquè s'està parlant d'un recurs tan abundant com és la biomassa.

### 3.3.1. Mètodes fotobiològics

Hi ha una sèrie de cianobacteries i d'algues eucariotes que poden produir hidrogen, utilitzant únicament llum solar, aigua i un enzim anomenat hidrogenasa. Aquests microorganismes utilitzen la fotosíntesi per a generar electrons que ajudin a l'enzim a reduir catàlicament els protons  $H^+$ .

Actualment aquesta tecnologia està en període d'investigació i desenvolupament. S'han identificat més de 400 varietats de plantes primitives candidates per a produir hidrogen.

### 3.3.2. Mètodes fermentatius

Alguns grups de bacteris fermentadores tenen la capacitat de produir hidrogen a partir de sucres simples. En els organismes fermentatius s'utilitzen tres rutes fermentatives per a la producció d'hidrogen.

### 3.3.3. Digestió anaeròbica

És un procés molt important per a aconseguir hidrogen a partir de biomassa i que conté diverses etapes en les quals els residus d'una sèrie d'organismes serveixen d'alimentació d'altres.

- La cel·lulosa és trencada per enzims i es formen compostos orgànics solubles.
- Els compostos orgànics solubles es converteixen en  $H_2$ ,  $CO_2$  i acetats a través dels bacteris.
- El  $CH_4$  es genera a partir d'aquestes substàncies a partir dels bacteris productors de metà.

Al final del procés, s'obté metà que es pot utilitzar com a metà o bé, amb algun dels mètodes explicats anteriorment aconseguir hidrogen.

## 4. Mètodes per transformar l'hidrogen en energia

### 4.1. Combustió

És el primer mètode que es va utilitzar, cremar l'hidrogen, ja que és un combustible. Primer per produir calor i posteriorment per aprofitar la calor en un cicle termodinàmic per produir energia mecànica i posteriorment elèctrica mitjançant un alternador.

Des de 1990 es disposa de prototips de motors alternatius de combustió interna que cremen l'hidrogen. Aquest ús tant en motors com en turbines de gas no està exempt de dificultats que tenen a veure amb les emissions.

Encara que la combustió d'hidrogen només produeix vapor d'aigua, això és veritat si el comburent és oxigen pur. Quan s'utilitza l'aire atmosfèric la presència de nitrogen crea dificultats, ja que a elevada temperatura es pot formar NO<sub>x</sub> (NO i NO<sub>2</sub>). És un gas tòxic, irritant i precursor de la formació de partícules de nitrat.

### 4.2. Piles de combustible

Una pila de combustible és un dispositiu que permet transformar directament l'energia química d'un combustible en energia elèctrica mitjançant una transformació electroquímica. Així el pas d'energia química a energia elèctrica és directe i sense conversió de tipus tèrmic. Per tant, les pèrdues són menors, és a dir, té una alta eficiència i un mínim impacte ambiental.

La pila de combustible a diferència de les bateries té la capacitat de produir energia elèctrica durant tant de temps com sigui subministrat el combustible i el comburent als elèctrodes.

Es poden classificar en funció de molts paràmetres. El criteri que ha predominat ha estat segons l'electròlit emprat que pot ser bàsic o àcid i que condiona la temperatura, el rendiment i el camp d'aplicació. La classificació més estesa és la següent:

AFC "Alkaline Fuel Cell". Pila de combustible alcalina.

PEMFC "Proton Exchange membrane Fuel Cell". Pila de combustible de membrana d'intercanvi protònic.

DMFC "Direct Metanol Fuel Cell" Pila de combustió directa de metanol.

PAFC "Phosphoric Acid Fuel Cell". Pila de combustible d'àcid fosfòric.

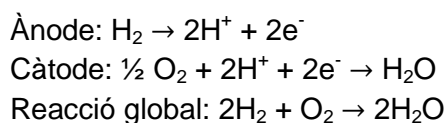
MCFC "Molten carbonate Fuel Cell" Pila de combustible de carbonats fosos.

SOFC "Solid Oxide Fuel Cell" Pila de combustible d'òxid sòlid.

Fa ja quasi dos segles dels primers estudis sobre piles combustible fins al 2007 que Gerhard Ertl va rebre el premi Nobel pels seus estudis del funcionament de les piles combustible.

Per aquest treball interessa la PEMFC que utilitza hidrogen de combustible i oxigen de comburent. Utilitzen un electròlit (nafion) que consisteix en una membrana formada per una xarxa de polímer unida a grups funcionals capaços d'intercanviar cations i anions.

La cèl·lula bàsica d'una pila tipus PEM està formada per dos elèctrodes, ànode i càtode separats per la membrana polimèrica de nafion. A la pila s'oxida el combustible (l'hidrogen) d'acord amb les següents reaccions:



Les reaccions es regulen per tal de desenvolupar-se de forma lenta i controlada sense cedir calor. L'hidrogen s'introdueix per un costat de la cèl·lula, a travessa la placa GDL (Gas diffusion Layer, figura 6) i va a parar a l'ànode on un elèctrode de platí (figura 7) facilita la conversió en electrons i protons. Els protons travessen la membrana electrolítica (figura 8) per combinar-se amb els electrons i l'oxigen (introduït directament o procedent de l'aire) distribuït també en tota la superfície al costat del càtode. L'únic producte de la reacció és calor i aigua. Els electrons que no poden travessar la membrana d'electròlit passen de l'ànode al càtode a través d'un circuit extern i alimenten els nostres dispositius elèctrics.



Figura 6: GDL de carboni (Membrana de difusió de gas).  
Font pròpia



Figura 7: Elèctrode de platí. Font pròpia



Figura 8: Nafion MEA (Membrane electrode assembly). Font pròpia

## 5. Metodologia i experiències per a produir hidrogen

De tots els mètodes presentats a la secció anterior per produir hidrogen en aquest apartat es contemplen sis que s'han escollit en funció de les possibilitats tècniques, econòmiques, logístiques i més adequades per la investigació. Cinc s'han realitzat a casa i un al laboratori de l'ICIQ, tots seguint els protocols de seguretat.

Dels mètodes presentats a la secció anterior per transformar l'hidrogen en energia aquí s'han portat els dos a terme mitjançant dues experiències realitzades a casa, sempre seguint els protocols de seguretat.


### 5.1. Recerca d'informació




Primerament es va realitzar una recerca d'informació. Es va investigar sobre l'hidrogen, el seu ús al llarg de la història i els mètodes actuals per a produir-lo. També s'ha cercat informació sobre les noves tecnologies de l'hidrogen com les piles PEM o la fotoconversió directa.

Tota la informació s'ha buscat a llibres especialitzats o a internet, on s'ha pogut accedir a molts articles (*papers*) de diferents investigadors. A més es va establir contacte amb els doctors de l'ICIQ José Ramón Galán-Mascarós, líder d'un projecte europeu (ERC) a la recerca de catalitzadors, i Álvaro Reyes, investigador del grup de José Ramón. Això va permetre estar dues setmanes a l'interior de l'ICIQ aprenent sobre el tema.

### 5.2. Experiències aplicades per produir hidrogen


- Eines utilitzades per a realitzar els diferents experiments: Pistola de silicona, trepant elèctric, broques, alicates, tornavis, tisores, soldador estany, filferro, encenedor, retolador i regla.
- El material comú utilitzat per a realitzar els diferents experiments han estat els següents:

Material	Descripció	Foto
Pots de vidre	Diferents pots de vidre amb tapa procedents del reciclatge.  Aquí tindran lloc les diferents reaccions dels experiments	 <p>Font pròpia</p>

Tub de silicona	Utilitzat per transportar el gas generat  Adquirit al Shopping Center Rovira i Virgili 26 Tarragona.	 <p>Font pròpia</p>
Xeringa amb agulla	Capacitat: 5ml  Utilitzada per poder controlar el gas generat.  Adquirit a la farmàcia Roig Sabaté de Tarragona	 <p>Font pròpia</p>
Barres de silicona	Utilitzades per segellar les obertures fetes a les tapes dels pots de vidre.  Adquirit al Shopping Center Rovira i Virgili 26 Tarragona.	 <p>Font pròpia</p>

**Experiència 1:** Experiment àcid-metall

A més del material anterior, comú a altres experiències, s'ha utilitzat aquest:

Material	Descripció	Imatge
Piles	Piles sense càrrega.  Utilitzades per extreure el zinc necessari per la reacció.  Piles que estaven a casa per portar al reciclatge.	 <p>Font pròpia</p>



<p>Salfumant (HCl)</p>	<p>Concentració: 20%</p> <p>Utilitzat per reaccionar amb el zinc.</p>  <p>Mantenir-lo fora dels nens. Evitar contacte amb la pell. En cas d'ingestió anar al metge i mostrar etiqueta o envàs Utilitzar-lo en llocs ventilats.</p> <p>Provoca irritació ocular greu. Provoca irritació cutània. Pot irritar les vies respiratòries.</p> <p>Adquirit a Mercadona</p>	 <p>Font pròpia</p>
------------------------	--	--



Figura 9: Materials i eines utilitzades a l'Experiència 1. Font pròpia

#### Procediment:

- Extraure el zinc de les piles amb l'ajut d'unes alicates (figura 10).
- Fer un forat amb el trepant al tap del pot i a un lateral de la xeringa (figura 11).
- Introduir els extrems del tub de silicona als dos forats i recobrir les possibles fugues de gas amb silicona calenta.
- Abocar el zinc al pot i seguidament abocar-hi el salfumant.
- Tapar el recipient i esperar que es produeixi la reacció (figura 12).



Figura 10: Zinc extret de les piles. Font pròpia



Figura 11: Xeringa foradada amb un trepant. Font pròpia



Figura 12: Sortida de l'hidrogen al pot. Font pròpia

### **Experiència 2:** Magnesi i àcid acètic

Els materials ja utilitzats a l'altra experiència no es tornen a descriure: Pots de vidre, tubs de silicona, barres de silicona i xeringa amb agulla.

Material	Descripció	Imatge
Magnesi	<p>Longitud: 30 cm</p> <p>Utilitzat a trossos per la reacció.</p> <p>Agafat d'un escalfador elèctric.</p>	<p>Font pròpia</p>
Vinagre, àcid acètic (CH <sub>3</sub> OOH)	<p>Concentració 8%</p> <p>Utilitzat per reaccionar amb el magnesi.</p> <div style="text-align: center;"> </div> <p>Mantenir-lo fora dels nens.            En cas d'ingestió anar al metge i mostrar etiqueta o envàs            Utilitzar-lo en llocs ventilats.            Líquids i vapors inflamables.            Pot ser corrosiu pels metalls.            Pot provocar cremades a la pell i lesions oculars.            Mantenir lluny de fonts de calor.</p> <p>Adquirit a Mercadona</p>	<p>Font pròpia</p>



Figura 13: Materials i eines utilitzades a l'Experiència 2. Font pròpia

Procediment:

- Agafar uns fragments de la barra de magnesi (figura 14 i 15).
- Fer un forat amb el trepant al tap del pot i a un lateral de la xeringa
- Introduir els extrems del tub de silicona als dos forats i recobrir les possibles fugues de gas amb silicona calenta.
- Abocar el magnesi i seguidament l'àcid acètic.
- Esperar que es produeixi la reacció.








Figura 14: Barra de magnesi fragmentada.  
Font pròpia



Figura 15: Taula de preparació de l'Experiència 2.  
Font pròpia

### **Experiència 3: Electròlisi alcalina**

Els materials ja utilitzats a altres experiències no es tornen a descriure: Pots de vidre, tubs de silicona, barres de silicona i xeringa amb agulla.

Material	Descripció	Imatge
Cargols	Utilitzats per fer de càtode i ànode a l'electrolitzador.  Adquirits a Leroy Merlin les Gavarres.	  Font pròpia
Cables	Utilitzat per ser soldats als cargols i fer l'electrolitzador.  Vermell: pol positiu Negre: pol negatiu  Adquirit a Comercial Electrònica L.P. carrer Mossèn Salvador Ritort i Faus 23 a Tarragona.	  Font pròpia
Estany	Utilitzat per soldar el cable als cargols.  Adquirit a Comercial Electrònica L.P. carrer Mossèn Salvador Ritort i Faus 23 a Tarragona.	  Font pròpia
Equip d'infusió	Utilitzat per recollir l'hidrogen que surt de l'electròlisi.  Adquirit a la farmàcia Roig Sabaté de Tarragona.	  Font pròpia
Pila de petaca	Utilitzada per proporcionar electricitat a l'electrolitzador.  Adquirit a Comercial Electrònica L.P. carrer Mossèn Salvador Ritort i Faus 23 a Tarragona.	  Font: Pròpia



Aigua destil·lada	Utilitzada per proporcionar aigua a l'electrolitzador i als tancs.  Adquirida a Mercadona i a Spar	 Font pròpia
Sal	Utilitzada per fer més ràpida l'electròlisi.  Sal de casa	 Font pròpia



Figura 16: Materials i eines utilitzats a l'Experiència 3. Font pròpia.

### Procediment

- Col·locar els cargols als pals de fusta per aconseguir una estructura similar a la de la figura 17.
- Soldar, amb l'ajuda d'un soldador i d'estany, un fil de coure que passi pel cap de cada cargol (figura 18).
- Foradar el tap d'un pot de vidre amb el diàmetre aproximat del regulador del comptagotes, i a dos altres taps foradar amb el diàmetre del tub (figura 19).
- Posar una barreja d'aigua destil·lada i sal al pot de vidre, introduir l'electrolitzador fabricat i tapar.
- Introduir els tubs i recobrir les possibles fugues de gas amb silicona calenta.
- Connectar l'electrolitzador a la pila i esperar que es produeixi la reacció.



Figura 17: Electrolyzer realitzat.  
Font pròpia.



Figura 18: Soldant cables a l'electrolyzer. Font pròpia.



Figura 19: Recobrint amb silicona les fugues de gas. Font pròpia.

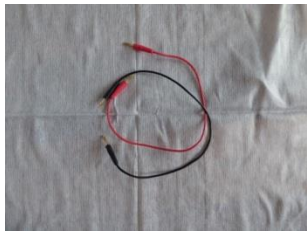
#### **Experiència 4:** Fotoconversió indirecta

En aquest apartat s'han realitzat dues experiències: la 4a anomenada *Electrolyzer en medi alcalí* i la 4b anomenada *Electrolyzer PEM*. Això es deu a que l'electrolyzer a utilitzar en la primera ha estat fet manualment mentre que en la segona el dispositiu s'ha comprat.

##### **4a. Electrolyzer en medi alcalí**

El material és el mateix que a l'*Experiència 3* però substituint la pila per 3 plaques solars unides.

Material	Descripció	Imatge
Plaques solars	<p>Utilitzades per proporcionar electricitat a l'electrolyzer a partir de l'energia del sol.</p> <p><u>Placa de l'esquerra:</u> Rodona de 100 mm de diàmetre. Tensió de sortida màxima 2 V. Adquirida a Hidroner, hidrogenos del Nervión Orduña, Biscaia.</p> <p><u>Placa del mig:</u> Rectangular de 125 mm x 155 mm x 8 mm. Tensió de sortida màxima 2,2 V. Adquirit a <a href="http://www.tiendafotovoltaica.es/">http://www.tiendafotovoltaica.es/</a></p> <p><u>Placa de la dreta:</u> Rectangular: de 60 mm x 150 mm x 8 mm. Tensió de sortida màxima de 2 V. Adquirida a Hidroner, hidrogenos del Nervión Orduña, Biscaia.</p>	 <p>Font pròpia</p>

<p>Cables amb clavilles</p>	<p>Utilitzats per transportar l'electricitat de la placa solar a l'electrolitzador.</p> <p>Adquirit a Comercial Electrònica L.P. carrer Mossèn Salvador Ritort i Faus 23 a Tarragona.</p>	 <p>Font pròpia</p>
-----------------------------	---	--


Procediment: S'aprofita el que s'ha realitzat a l'Experiència 3, però ara es connecta a les tres plaques solars com es veu a la figura 20.



Figura 20: Fotoconversió indirecta realitzada. Font pròpia

#### 4b. Electrolitzador PEM (Membrana d'intercanvi iònic)

Els materials ja utilitzats a altres experiències no es tornen a descriure: Aigua destil·lada, tubs de silicona i cables amb clavilles.

Material	Descripció	Imatge
<p>Cèl·lula PEM reversible (Mode electrolitzador)</p>	<p>Utilitzada per produir hidrogen a partir de l'aigua, mode electrolitzador.</p> <p>Mesures: 54 x 54 x 17 mm            Pes: 14 g            Tensió d'entrada: 1,7V-3V (CC)            Consum: 0,7 A a 2 V            Producció mitjana H<sub>2</sub>: 5 ml/min            Producció mitjana O<sub>2</sub>: 2,5 ml/min</p> <p>Adquirit a <a href="http://www.tiendafotovoltaica.es/">http://www.tiendafotovoltaica.es/</a></p>	 <p>Font pròpia</p>

Tancs d'hidrogen i oxigen	Utilitzats per recollir l'hidrogen i oxigen que produeix l'electrolitzador.  Capacitat: 15 ml  Adquirit a <a href="http://www.tiendafotovoltaica.es/">http://www.tiendafotovoltaica.es/</a>	 <p>Font pròpia</p>
Suports dels tancs i l'electrolitzador	Utilitzat per aguantar els tancs.  Adquirit a <a href="http://www.tiendafotovoltaica.es/">http://www.tiendafotovoltaica.es/</a>	 <p>Font pròpia</p>
Placa solar	Utilitzada per proporcionar electricitat a l'electrolitzador a partir de l'energia del sol.  Rectangular de 125 mm x 155 mm x 8 mm. Tensió de sortida màxima 2,2 V. Adquirit a <a href="http://www.tiendafotovoltaica.es/">http://www.tiendafotovoltaica.es/</a>	 <p>Font pròpia</p>



Figura 21: Materials utilitzats a l'Experiència 4b. Font pròpia

Procediment: En aquest cas la cèl·lula PEM reversible funciona com a electrolitzador.

- Introduir la cèl·lula PEM reversible al seu suport amb les entrades elèctriques cap a dalt.
- Omplir la xeringa amb aigua destil·lada i introduint-la pel forat de l'ànode, per tal d'hidratar la membrana d'intercanvi protònic (PEM). Abans de començar s'ha d'esperar uns 4-5 minuts.

- Mentrestant, fixar els tancs dels gasos a la seva base i es col·loquen els contenidors als cilindres en pressionar-los cuitosament per introduir-los a la ranura.
- Omplir els tancs amb aigua destil·lada fins que la indicació arribi a 0. Cal controlar que les ranures dels contenidors quedin lliures perquè gràcies al principi dels vasos comunicants no quedi aire quan s'aboqui aigua
- Connectar els tubs de silicona des dels brocs dels tancs als brocs de la cèl·lula PEM. El del tanc de l'oxigen a la cara vermella (càtode), mentre que el del tanc de l'hidrogen a la cara negra (ànode).
- Introduir els cables amb clavilles a la placa solar i a l'electrolitzador PEM d'acord amb els colors com es veu a la figura 22.



Figura 22: Producció d'hidrogen de l'electrolitzador PEM. Font pròpia

### **Experiència 5:** Electròlisi PEM (Nivell de laboratori)

Aquesta experiència es va realitzar al laboratori de l'ICIQ com es veu a la figura 23.

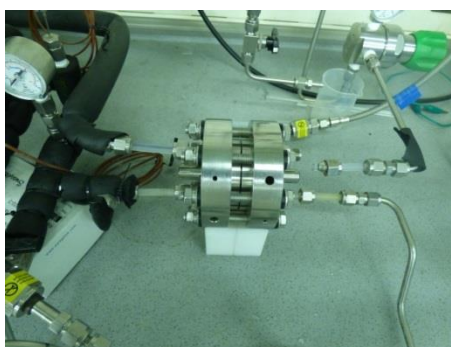


Figura 23: Electrolitzador PEM del laboratori de l'ICIQ. Font pròpia

El Dr. Álvaro Reyes va mostrar com funcionava una cèl·lula PEM de laboratori. El procediment es similar a l'explicat a l'*Experiència 4b*, però tot molt més mecanitzat i complex.

Primerament, abans d'introduir l'aigua a la membrana és molt important posar-hi gas a pressió als dos costats de la cèl·lula per tal d'unir a la perfecció les seves parts i així, reduir les resistències elèctriques que pot provocar. També s'escalfa localment la cèl·lula i l'aigua a 80°C. Aquesta és la temperatura òptima per a la producció d'hidrogen perquè


disminueix les resistències del catalitzador i de la membrana, a més de mantenir un nivell d'humitat relativa baix però suficient perquè la membrana PEM treballi hidratada.<sup>3</sup>

En aquest tipus de cèl·lules el voltatge i la intensitat es proporcionen amb un potenciostat i l'aigua té sistemes de drenatge per a la seva reutilització.

### 5.3. Experiències aplicades per obtenir energia a partir de l'hidrogen

**Experiència 6:** Foc de l'aigua (Cremar l'hidrogen per a convertir-lo en energia calorífica).

Els mateixos materials ja utilitzats i construïts a l'Experiència 3.

Material	Descripció	Imatge
Font d'alimentació intel·ligent	Utilitzada per anar variant la corrent i la tensió donada a l'electrolitzador.  Cedida per l'IES Pere Martell.	  Font pròpia

Procediment: S'aprofita el que s'ha realitzat a l'Experiència 3, però ara es connecta a una font intel·ligent (figura 24). També es treu el segon pot, de manera que l'hidrogen tingui menys recorregut i pugui arribar a la xeringa més aviat per cremar-se.



Figura 24: Realització de l'Experiència 6. Font pròpia

**Experiència 7:** Mitjançant una pila de combustible amb membrana PEM (PEMFC), unir de nou l'hidrogen i l'oxigen produint corrent elèctric.

Els materials ja utilitzats a altres experiències no es tornen a descriure: Cèl·lula PEM reversible en mode electrolitzador, placa solar, tubs de silicona, tancs, suports dels tancs i cables amb clavilles.

<sup>3</sup> Per a saber més sobre les resistències i sobrepotencials de la cèl·lula PEM veure: Annex II: Caracterització de la cèl·lula (Corba de polarització)

Material	Descripció	Imatge
Cèl·lula PEM reversible (Mode Pila de combustible, PEMFC)	<p>Utilitzada per transformar l'hidrogen en electricitat.</p> <p>Mesures: 54 x 54 x 17 mm            Pes: 14 g            Tensió de sortida: 0,6 V (CC)            Corrent de sortida: 300 mA            Potencial de sortida: 180 mW</p> <p>Adquirit a <a href="http://www.tiendafotovoltaica.es/">http://www.tiendafotovoltaica.es/</a></p>	 <p>Font pròpia</p>
Motor amb ventilador	<p>Utilitzat per transformar l'electricitat de la PEM en moviment.</p> <p>Adquirit a <a href="http://www.tiendafotovoltaica.es/">http://www.tiendafotovoltaica.es/</a></p>	 <p>Font pròpia</p>
Placa electrònica amb leds	<p>Utilitzats per transformar l'electricitat en llum.</p> <p>Fan llum amb molt poc corrent elèctric.</p> <p>Adquirits a Hidroner, hidrogenos del Nervión Orduña, Biscaia.</p>	 <p>Font pròpia</p>



Figura 25: Material utilitzat a l'Experiència 7. Font pròpia

### Procediment

- Connectar la PEMFC a una font d'hidrogen mitjançant els tubs de silicona.
- Connectar els cables amb clavilles al motor i als borns de la cèl·lula.

## 6. Resultats

### 6.1. Resultats específics de les experiències

Per cadascuna de les experiències s'ha realitzat un vídeo per a il·lustrar de manera més didàctica l'experiment i que el lector pugui observar els resultats. Estan penjats a la plataforma Youtube. Trobareu un enllaç a cada subapartat que portarà al vídeo.

#### Experiència 1: Zinc + àcid clorhídric (salfumant)

La reacció que es produeix és:  $\text{Zn} + 2\text{HCl} \longrightarrow \text{ZnCl}_2 + \text{H}_2$   
 És una reacció àcid metall: Metall + Àcid  $\longrightarrow$  Hidrogen + Sal

Instantàniament després d'abocar el salfumant sobre el zinc s'observa un bombolleig a l'interior del recipient (figura 26), és l'hidrogen que es desprèn. El pot s'escalfa perquè la reacció és exotèrmica. També es pot observar com la solució va adquirint una tonalitat verdosa. Això es deu a les impureses del zinc, ja que s'ha extret d'unes piles.



Figura 26: Bombolleig de la reacció. Font pròpia

Per a comprovar que el gas que es produeix és hidrogen, s'introdueix la punxa de la xeringa a un petit recipient amb sabó. Quan ja s'han format bombolles de gas s'apropa un encenedor i s'observa el que succeeix.

Vídeo realitzat: <https://youtu.be/TlmmmB4Wir8> Música: Crimson fly – Huma huma

#### Experiència 2: Magnesi + àcid acètic (vinagre)

La reacció que es produeix és:  $\text{Mg} + 2\text{CH}_3\text{COOH} \longrightarrow \text{Mg}(\text{CH}_3\text{COO})_2 + \text{H}_2$

En aquest cas també és una reacció àcid metall com a l'*Experiència 1*, però aquesta té un flux d'hidrogen més gran en relació a la quantitat de metall. Això es deu al fet que 1 mol de magnesi genera la mateixa quantitat d'hidrogen que un mol de zinc, però el Mg té una massa molar inferior a la de Zn. Per tant, amb menys quantitat de metall (Mg) es genera la mateixa quantitat d'hidrogen.

Instantàniament després d'abocar el vinagre sobre el magnesi s'observa un fort bombolleig a l'interior del recipient (figura 27), és l'hidrogen que es desprèn. El pot s'escalfa perquè la reacció és exotèrmica. Per a comprovar que el gas que es produeix és hidrogen, s'apropa un encenedor a la punxa de la xeringa i s'observa el que succeeix.



Figura 27: Hidrogen després de la reacció. Font pròpia

Vídeo realitzat: <https://youtu.be/M51FYzokEb8> Música: About that oldie – vibe tracks

### Experiència 3: Electròlisi alcalina

Primerament es va realitzar l'electrolitzador sense cap problema, però un cop es va posar en funcionament connectat a una pila de 4,5 V, es va observar que desprenia hidrogen i, alhora, una substància que obstaculitzava el seu pas pel tub (figura 28).



Figura 28: Primer intent de l'Experiència 3. Font pròpia.

Un cop observades les dificultats, es va creure convenient variar els materials de l'electrolitzador perquè després de l'electròlisi els cargols havien canviat de color i la fusta cada cop es trobava en pitjor estat degut a l'electricitat que hi passava pel seu interior.

Els cargols es van substituir per uns de més bons i els pals de fusta per regles. Tot i que el nivell de la substància va disminuir i es va tornar més vermella, el pas de l' $H_2$  es seguia veient obstaculitzat pels residus generats (figura 29). Al veure que només els cargols de l'ànode (vermell) havien canviat de color ens vam adonar que s'havien oxidat a causa de l'oxigen que es produeix en aquesta mitja reacció. D'aquesta manera, la majoria de "substància" era conseqüència de l'oxidació dels cargols.



Figura 29: Residus generats al segon intent de l'Experiència 3. Font pròpia.

Finalment, es va creure que l'electrolitzador nou (figura 30) junt amb una font d'alimentació generaria un flux d' $H_2$  elevat capaç de trencar la capa d'òxid i permetre el seu pas, i així va ser. En aquest últim cas, es va observar que l'òxid no és bon conductor i que oposa resistència. Per aquest motiu el voltatge i la intensitat de la font intel·ligent anaven disminuint amb el pas de la reacció, fins a arribar a un curtcircuit produït per una quantitat excessiva d'òxid que unia els cargols d'ambdós costats (figura 31).

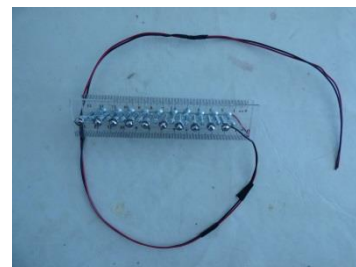


Figura 30: Segon electrolitzador realitzat. Font pròpia



Figura 31: Tercer intent de l'experiència 3. Font pròpia.

En aquest tipus d'electròlisi la sal actua com a electròlit, millorant el funcionament de la reacció. La sal millora la conductivitat de l'aigua i en disminueix la seva resistència.

Vídeo realitzat: <https://youtu.be/OgsRRMYwSDU> Música: Better than revenge (instrumental) – Taylor Swift

Això respon a l'explicat a l'apartat 3.3.2. dels mètodes electrolítics. A l'electròlisi els electrolitzadors bons són o bé d'iridi o de platí, materials cars, per evitar aquesta oxidació. Com podem veure, aquest és un dels principals inconvenients que dificulta el desenvolupament d'aquesta tecnologia electrolítica.

#### Experiència 4: Fotoconversió indirecta

La fotoconversió indirecta aprofita la llum solar mitjançant una placa fotovoltaica per a produir hidrogen d'una manera neta, sense emissions contaminants. Aquest procés té dues aplicacions:

##### 4a. Electrolitzador en medi alcalí

Com es veu a la figura 32, succeïa el mateix que el segon intent de l'Experiència 3, ja que es produïa òxid però el flux de l'hidrogen no era suficientment elevat com per a poder trencar aquesta capa obstaculitzant.



Figura 32: Òxid format amb l'electrolitzador alcalí. Font pròpia

##### 4b. Electrolitzador PEM (Membrana d'intercanvi iònic)

Al connectar la cèl·lula PEM reversible a la placa solar (figura 33) va sortir hidrogen i oxigen sense cap mena de dificultat i sense emissions contaminants, ja que no hi havia cap altra reacció que dificultés el seu pas. L'únic inconvenient era el subministrament d'aigua, ja que era la pròpia persona que havia de subministrar-la amb una xeringa.

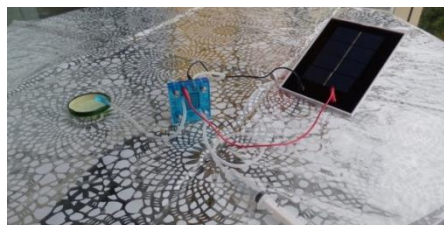


Figura 33: Cèl·lula PEM reversible en funcionament. Font pròpia

Per a solucionar aquest problema, es va col·locar un electrolitzador PEM a l'interior d'un recipient (figura 34), de manera que gràcies a la pròpia pressió de l'aigua el tub per on passava estava sempre ple i preparat per a subministrar aigua.



Figura 34: Cèl·lula PEM a l'interior del recipient. Font pròpia

Vist el seu bon funcionament, es va voler conèixer l'exactitud del seu flux per a una possible aplicació.<sup>4</sup> (Caracterització de la cèl·lula)

Vídeo realitzat: <https://youtu.be/tBohvkeKOXU> Música: The lazy song (Instrumental) – Bruno Mars

<sup>4</sup> Veure Annex II: Caracterització de la cèl·lula PEM

### Experiència 5: Electròlisi PEM (Nivell de laboratori)

Es va poder comprovar experimentalment a l'ICIQ (figura 35) que tal com deien les fonts d'internet aquest és el mètode actual per excel·lència perquè no provoca cap emissió contaminant i el flux d'hidrogen és elevat. Encara queda molt per a desenvolupar doncs el preu és elevat a causa dels catalitzadors i la tecnologia és complexa.

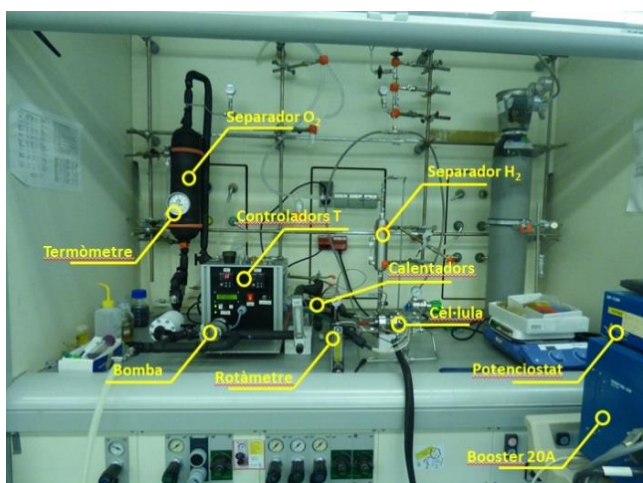


Figura 35: Campana d'estudi de l'electrolitzador PEM a l'ICIQ. Font pròpia

A la figura 36, es pot veure un esquema d'una planta d'electròlisi PEM on s'entén millor la complexitat d'aquest mètode i les seves dificultats econòmiques. El drenatge al tanc de l'hidrogen és deu a la humitat que viatja amb aquest, que es condensa i acaba reduint la capacitat del tanc.

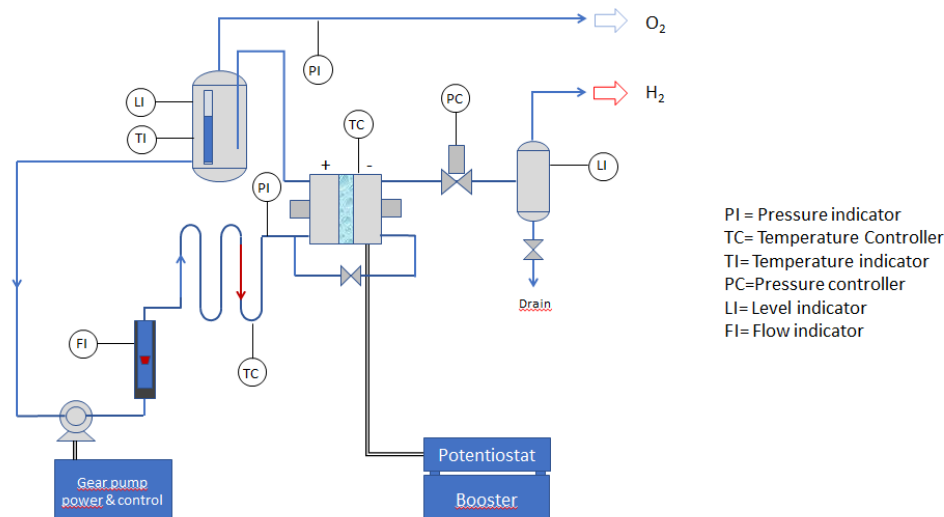


Figura 36: Esquema d'una planta d'electròlisi PEM. Font: ICIQ

### Experiència 6: Foc de l'aigua (Cremar l'hidrogen per a convertir-lo en energia calorífica).

L'hidrogen es pot utilitzar com a combustible (figura 37), tant per a moure pistons gràcies a la seva explosió com per a cremar, desprenent com a únic residu aigua. La unió de l'hidrogen amb l'oxigen per a formar aigua és violenta i desprèn energia. Si s'apropa una flama a un tanc d'hidrogen, aquest explotarà i despendrà energia

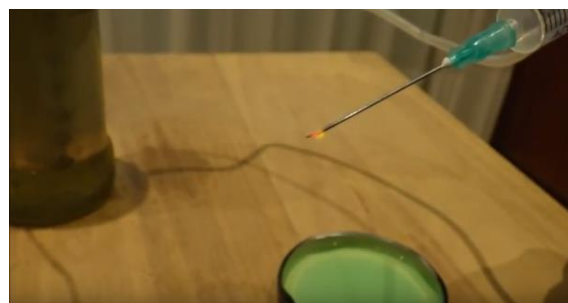


Figura 37: Flama produïda per l'hidrogen. Font pròpia

calorífica i mecànica. En canvi, si s'apropa una flama a un flux constant d' $H_2$ , aquesta únicament desprendreà energia calorífica, però serà molt elevada.

Vídeo realitzat: <https://youtu.be/Y5VSqzvSmSU> Música: Wallpaper - Kevin Macleod

**Experiència 7:** Mitjançant una pila de combustible amb membrana PEM (PEMFC<sup>5</sup>), unir de nou l'hidrogen i l'oxigen produint una petita corrent elèctric

Aquesta experiència aparenta ser senzilla, però el procés químic que segueix és complex. Les molècules d' $H_2$  es divideixen en ions d' $H^+$  i electrons en entrar en contacte amb els elèctrodes de platí. Els electrons passen per la membrana GDL (Gas diffusion layer), les plaques bipolars i pel circuit, ja que la membrana (MEA) és un material no conductor. Els electrons es combinen amb l'oxigen i en el contacte amb el platí del càtode es divideixen en ions  $O^{2-}$ . Aquest gradient elèctric provoca que els ions d'hidrogen traspassin la PEM i s'uneixin a l'oxigen (figura 38).

Per la complexitat del tema explicat, a continuació s'enllaça un vídeo de l'empresa Pragma Indústria que completa l'explicació anterior:

<https://www.youtube.com/watch?v= MsG9REFN3s>

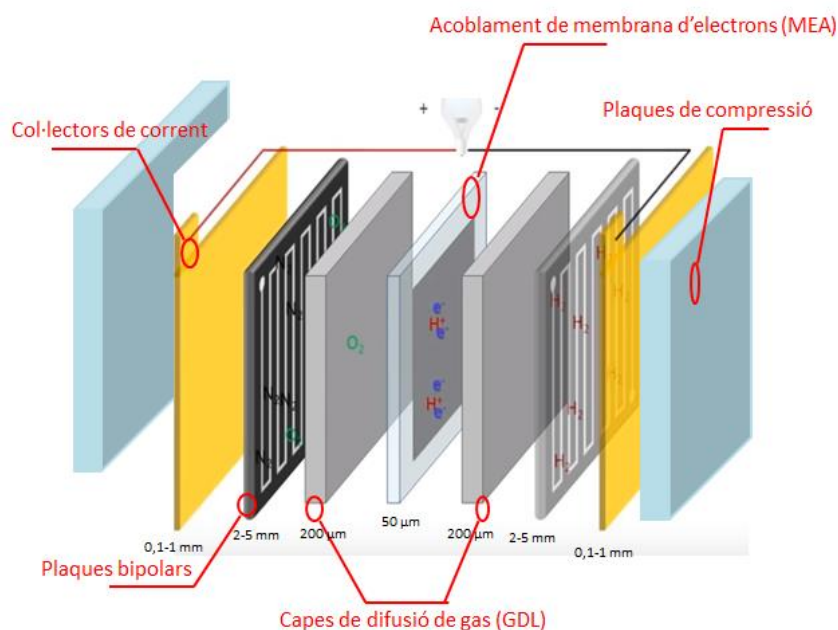


Figura 38: Esquema funcionament d'una PEMfc. Fon pròpia (Pragma industries)

Aquest mètode és molt eficient, ja que transforma l'hidrogen, un vector energètic difícil de controlar però relativament fàcil d'emmagatzemar, en electricitat, un vector energètic que controlem amb facilitat. D'aquesta manera es pot alimentar tota mena d'aparells elèctrics amb la certesa que l'energia és neta.

<sup>5</sup> PEMFC: Proton-exchange membrane fuel cell, Pila de combustible amb membrana d'intercanvi protònic.

A més, aquest mètode presenta grans avantatges de cara al futur perquè té una eficiència més elevada que els motors dièsel o el gas natural i no contamina.

Vídeo realitzat: <https://youtu.be/sPf57FA-8S4> Música: 24K (Instrumental) – Bruno Mars

## 6.2. Resultats finals

### 6.2.1. Resultats de les experiències per obtenir hidrogen

De tots els mètodes per obtenir hidrogen, en aquest treball s'ha experimentat amb cinc. Per tal de dur a terme l'objectiu del treball s'ha realitzat una taula comparativa entre aquestes experiències per tal de determinar quin d'aquests és el més òptim. La comparació no s'ha pogut fer de manera numèrica perquè tots els procediments són diferents i no tenen paràmetres numèrics en comú. Per tant la comparació s'ha realitzat mitjançant els següents criteris:

- Metalls pesants: Els productes de la reacció contenen metalls pesants.
- Gasos contaminants: Emissions contaminants a l'atmosfera.
- Assequible econòmicament: Cost de mercat baix.
- Flux d'H<sub>2</sub>: Quantitat d'emissió d'hidrogen.

Mètodes		Metalls pesants	Gasos contaminants	Assequible econòmicament	Flux d'H <sub>2</sub>
Experiència 1		Sí	No	Sí	Baix
Experiència 2		Sí	No	Sí	Elevat
Experiència 3		Sí	No	Sí	Elevat
Experiència 4	a	Sí	No	Sí	Nul·la
	b	No	No	Sí	Elevat
Experiència 5		No	No	No	Elevat
Reformat amb vapor		No	Sí	No	Elevat
Fotoconversió directa		No	No	No	Baix

Es pot observar que en les dues últimes files de la taula de resultats apareixen dues experiències no contemplades en l'apartat de metodologia i resultats. Això es deu al fet que per dur-los a terme és necessari un material molt car i una tecnologia molt avançada;

no obstant s'ha cregut oportú tabular els respectius resultats (reflectits als apartats 3.1.1 i 3.2.1) per completar el treball.

Com podem veure, l'experiència més òptima és *l'Experiència 5*, electròlisi PEM, ja que a més de produir un flux elevat d'hidrogen i de no tenir emissions contaminants, la font d'energia que l'alimenti pot ser una energia renovable, com el sol o l'aire. Inconvenientment, aquesta experiència té un cost molt elevat, uns 2.000-2.500 € aproximadament. Tot i això, no es tan car si parlem de la qualitat i funció del producte.

### **6.2.2. Resultats de les experiències per transformar l'hidrogen en energia**

Dels dos mètodes experimentats per la transformació d'hidrogen en energia amb la combustió s'obté directament energia calorífica. Aquesta és molt alta, però poc manejable. En canvi, amb la pila de combustible (PEM), s'utilitza la reacció de síntesi de l'aigua per a poder aconseguir electricitat, un vector energètic que avui en dia se sap controlar molt bé i es pot utilitzar gairebé en tots els àmbits.

## 7. Projecte d'una casa autosuficient energèticament

S'ha volgut fer una aplicació més visual dels resultats utilitzant els mètodes més òptims tant per obtenir hidrogen com per transformar-lo en energia valorats anteriorment, és a dir l'electròlisi PEM (*Experiència 5*) per produir hidrogen i *l'Experiència 7* per transformar aquest hidrogen en electricitat a partir d'una PEMFC. Per això s'ha pensat a fer una maqueta d'una casa autosuficient energèticament.

També s'ha volgut fer una aplicació més social i conèixer l'opinió de la població sobre l'ús de l'hidrogen com a vector energètic i l'aplicació d'aquest en una casa autosuficient energèticament.

### 7.1. Maqueta


S'ha cregut convenient que la casa funcionés energèticament de dues maneres diferents, amb plaques solars les dues:

- Una placa solar produiria l'electricitat pel funcionament quan hi hagi llum solar.
- Una placa solar produiria l'electricitat per fer funcionar un electrolitzador. L'hidrogen produït seria emmagatzemat en un dipòsit tancat i quan s'obrís es transformaria en electricitat a través d'una PEMFC. Aquest mètode s'utilitzaria quan l'energia solar no sigui suficient, normalment a la nit.

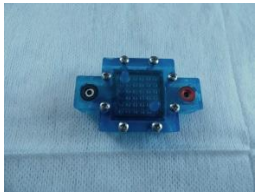




A causa de l'alt cost de *l'Experiència 5*, s'ha substituït per la 4b, que és similar però amb un electrolitzador PEM més econòmic i òbviament amb menys rendiment. A més, amb *l'Experiència 4b* l'hidrogen és net perquè l'energia per electrolitzar-lo prové del sol, i el procés no té cap mena de consum contaminant.

Eines i màquines<sup>6</sup> utilitzades per a realitzar la maqueta: Pistola de silicona, trepant elèctric, broques, alicates, tornavisos, tisores, soldador d'estany, retolador, regle, esquadra, ingletadora, trepant de columna, multifunció i serra de calar.

Els materials ja utilitzats a l'altra experiència no es tornen a descriure: Tubs de silicona, barres de silicona, cargols, cables, estany, equip d'infusió, xeringues, aigua destil·lada, plaques solars, cables amb clavilles, motor amb ventilador, placa electrònica amb leds.

Material	Descripció	Foto
Electrolitzador PEM	Utilitzat per produir hidrogen.  Adquirida a Hidroner, hidrogenos del Nervión Orduña, Biscaia.	 <p>Font pròpia</p>

<sup>6</sup> Veure màquines utilitzades a l'Annex III: Màquines utilitzades a la construcció de la maqueta.

<p>PEMFC</p>	<p>Utilitzada per transformar l'hidrogen en electricitat.</p> <p>Adquirida a Hidroner, hidrogenos del Nervión Orduña, Biscaia.</p>	 <p>Font pròpia</p>
<p>Recipient plàstic</p>	<p>Utilitzat per introduir el circuit elèctric.</p> <p>Adquirit al Shopping Center Rovira i Virgili 26 Tarragona.</p>	 <p>Font pròpia</p>
<p>Connectors femella</p>	<p>Utilitzats per connectar els connectors mascles dels aparells i de les plaques solars.</p> <p>Adquirits a Comercial Electrònica L.P. carrer Mossèn Salvador Ritort i Faus 23 a Tarragona.</p>	 <p>Font pròpia</p>
<p>Connectors mascle</p>	<p>Utilitzats per connectar les plaques solars i aparells al circuit elèctric.</p> <p>Adquirits a Comercial Electrònica L.P. carrer Mossèn Salvador Ritort i Faus 23 a Tarragona.</p>	 <p>Font pròpia</p>
<p>Interruptors</p>	<p>Utilitzats per encendre i apagar les diferents parts del circuit elèctric.</p> <p>Adquirits a Comercial Electrònica L.P. carrer Mossèn Salvador Ritort i Faus 23 a Tarragona</p>	 <p>Font pròpia</p>

Fusta	<p>Utilitzada per fer la maqueta.</p> <p>Adquirit a Fustes Martorell, situat al Polígon Francolí Tarragona.</p>	 <p>Font pròpia</p>
Cola	<p>Utilitzada per enganxar les fustes.</p> <p>Adquirida a Fustes Martorell, situat al Polígon Francolí Tarragona.</p>	 <p>Font pròpia</p>
Pintures	<p>Utilitzades per pintar algunes parts de la maqueta.</p> <p>Cedides per l'escola Sant Rafael de Tarragona.</p>	 <p>Font Pròpia</p>
Papers per decorar	<p>Utilitzats per decorar algunes parts de la casa, terra i algunes parets.</p> <p>Trets d'internet i impresos a casa.</p>	 <p>Font pròpia</p>

### 7.1.1. Construcció de la maqueta

La construcció de la maqueta de la casa autosuficient s'ha realitzat en 3 passos diferents. Al final del procés hi ha un enllaç a la plataforma Youtube, on trobareu un vídeo que resumeix de forma gràfica el procés seguit per elaborar la maqueta.

**Pas 1:** Es va voler comprovar si els mètodes escollits produïen corrent suficient per poder encendre les llums i el motor previstos a la maqueta. El material utilitzat va ser el de la figura 39.



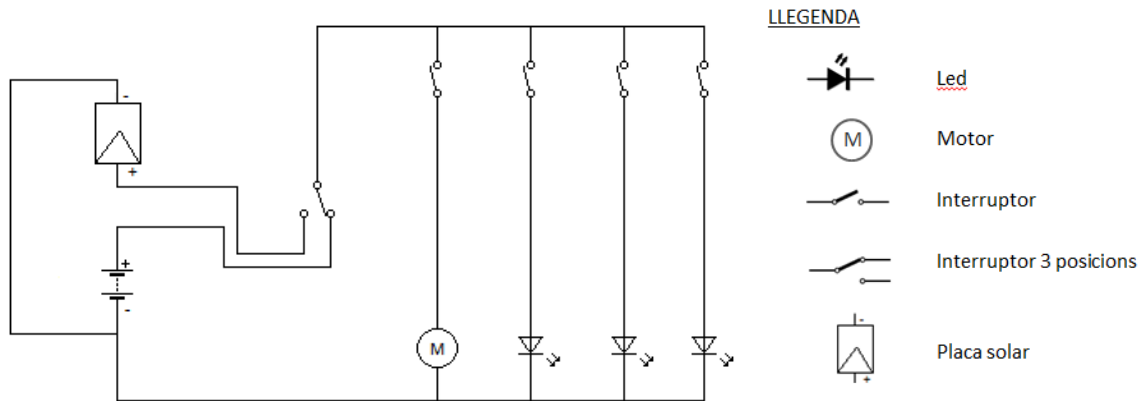


Figura 41: Esquema del circuit elèctric dissenyat. Font pròpia

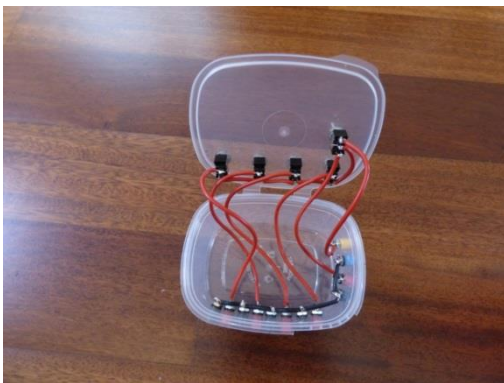


Figura 42: Circuit elèctric dissenyat. Font pròpia

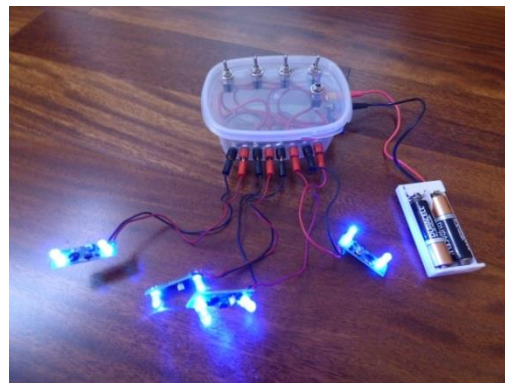


Figura 43: Circuit elèctric en funcionament. Font pròpia

**Pas 3:** Es va dissenyar la casa, es va construir i finalment es va aplicar el circuit elèctric i la tecnologia d'energia autosuficient.

- Disseny de la casa

S'ha dissenyat un pla d'una casa senzilla (figures 44, 45, 46, 47, 48) (10x10,01x3 m). Ha estat necessari conèixer la millor orientació i inclinació de la placa solar. La maqueta s'ha construït a escala 1:25. Les mesures reals de la casa són les següents:

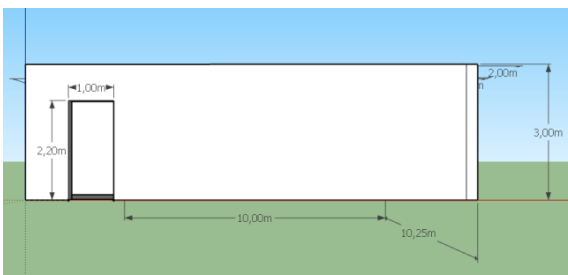


Figura 44: Plànol façana nord. Font pròpia.

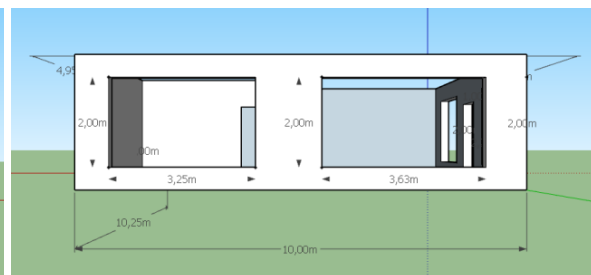


Figura 45: Plànol façana sud. Font pròpia.

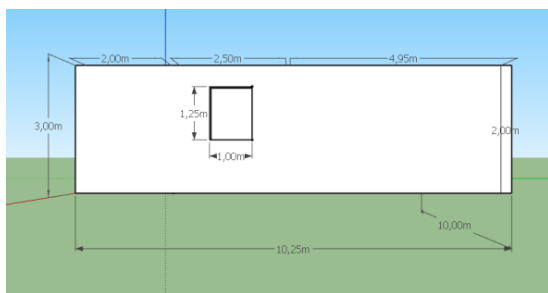


Figura 46: Plànol façana oest . Font pròpia.

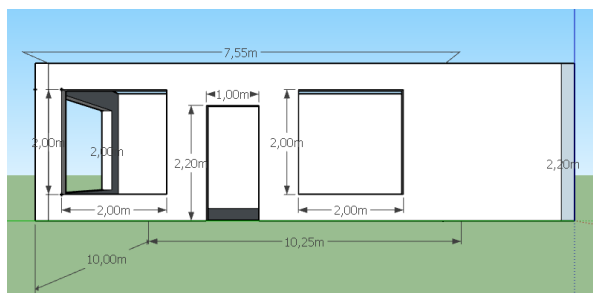


Figura 47: Plànol façana est. Font pròpia.

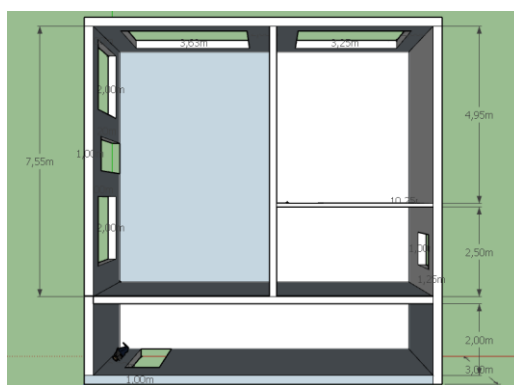


Figura 48: Planta de la casa. Font pròpia.

- Construcció de la casa

Per a la construcció de la casa s'han seguit una sèrie de passos<sup>8</sup>:

- Dissenyar l'estructura de la casa i fer els plànols.
- Realitzar els càlculs pertinents per a fer la construcció a escala 1:25
- Tallar les fustes a les mides necessàries.
- Pintar algunes parets i enganxar les imatges del terra i algunes parets.
- Muntar l'estructura de la casa utilitzant cargols i cola.
- Construir la teulada de manera que es pugui treure en dues parts.
- Enganxar els leds i el motor al sostre, i entre el sostre i la teulada realitzar la instal·lació elèctrica.
- Connectar els cables de la instal·lació al circuit realitzat anteriorment. Connectar el sistema elèctric instal·lat a l'electròlisi PEM a partir de l'energia solar i a la pila de combustible PEM (mètode nocturn).
- Construir el tanc per l'emmagatzemat de l'hidrogen.
- Comprovar el seu funcionament.
- Connectar el sistema elèctric a la placa solar (mètode diürn).
- Comprovar el seu funcionament
- Connectar el sistema elèctric a la tecnologia autosuficient

Vídeo resum: <https://youtu.be/gkyH3xKP4-E> Música: Walk of life – Dire Straits

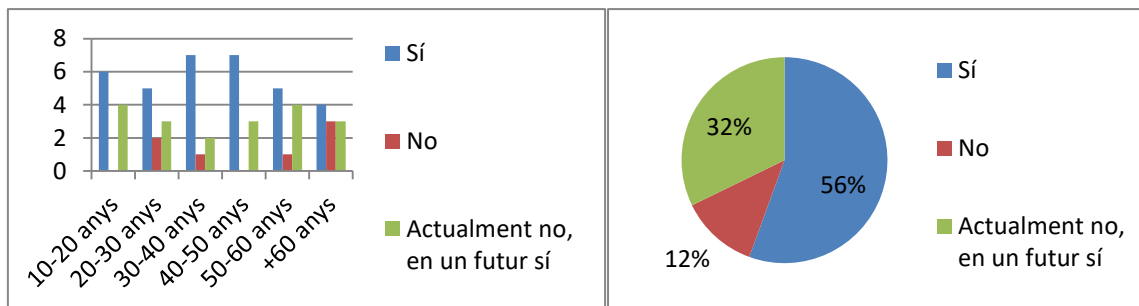
<sup>8</sup> Veure Annex V: Procés de construcció de la maqueta

## 7.2. Què opina la població?

S'ha preparat una enquesta<sup>9</sup> per tal de conèixer i valorar l'opinió de la població sobre la casa autosuficient i sobre l'hidrogen com a vector o vehicle energètic. S'ha agafat una mostra representativa de 60 persones, cinc homes i cinc dones de cada franja d'edat: de 10 a 20 anys, de 20 a 30 anys, de 30 a 40 anys, de 40 a 50 anys, de 50 a 60 anys i de més de 60.

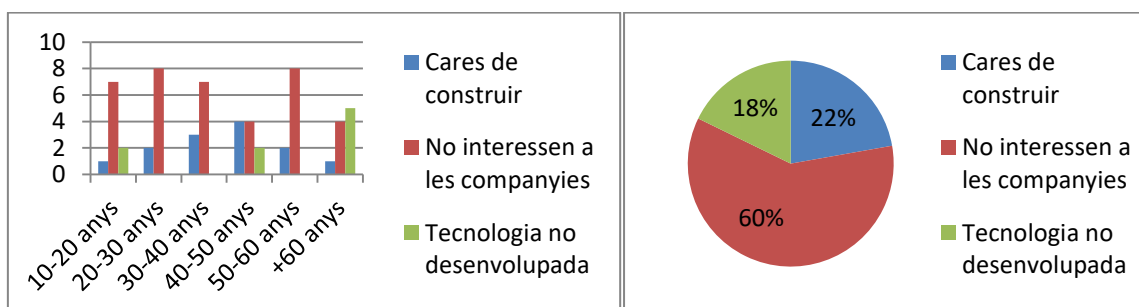
S'han elaborat dos gràfics per a cada pregunta, un de barres i un de sectors. El gràfic de barres recull els resultats per franges d'edats, mentre que el de sectors recull els resultats totals.

### 1. Una casa autosuficient energèticament és capaç de generar l'energia que necessita consumir. Creu que avui en dia aquesta casa és possible?



La primera pregunta pretenia posar en context a la persona enquestada, i apreciar el seu raonament sobre la possibilitat de crear aquestes cases. Generalment totes les edats tenen uns resultats similars. El 56% dels enquestats creuen que sí és possible, mentre que hi ha un 32% que no. La resta creuen que en un futur es podran desenvolupar.

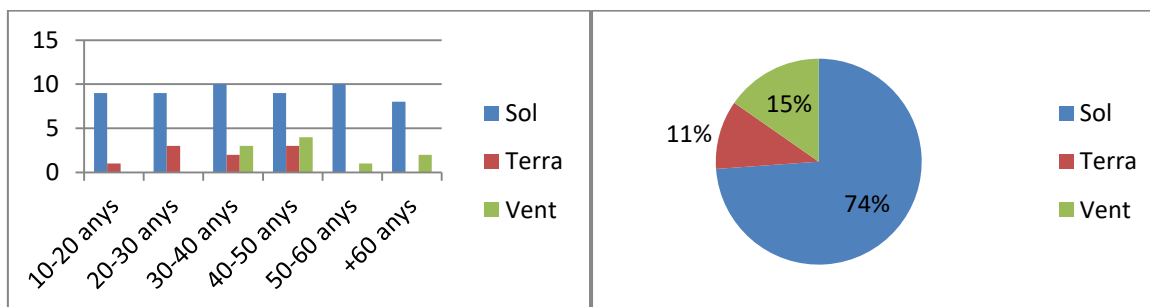
### 2. Per què creu que aquestes cases no estan a la venda o no es construeixen?



Majoritàriament es creu que aquestes cases no estan a la venda perquè no interessa a les companyies subministradores d'energia, la qual cosa no és del tot certa, doncs aquesta només és una de les moltes aplicacions que té l'hidrogen com a vector energètic, i avui en dia no se n'observen gaires. Cal destacar el salt generacional que s'observa amb les persones majors de 60 anys, que van suggerir que la tecnologia per a construir-les no estava suficientment desenvolupada.

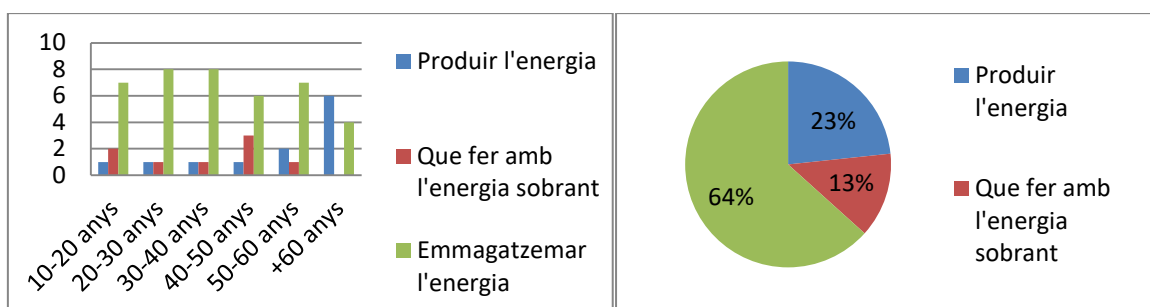
<sup>9</sup> Veure model d'enquesta a l'annex VI: Model d'enquesta

### 3. D'on creu que surt l'energia perquè una casa sigui autosuficient?



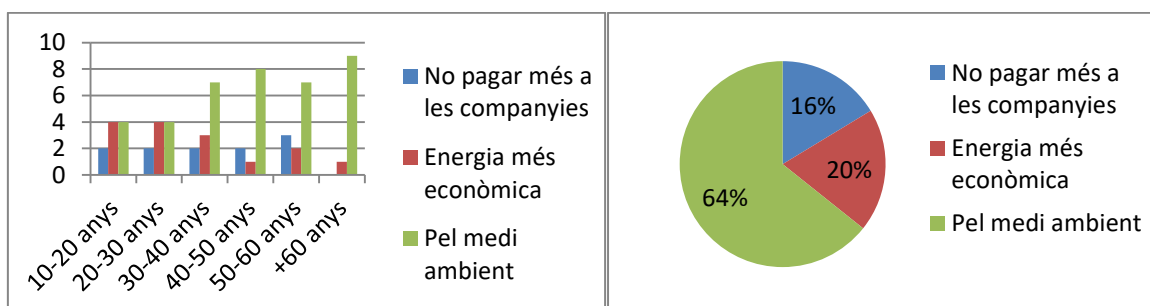
Amb aquesta pregunta es volia saber el coneixement de la població sobre les fonts d'energia renovables, ja que avui en dia en tenim una concepció desfigurada. Com es pot veure, el 74% dels enquestats van creure que l'energia sortia de l'energia solar, deixant de banda l'energia eòlica i sobretot la geotèrmica.

### 4. Quin creu que és el problema principal d'una casa autosuficient?



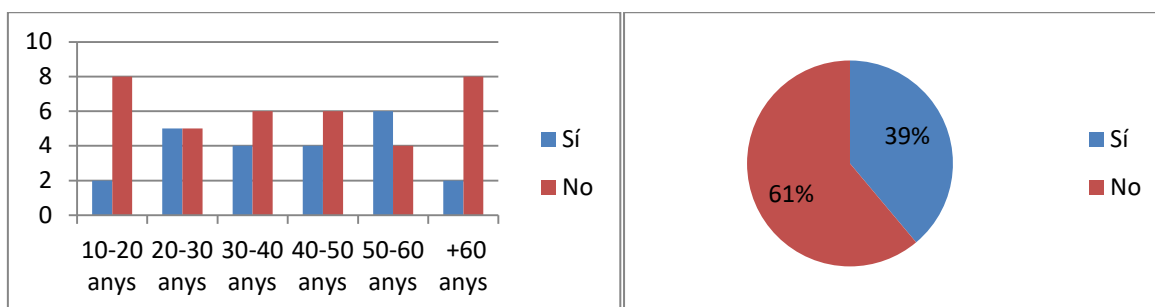
El problema principal escollit va ser emmagatzemar l'energia, seguit de produir energia amb un 23%. Aquí de nou, es pot veure el salt generacional amb els majors de 60, que encara creuen que produir energia és el problema principal.

### 5. Si pogués comprar una casa autosuficient per què ho faria?



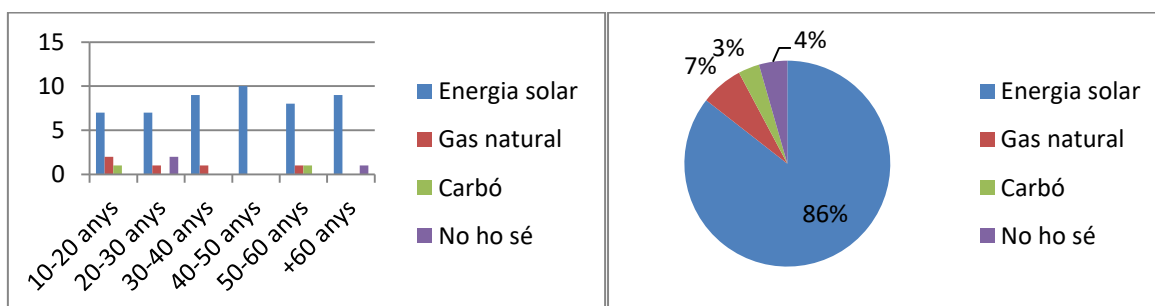
La majoria de la població voldria adquirir una casa autosuficient per a poder contribuir i afavorir el medi ambient, evitant el consum de combustibles fòssils o generant gasos d'efecte hivernacle. Tot i això, és sorprenent com a les noves generacions hi ha certa igualtat entre afavorir el medi ambient i l'interès econòmic, ja que han rebut una educació bastant enfocada a la contaminació i tot el que això comporta.

**6. Avui en dia s'està desenvolupant una tecnologia basada en l'hidrogen (H<sub>2</sub>) per a produir electricitat, desprenent com a únic residu aigua. Havia sentit parlar abans d'aquesta tecnologia com l'energia del futur?**



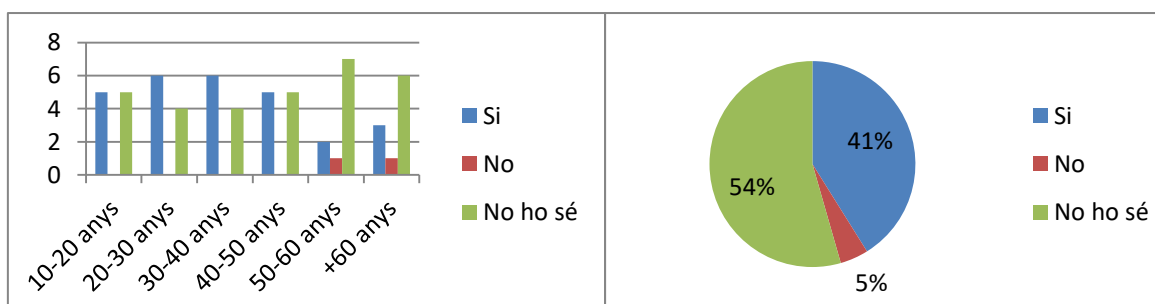
Amb aquesta pregunta es pretenia posar en context a la persona enquestada i veure la repercussió que hi ha sobre els avenços tecnològics a la societat. Tan sols un 39% n'havia sentit a parlar de l'hidrogen com a vector energètic però, tot i això, els medis digitals han escrit nombroses notícies que impliquen d'una forma més o menys directa aquesta tecnologia.<sup>10</sup>

**7. Com creu que és millor produir aquest hidrogen?**



Amb aquesta pregunta es volia saber quin dels tres mètodes principals de producció d'hidrogen creu la població que és millor per a aplicacions posteriors, com un cotxe d'hidrogen o una casa autosuficient energèticament.

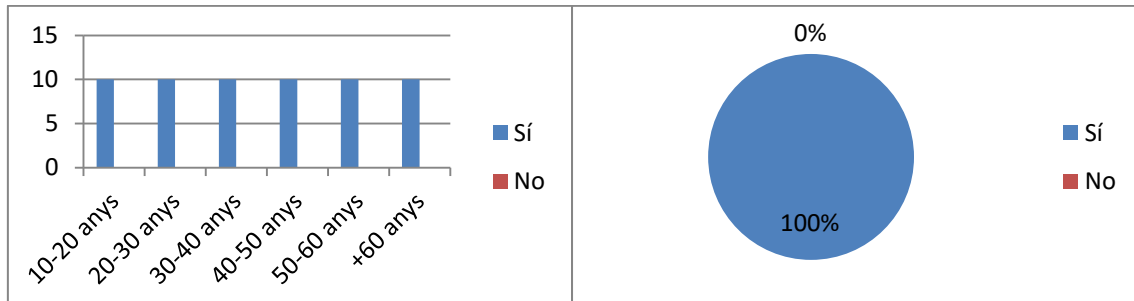
**8. Creu que aquesta tecnologia podria abastir les necessitats energètiques d'una casa autosuficient?**



<sup>10</sup> Veure Annex VI : Recull de notícies.

Com era d'esperar, davant del desconeixement d'aquesta tecnologia, els enquestats es van abstenir de confirmar si aquesta tecnologia podria abastir les necessitats energètiques d'una casa autosuficient.

### 9. Li agradaria tenir una casa autosuficient energèticament?



Tots els enquestats van afirmar que els hi agradaria tenir una casa autosuficient. Alguns d'ells fins i tot van preguntar quants anys creia que faltaven per a poder assolir-ne una.

## 8. Conclusions

Al llarg del treball s'ha donat resposta als objectius plantejats a l'inici.

S'han aprofundit i ampliat els coneixements sobre l'hidrogen i el seu ús, i així, s'ha estudiat i comprès la utilització com a vector energètic. Això s'ha aconseguit durant la introducció i la recerca bibliogràfica. També s'han obtingut coneixements sobre els mètodes de producció d'hidrogen i de la seva transformació en energia a partir de la recerca d'informació, d'una sèrie d'experiències i d'una estada a l'ICIQ.

Posteriorment s'ha estudiat i comparat l'ús de l'hidrogen com a vector energètic, des de la seva producció fins a la seva transformació en energia. Així, s'ha pogut confirmar que tal com deien les fonts consultades i els mitjans de comunicació, és una tecnologia innovadora que està revolucionant el món, i només acaba de començar. A poc a poc s'està convertint en un competidor directe de les fonts d'energia actuals, com el gas natural i el petroli. Tot i això, atenent l'estudi realitzat, i les propietats físiques de l'hidrogen es poden observar algunes particularitats davant d'altres combustibles:

- Entre els avantatges, cal destacar que és un combustible especialment segur quan es treballa en espais oberts perquè a causa de la seva baixa densitat és extremadament volàtil i impedeix que es formin grans concentracions a l'aire. A més no és tòxic, i com que els límits inferiors d'inflamabilitat i detonació són alts és difícil que es produeixi en concentracions pobres.

- Entre els inconvenients es poden mencionar que la seva alta densitat energètica per unitat de massa el fa perdre seguretat, i a més, té una baixa densitat energètica per unitat de volum. Aquí es troba el principal inconvenient d'aquesta tecnologia, l'emmagatzematge d'hidrogen, ja que el seu gran volum és difícil de controlar i té una baixa energia d'activació, per tant, pot fer que qualsevol espurna activi una reacció no desitjada. A més, la seva baixa temperatura de líquüefacció complica l'emmagatzematge i l'ínfima mida de les seves molècules provoca que amb el pas del temps s'escapin amb facilitat. Així, com que és invisible i inodor, els escaps són indetectables pels sentits i la seva flama és poc visible a la llum del dia. Com s'ha pogut veure, és menys segur que altres combustibles en espais tancats.

Pel que fa a la producció d'hidrogen s'han estudiat experimentalment cinc dels diferents mètodes que existeixen. Els altres no es van poder realitzar per problemes econòmics o tecnològics. L'estudi d'aquests últims ha consistit en la recerca d'informació, que es troba a l'apartat 3 *Mètodes de producció d'hidrogen*.

D'entre tots ells s'ha triat el que s'ha cregut òptim segons uns paràmetres qualitius que ens indicaven els seus avantatges i inconvenients. L'electròlisi PEM (*Experiència 5*), encara que té un valor de mercat bastant elevat, és el més òptim perquè no produeix cap emissió contaminant i el flux d'hidrogen que genera és elevat. A més, aquesta tecnologia permet que l'hidrogen sigui generat a partir d'energia solar, per la qual cosa el cicle de producció del gas també és net.

L'estudi de la transformació d'hidrogen en energia ha estat més senzill perquè només hi ha dos mètodes coneguts: la combustió i les piles de combustible. Com a mètode òptim es va escollir les piles de combustible, ja que permeten convertir l'hidrogen en electricitat, la qual es pot utilitzar per a moltes funcions. L'únic cas en què seria millor utilitzar la combustió és a la siderúrgia, ja que l'H<sub>2</sub> té un poder calorífic molt elevat.

Finalment, es va voler fer una aplicació tecnològica i divulgativa del tema tractat. Així, es va escollir aplicar l'estudi de l'H<sub>2</sub> a una casa (casa autosuficient energèticament). Es va realitzar una enquesta i es va dissenyar un model a escala.

L'enquesta es va realitzar a una mostra de 60 persones (30 homes i 30 dones) de diverses edats. Majoritàriament els enquestats no coneixien aquesta tecnologia, per tant l'enquesta va ajudar a explicar-la i divulgar-la. Segons els resultats, com a primer impacte va sorprendre que la població confia cegament en l'ús de la tecnologia de l'hidrogen aplicada a una casa, ja que pocs enquestats la coneixien però el 100% va afirmar que li agradaria gaudir d'una casa autosuficient energèticament com la que es plantejava.

El disseny de la maqueta no va ser una feina fàcil. Inicialment, el mètode de producció d'hidrogen més òptim no es podia aplicar pel seu alt preu, i es va desestimar. Per a substituir-lo, es va utilitzar una altra experiència similar d'electròlisi PEM (*Experiència 4b*). Després es va haver de dissenyar un circuit elèctric i, finalment aplicar-ho a la maqueta construïda a escala. Hi va haver alguns imprevistos, com l'emmagatzematge d'hidrogen que, degut al seu gran volum, va portar a dissenyar un tanc més gran.

La construcció de la maqueta és simbòlica, ja que es podria haver escollit una altra aplicació, però es va creure que aquesta proximitat entre la part innovadora (tecnologia de l'hidrogen) i la quotidianitat donaria més fermesa al projecte. El regulador del flux d'hidrogen, o el centre de control extern, només tenen sentit a la maqueta. En una aplicació real, això es faria des de l'interior de la casa i fins i tot, de manera automàtica. Si algun dia aquesta casa es volgués portar a terme, caldria realitzar algunes millores per a fer-ho més dinàmic i còmode pel resident.

Aquest projecte pot millorar molts dels problemes energètics d'avui en dia com la contaminació o l'escassetat dels combustibles fòssils, ja que el seu combustible principal és la substància més abundant del nostre planeta: l'aigua. A més en aquest treball només s'ha realitzat una de les seves aplicacions, però n'hi ha moltes més.

En conclusió, aquesta tecnologia està iniciant una revolució que caldrà veure com es desenvolupa al llarg dels pròxims anys i que a Juli Verne segur que hagués agradat presenciar per observar com els seus pensaments es fan realitat en una font inesgotable d'energia.

## 9. Valoració personal

Aquest treball m'ha servit molt per adquirir uns coneixements sobre l'hidrogen com a vector energètic i sobre l'hidrogen en general, és a dir, sobre la indústria actual i els mètodes de producció. També m'ha ajudat a aprendre com cercar informació i aprofitar-la al màxim.

La realització de les experiències i l'estada a l'ICIQ m'han sigut de gran ajuda per a saber com és investigar sobre un tema i estar dintre d'un equip de laboratori. Pel que fa a la construcció de la maqueta m'ha servit per aprendre a plasmar els coneixements adquirits d'una forma més tecnològica. El fet que m'ha obligat a fer replantejaments contínuament per aconseguir el funcionament desitjat m'ha fet aprendre que fins a trobar la solució final has d'haver fet molts errors. Hagués estat més fàcil aplicar els coneixements sobre un taulell de fusta o similar, ja que els problemes haguessin sigut menors i hauria mostrat el mateix. Es va creure que era millor plasmar-ho en un cas quotidià per tal que l'estudi tingués més sentit. L'enquesta m'ha fet adonar dels diferents pensaments de la població i l'esperança cega que tenim avui en dia sobre la tecnologia, ja que poca gent coneixia aquest ús de l'hidrogen però molts ja hi confiaven.

Finalment, s'agraeix a l'ICIQ i al Dr. José Ramón Galán-Mascarós i Dr. Álvaro Reyes per permetre l'estança al seu "Research group", ensenyar-me molts coneixements necessaris i ajudar-me a realitzar diverses parts del treball al seu laboratori. També agrair a l'escola Sant Rafael per cedir les eines, i al professor Carlos Gassó Martínez per ajudar i assessorar en la construcció de la maqueta.

## 10. Bibliografia

### Llibres consultats

AGUER HORTAL, M i A.L. MIRANDA BARRERAS. *El hidrógeno: Fundamento de un futuro equilibrado*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, 2007. Segona edició.

LINARES HURTADO, J.I. i B.Y. MORATILLA SORIA. *El hidrogeno y la energía*. Madrid: Comillas, 2007. Colección Avances de Ingeniería.

VARIS AUTORS. *Energías renovables biológicas-Hidrógeno-Pilas de combustible*. México D.F.: Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, 2008. Primera edició.

### Treballs consultats

ALMARZA CANO, J. Diseño y fabricación de una pila de combustible de hidrógeno de baja potencia. Proyecto de fin de carrera. Universitat Politècnica de Catalunya. Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa. Departament d'Enginyeria Mecànica. Terrassa 2010.

FERÁNDEZ-BOLAÑOS BADIA, C. Energética del Hidrógeno, contexto, estado actual y perspectivas de futuro. Proyecto fin de carrera. Departamento de Energética y Mecánica de Fluidos. Escuela Superior de Ingenieros. Universidad de Sevilla. Sevilla 2005.

GONZALEZ BESA, Y. *Producción de hidrógeno a partir de energía solar fotovoltaica. Análisis de sensibilidad de parámetros de diseño*. Trabajo de fin de master. Departamento de Ingeniería Energética. Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Universidad de Sevilla. Sevilla, 2016.

RICÓN RUIZ, X. *Estudio sobre la aplicación de hidrógeno como combustible alternativo a bordo de buques*. Proyecto final de carrera. Facultat de Nàutica de Barcelona. Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona, 2014.

TRILLO LEÓN, E. *Electrólisis PEM de baja temperatura y sus aplicaciones industriales*. Escuela Superior de Ingeniería. Universidad de Sevilla. Dpto. de Ingeniería Energética. Sevilla 2016.

VAN DE KROL, R. i B.A. PARKINSON. *Perspectives on the photoelectrochemical storage of solar energy*. MRS Energy & Sustainability: A Review Journal page 1 of 11.© Materials Research Society, 2017.

### Pàgines web consultades:

3ª Guía Inventario Sectorial del Hidrógeno y las Pilas de Combustible en España.  
[http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_10760\\_3a\\_Guia\\_sectorial\\_Hidrogeno\\_y\\_Pilas\\_Combustible\\_08\\_edac888d.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10760_3a_Guia_sectorial_Hidrogeno_y_Pilas_Combustible_08_edac888d.pdf)

CENTRO ATÓMICO BARILOCHE, *Hidrogeno-H<sub>2</sub>*  
[http://ing.unne.edu.ar/pub/celdas\\_hidrogeno.pdf](http://ing.unne.edu.ar/pub/celdas_hidrogeno.pdf)

COMISIÓ EUROPEA, *La energía del hidrogeno y las Pilas de combustible*  
[http://www.agenergia.org/wp-content/uploads/2018/05/1234284228\\_Energ\\_a\\_Hidr\\_geno\\_Pilas\\_Combustible\\_EC\\_06.pdf](http://www.agenergia.org/wp-content/uploads/2018/05/1234284228_Energ_a_Hidr_geno_Pilas_Combustible_EC_06.pdf)

*El hidrógeno ¿Un futuro portador energético?*  
[https://www.slb.com/~media/Files/resources/oilfield\\_review/spanish05/sum05/p34\\_47.pdf](https://www.slb.com/~media/Files/resources/oilfield_review/spanish05/sum05/p34_47.pdf)

Dr. LÓPEZ MARTÍNEZ, JOSÉ M<sup>a</sup>. *El hidrogeno y el transporte sostenible*  
[https://www.aec.es/c/document\\_library/get\\_file?p\\_l\\_id=51544&folderId=101635&name=D\\_LFE-5433.pdf](https://www.aec.es/c/document_library/get_file?p_l_id=51544&folderId=101635&name=D_LFE-5433.pdf)

DE JESÚS ALCAÑÍZ, ERNESTO. *El hidrógeno y sus compuestos*  
[http://www3.uah.es/edejesus/resumenes/QI/Tema\\_5.pdf](http://www3.uah.es/edejesus/resumenes/QI/Tema_5.pdf)

GUTIÉRREZ JODRA, LUIS. *El hidrógeno, combustible del futuro*  
<http://www.rac.es/ficheros/doc/00447.pdf>

Instituto de ciencia i de materiales de Aragón (ICMA). *Hacia fuentes de energía “más limpias”*. <http://digital.csic.es/bitstream/10261/48188/1/pdfceldascomb%5B1%5D.pdf>

LORENZO, EDUARDO. *Por qué no consigo soñar con el hidrógeno solar*.  
<http://www.censolar.org/hidrogen.pdf>

Revista “Energías Renovables”. Hidrógeno y pila de combustible.  
<https://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/cuadernos-energias-renovables-para-todos-hidrogeno-y-pila-de-combustible.pdf>

DR. JUSTO LOBATO. *El hidrógeno como estrategia de especialización en nuevas tecnologías de energía*. <https://docplayer.es/532651-Dr-justo-lobato-justo-lobato-uclm-es.html>

Universitat Politècnica de Barcelona (UPC). *Anexo I: El hidrógeno*.  
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/7538/Anexo%20I%20-%20EI%20hidrogeno.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Revista “Nanotecnología”. *Semiconductores basados en bismuto para la producción de hidrógeno*.  
<https://nanotecnologia.fundaciontelefonica.com/2017/04/19/semiconductores-basados-en-bismuto-para-la-produccion-de-hidrogeno/>

# ANNEXOS



## Annex I: Història de l'hidrogen

L'hidrogen diatòmic gasós, H<sub>2</sub>, va ser formalment descrit per primera vegada fa 500 anys per T. Von Hohenheim, més conegut com a Paracels, que el va obtenir artificialment barrejant metalls amb àcids forts. Paracels no era conscient que el gas inflamable generat en aquestes reaccions era un nou element químic. El 1671 Robert Boyle va redescobrir i descriure la reacció que es produïa entre llimadures de ferro i àcids diluïts, i que generava hidrogen gasós.

El 1766, Henry Cavendish va ser el primer a reconèixer l'hidrogen gasós com una substància discreta, identificant el gas produït en la reacció metall-àcid com "aire inflamable" i descobrint que la combustió del gas generava aigua. També va ser capaç de descriure amb precisió diverses propietats d'aquest element.

El 1783 Antoine Lavoisier va donar a l'element el nom d'hidrogen del grec "aigua, generador" quan va comprovar juntament amb Laplace que la combustió del gas generava aigua.

El 1800 s'obté per primera vegada hidrogen i oxigen per l'electròlisi de l'aigua.

El 1820 es realitza un dels primers experiments de l'ús d'hidrogen com a combustible per a màquines.

El 1820 es proposa la primera cel·la de combustible, tecnologia per l'ús de l'hidrogen. A partir del 1879 es comença a parlar de la producció d'hidrogen a partir d'aigua utilitzant electricitat així com un ampli ús de l'hidrogen.

El 1898 s'aconsegueix la líquefacció de l'hidrogen.

Cap al 1920 es desenvolupen les primeres idees sobre automòbils i màquines mogudes per hidrogen.

El 1923 Haldane pronostica que l'electricitat de l'energia eòlica podria utilitzar-se per electritzar aigua obtenint hidrogen i oxigen, i aquests es podrien liquar i emmagatzemar per ser el combustible del futur.

El 1927 es fan les primeres demostracions del possible ús d'hidrogen com a combustible per avions.

El 1928 Rudolf Erren obté la primera patent d'un motor d'hidrogen i el 1930 es construeix el primer prototip d'automòbil mogut per hidrogen.

El 1932 Lawacsek desenvolupa l'enginyeria bàsica de vehicles moguts per hidrogen i suggereix que l'hidrogen es podria transportar per gasoductes similars als utilitzats pel gas natural.

El 1937 es produeix el desastre del dirigible Hindenburg, el que va suposar el fi de l'ús directe de l'hidrogen en aeronàutica.

El 1939 un equip d'investigadors elabora un sistema multi-combustible per automòbils que poden usar tant benzina com hidrogen.

El 1948 King publica el seu conegut treball sobre l'ús de l'hidrogen en automòbils.

El 1950 Thomas Bacon desenvolupa les primeres cel·les de combustible comercials per aplicacions pràctiques que després modifica la NASA per les aplicacions espacials.

El 1962 Bockris proposa utilitzar a plataformes marines cel·les electroquímiques per electrolitzar l'aigua del mar i subministrar l'hidrogen obtingut a les ciutats.

El 1963 es llancen els primers coets espacials impulsats per una barreja d'hidrogen i oxigen líquid.

El 1968 es van presentar models amb l'hidrogen com combustible. La NASA va dirigir els seus estudis als aspectes econòmics de la producció a gran escala d'hidrogen líquid.

Durant els anys 70 es va buscar una economia basada en l'hidrogen per solucionar el problema energètic plantejat per la disminució de fonts de combustibles fòssils per la demanda creixent d'energia i el deteriorament del medi ambient, així es crea l'associació internacional de l'hidrogen.

El 1974 es realitza la primera conferència mundial sobre l'energia de l'hidrogen, que s'ha anat portant a terme cada dos anys i l'última es va realitzar l'any 2016 a Saragossa.

Actualment la producció, transport, emmagatzematge i ús de l'hidrogen es continua investigant i discutint en conferències, llibres, estudis, diaris, etc. . Existeixen diverses associacions relacionades amb l'hidrogen, una internacional, una americana, una europea i moltes nacionals.

## Annex II: Caracterització de la cèl·lula

### Corba de polarització

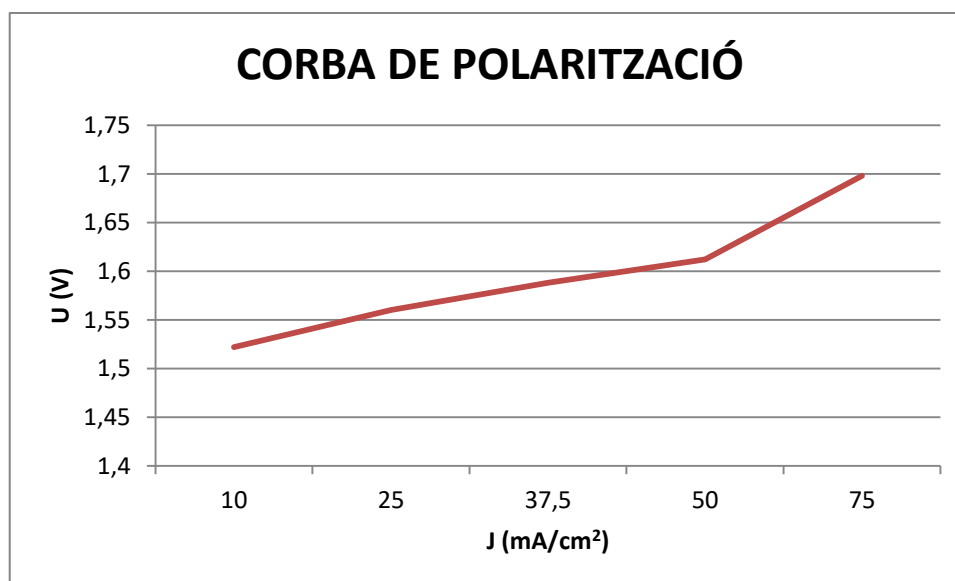
Al gràfic següent podem veure que a l'eix de les ordenades, trobem el potencial de la cèl·lula en mV. Podríem dir que el potencial és la variable dependent i mentre que la densitat de corrent varia.

La densitat de corrent s'aconsegueix aplicant una intensitat (mA) i dividint-la entre l'àrea de la membrana d'intercanvi protònic (PEM). En el nostre cas són  $6,25 \text{ cm}^2$ .

Exemple:  $I=62,5 \text{ mA}$        $j(\text{mA}/\text{cm}^2)= 62,5/6,25 =10 \text{ mA}/\text{cm}^2$

Perquè un procés electrolític sigui més eficient, es deuen reduir les pèrdues d'energia. Això generalment es fa augmentant la densitat de corrent per sobre dels valors normals utilitzats en els electrolitzadors. D'aquesta manera s'aconsegueix baixar el cost de la inversió.

La densitat de corrent és aproximadament proporcional a l'àrea dels elèctrodes, per això s'utilitza el flux a l'hora de fer el gràfic. A més que el flux permet especificar les característiques de la cèl·lula al gràfic.



Com podem veure, un augment de la densitat de corrent inevitablement comporta un augment del voltatge total de la cèl·lula. Per a disminuir-ho cal disminuir els sobrepotencials.

El potencial ideal seria el següent, on ° indica condicions estàndard (1 atm i 25° C). Els potencials de reducció a medi àcid s'extreuen d'una taula on cada reacció té el seu.

$$E^{\circ} = E^{\circ}_{\text{càtode}} - E^{\circ}_{\text{ànode}} = 0 - (-1,23) = 1,23 \text{ V}$$

Mitja reacció				
Càtode	$2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$	$\rightarrow$	$\text{H}_2(\text{g})$	0.00 V
Ànode	$\text{H}_2\text{O}$	$\rightarrow$	$\frac{1}{2} \text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$	-1,23 V
Total	$\text{H}_2\text{O}$	$\rightarrow$	$\frac{1}{2} \text{O}_2 + \text{H}_2$	1,23 V

Però, realment, hi ha una sèrie de sobrepotencials que en depenen de la densitat de corrent que s'aplica, la temperatura de l'aigua i altres paràmetres interns que en són:

$$V = E^{\circ} + V_{\text{sobrepotencials}} = V_{\text{òhmica}} + V_{\text{activació}} + V_{\text{transport}}$$

$E^{\circ}$  es el potencial electroquímic o "en circuit obert" que es desenvolupa a partir de l'equació de Nerst.

$$E = E^{\circ} - \frac{RT}{nF} \ln(Q)$$

$V_{\text{òhmica}}$  és el sobrepotencial per la resistència elèctrica dels col·lectors de corrent i la resistència de la membrana.

$V_{\text{activació}}$  és el sobrepotencial per l'activació de la reacció, és a dir l'energia que s'ha de subministrar perquè comenci la reacció d'oxidació de l'aigua.

$V_{\text{transport}}$  és el sobrepotencial per les resistències associades al transport dels gasos i de l'aigua a través dels medis porosos, les GDL.

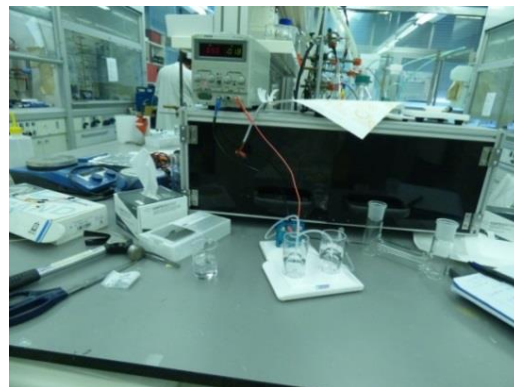
Aquests sobrepotencials es poden minimitzar amb un correcte disseny de la membrana i amb una temperatura adequada, que sol ser de 80° C, per ser l'òptima per a l'operació d'electrolitzadors i piles de combustible.

## Comprovació de les dades de la cèl·lula

### - Experimentalment:

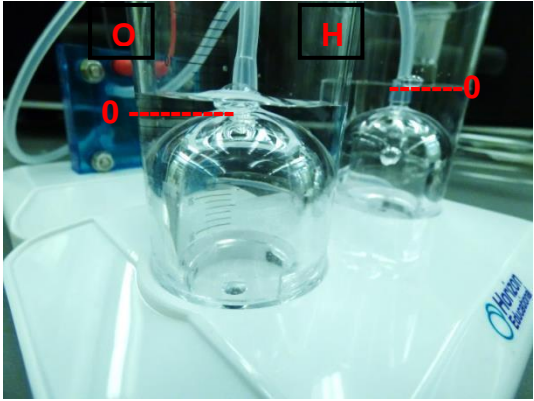
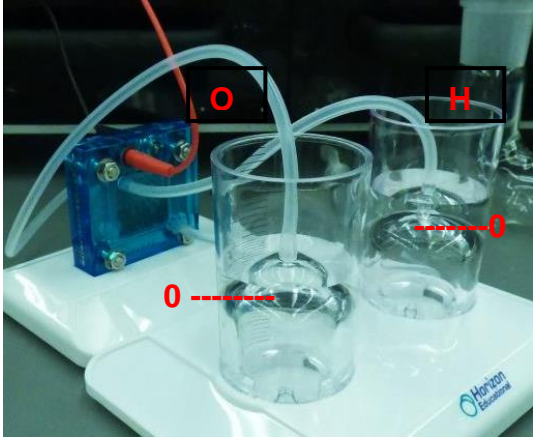
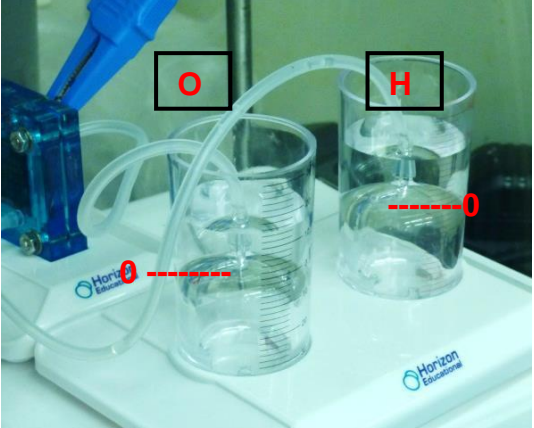
Al laboratori de l'ICIQ, i amb l'ajuda d'Álvaro Reyes, vam portar la cèl·lula PEM fins als seus límits d'intensitat i de tensió, sense superar els 0,7 A i 2 V recomanats per l'empresa dels kits.

Al portar l'electrolitzador PEM al límit, es va observar experimentalment que la producció d'hidrogen s'aproximava a 5ml/min i la d'oxigen a 2,5 ml/min, tal com s'indicava a la taula de característiques tècniques. Amb la font intel·ligent es va proporcionar 0,65 A i 1,8 V.



CAR

**Funcionamiento como electrolizador**  
 Tensión entrada.....1,7V – 3V (DC)  
 Consumo.....0,7 A @ 2 V  
 Producción media de hidrógeno.....5ml/min.  
 Producción media de oxígeno.....2,5 ml/min.

Temps	H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	
1 min	4,8 ml	2,4 ml	
3 min	15 ml	7,5 ml	
6 min	15 ml	15 ml	

- Matemàticament:

Dades experimentals	I = 0,65 A
	1 C = 1 A·s 0,65 A x 60 s = 39 C
Dades capsa	I = 0,7 A
	5 ml/min

Llei de Faraday

$$m = \frac{Q}{F} \cdot \frac{M}{z}$$

M= g substància produïda al elèctrode

Q= Carrega que passa per la solució

F = constant de Faraday (96 500 C)

M= massa molar

Z= electrons per ió

1 Faraday correspon a un mol d'electrons. Per tant a la nostra reacció 1 mol d'H<sub>2</sub> (substància produïda a l'elèctrode) conté 2 mols d'electrons, així la fórmula adaptada seria:

$$m = \frac{Q}{2F} \cdot \frac{M}{z}$$

$$m = \frac{39}{2 \cdot (96\,485,34)} \cdot \frac{1}{1} = 0,2 \cdot 10^{-3} \text{ g H}_2$$

Llei gasos ideals

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

$$1 \cdot V = 0,2 \cdot 10^{-3} \cdot 0,082 \cdot 294$$

$$V = 0,00487 \text{ L} = 4,87 \text{ ml}$$

$$P = 1 \text{ atm.}$$

$$T = 21^\circ\text{C} = 294 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$0,2 \cdot 10^{-3} \text{ g H}_2 \cdot \frac{1 \text{ mol}}{1 \text{ g}} = 0,2 \cdot 10^{-3} \text{ mols H}_2$$

Després de fer els càlculs apropiats, ens adonem que les dades de la capsa realment s'aproximen a les experimentals. No vam proporcionar el màxim amperatge possible perquè no volíem forçar la cèl·lula fins als seus extrems, però amb aquests càlculs podem aproximar que les dades de la cèl·lula són certes.

## Annex III: Màquines utilitzades a la construcció de la maqueta

Ingletadora: Utilitzada per tallar fustes rectes i en angle. Fonamentalment per tallar els llistons.



Trepant de columna: Utilitzat per fer forats a la fusta amb més precisió que un trepant normal.



Multifunció: Utilitzada per tallar taulells de fusta i llistons, per fer ranures als llistons i tallar en angle.



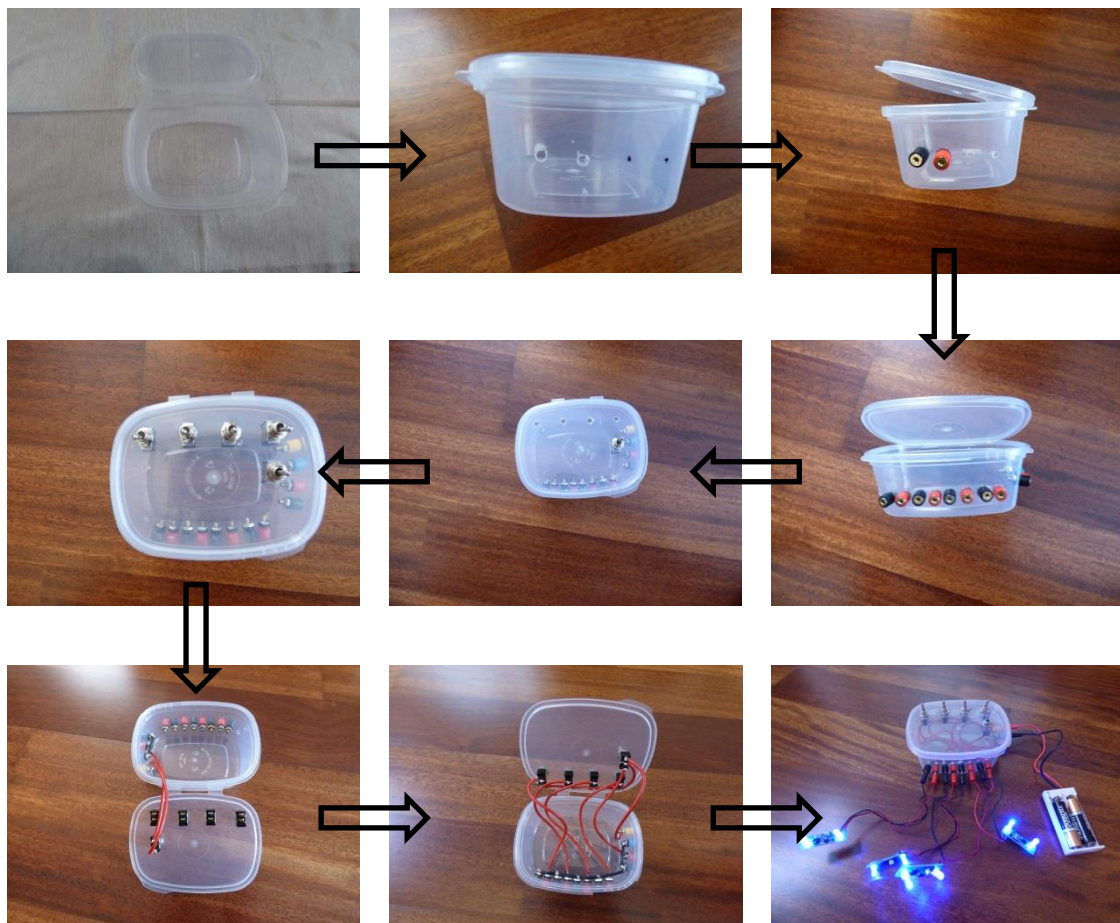
Serra de calar: Utilitzada per tallar fustes amb forma.



## Annex IV: Construcció del circuit elèctric

Per a la construcció i disseny del circuit elèctric s'han seguit una sèrie de passos:

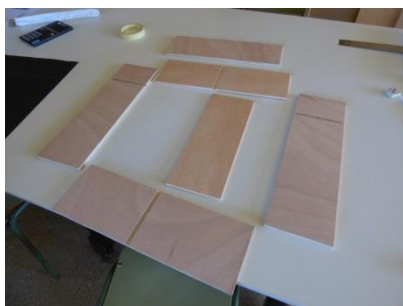
- Dissenyar un esquema del circuit elèctric i conèixer com s'aplicarà al muntatge.
- Senyalar amb un retolador els punts de la capsa on es faran els forats. (8 forats a la part llarga i 4 a la lateral)
- Foradar la capsa amb l'ajuda d'un trepant.
- Col·locar les entrades elèctriques a cadascun dels forats, alternant vermell i negre.
- Un cop col·locades les entrades elèctriques, fer de nou 5 forats a la tapa pels interruptors. (4 en línia recta, i un en L)
- Col·locar els interruptors de dues posicions als 4 forats en línia recta i el de tres al que està sol.
- Soldar els cables amb estany i soldador als interruptors i a les clavilles d'acord amb l'esquema realitzat.
- Comprovar el seu funcionament.



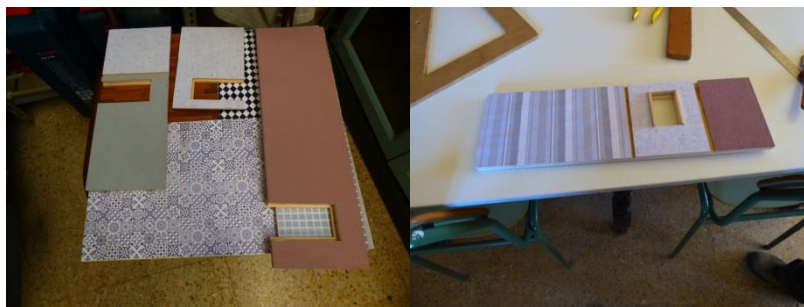
## Annex V: Procés de construcció de la maqueta

Per a la construcció de la maqueta s'han seguit una sèrie de passos:

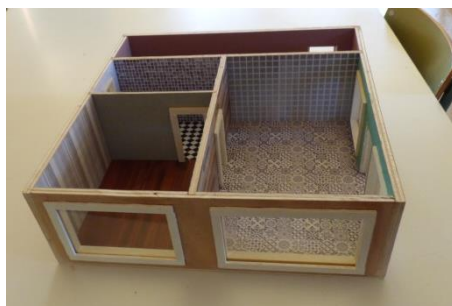
- Dissenyar l'estructura de la casa i fer els plànols.
- Realitzar els càlculs pertinents per a fer la construcció a escala 1:25
- Tallar les fustes a les mides necessàries.



- Pintar i enganxar les imatges del terra i algunes parets.



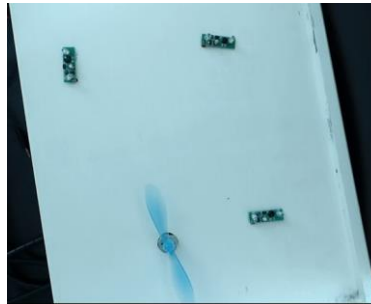
- Muntar l'estructura de la casa utilitzant cargols i cola.



- Construir la teulada de manera que es pugui treure en dues parts.



- Enganxar els leds i el motor al sostre, i entre el sostre i la teulada realitzar la instal·lació elèctrica.



- Connectar els cables de la instal·lació al circuit realitzat anteriorment. (Aplicar el pas 2)

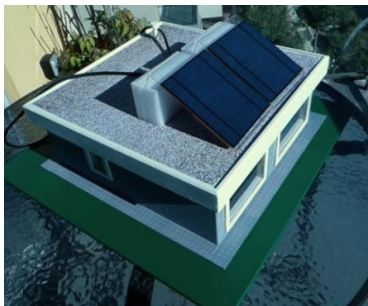


- Connectar el sistema elèctric instal·lat a l'electròlisi PEM a partir de l'energia solar i el tanc d'emmagatzemat d'hidrogen a la pila de combustible PEM (funcionament quan l'energia solar no sigui suficient, normalment a la nit).



- Comprovar el seu funcionament.

- Connectar el sistema elèctric a la placa solar (pel funcionament amb llum solar).



- Comprovar el seu funcionament
- Encendre i apagar les llums i el motor sense preocupar-se de la despesa energètica ni de la contaminació.



## Annex VI: Model d'enquesta

### ENQUESTA CASA AUTOSUFICIENT ENERGÈTICAMENT

Amb aquesta, enquesta està participant en el Treball de Recerca de l'alumne Àngel Rodríguez Ballabriga del col·legi Vedruna Sagrat Cor.

Home / Dona

Edat:

Encercli la resposta que cregui més adequada.

1. Una casa autosuficient energèticament és capaç de generar l'energia que necessita consumir. Creu que avui en dia aquesta casa és possible?

- a) Sí
- b) No
- c) Actualment no, en un futur sí

2. Per què creu que aquestes cases no estan a la venda o no es construeixen?

- a) Perquè resultarien molt cares de construir.
- b) Perquè no interessen a les companyies subministradores d'energia.
- c) Perquè la tecnologia per a ser autosuficient no està totalment desenvolupada.

3. D'on creu que surt l'energia perquè una casa sigui autosuficient?

- a) Del sol
- b) De la terra
- c) Del vent

4. Quin creu que és el problema principal d'una casa autosuficient?

- a) Produir l'energia.
- b) Que fer amb l'energia restant.
- c) Emmagatzemar l'energia per a quan no es pugui produir.

5. Si pogués comprar una casa autosuficient per què ho faria?

- a) Per no pagar més a les companyies subministradores d'electricitat i gas.
- b) Per tenir una energia més econòmica.
- c) Pel medi ambient, ja que l'energia de la casa no contaminaria.

6. Avui en dia s'està desenvolupant una tecnologia basada en l'hidrogen ( $H_2$ ) per a produir electricitat, desprenent com a únic residu aigua. Havia sentit parlar abans d'aquesta tecnologia com l'energia del futur?

- a) Sí
- b) No

7. Com creu que és millor produir aquest hidrogen?

- a) A partir de l'energia solar
- b) A partir del gas natural
- c) A partir del carbó

8. Creu que aquesta tecnologia podria abastir les necessitats energètiques d'una casa autosuficient?

- a) Sí
- b) No
- c) No ho sé

9. Li agradaria tenir una casa autosuficient energèticament?

- a) Sí
- b) No

Gràcies!

## Annex VII: Recull de notícies

Es va fer un recull de notícies de diversos diaris digitals sobre el tema estudiat des de l'inici fins al final del treball. Es troben ordenats cronològicament.

CASTELLS, Jorge J. “Un proyecto en Japón genera 10 MW de hidrogeno a partir de energia renovable.”, dins *Híbridos y el eléctricos*, 27/07/2018.

<https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/actualidad/proyecto-japon-generara-10mw-hidrogeno-partir-energia-renovable/20180827132041021367.html>



- ABC. “Valencia acoge la primera embarcación de hidrogeno del mundo.” 3/09/2018

[https://www.abc.es/motor/reportajes/abci-valencia-acoge-primera-embarcacion-hidrogeno-mundo-201809030217\\_noticia.html](https://www.abc.es/motor/reportajes/abci-valencia-acoge-primera-embarcacion-hidrogeno-mundo-201809030217_noticia.html)



- PARRA, Sergio. “Este método que convierte la luz en combustible es más eficiente que la fotosíntesis”, dins *Xataka*, 06/09/2018

<https://www.xatakaciencia.com/energia/este-metodo-que-convierte-luz-solar-combustible-eficiente-que-fotosintesis>

Este método que convierte luz solar en combustible es más eficiente que la fotosíntesis



- MARTÍ, Anna “Nos hemos montado en el Energy Observer”, dins *Xataka*, 08/09/2018

<https://www.xataka.com/otros/nos-hemos-montado-energy-observer-asi-ha-sido-nuestro-dia-desplazandonos-gracias-al-hidrogeno-tierra-mar>

Nos hemos montado en el Energy Observer: así ha sido nuestro día desplazándonos gracias al hidrógeno por tierra y mar



- IGUEL ARIZA, Luis. “¿Podría ser el hidrogeno el futuro de la movilidad?”, dins *El País*, 09/09/2018

[https://elpais.com/elpais/2018/10/01/eps/1538413607\\_420636.html](https://elpais.com/elpais/2018/10/01/eps/1538413607_420636.html)



- HYBRIDOS Y ELÉCTRICOS. “La AeH<sub>2</sub> prevé que circularan 140.000 vehículos de hidrogeno en España en doce años.” 11/09/2018

[https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/actualidad/industria-hidrogeno-podria-mover-1300-millones-crear-227000-puestos-trabajo-2030/20180911174215021698.html?utm\\_source=social&utm\\_medium=whatsapp&utm\\_campaign=share\\_button](https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/actualidad/industria-hidrogeno-podria-mover-1300-millones-crear-227000-puestos-trabajo-2030/20180911174215021698.html?utm_source=social&utm_medium=whatsapp&utm_campaign=share_button)



- ABC. “El hidrogeno se postula como alternativa al diésel y al coche eléctrico.”  
12/09/2018

[https://www.abc.es/motor/reportajes/abci-hidrogeno-postula-como-alternativa-diesel-y-coche-electrico-201809121316\\_noticia.html](https://www.abc.es/motor/reportajes/abci-hidrogeno-postula-como-alternativa-diesel-y-coche-electrico-201809121316_noticia.html)



- PLA, Francesc. “Hyundai Nexo, el primer coche de hidrogeno que llega a España.”,  
dins *La Vanguardia*, 19/09/2018

[https://www.lavanguardia.com/motor/eco/20180919/451885407311/hyundai-nexo-primer-coche-hidrogeno-venta-espana.html?utm\\_campaign=botones\\_sociales&utm\\_source=whatsapp&utm\\_medium=social](https://www.lavanguardia.com/motor/eco/20180919/451885407311/hyundai-nexo-primer-coche-hidrogeno-venta-espana.html?utm_campaign=botones_sociales&utm_source=whatsapp&utm_medium=social)



- PALOU, Nacho “Empieza a circular en Alemania el primer tren alimentado por hidrogeno”, dins *Economia Digital*, 19/09/2018

[https://www.economiadigital.es/tecnologia-y-tendencias/empieza-a-circular-en-alemania-el-primer-tren-alimentado-por-hidrogeno\\_578132\\_102.html](https://www.economiadigital.es/tecnologia-y-tendencias/empieza-a-circular-en-alemania-el-primer-tren-alimentado-por-hidrogeno_578132_102.html)



- LLATA, Jonathan “El coche de hidrogeno frente a los híbridos y elèctricos: el futuro llega a Le Mans”, dins *El Confidencial*, 24/09/2018

[https://www.elconfidencial.com/deportes/formula-1/2018-09-24/coches-hidrogeno-wec-resistencia-mision-h24\\_1620373/?utm\\_source=whatsapp&utm\\_medium=social&utm\\_campaign=amp](https://www.elconfidencial.com/deportes/formula-1/2018-09-24/coches-hidrogeno-wec-resistencia-mision-h24_1620373/?utm_source=whatsapp&utm_medium=social&utm_campaign=amp)



- ABC. “Así funciona el primer coche de hidrogeno matriculado en España”, 02/10/2018

[https://www.abc.es/motor/novedades/abci-funciona-primer-coche-hidrogeno-matriculado-espana-201810020255\\_noticia.html#ns\\_campaign=amp-rrss-inducido&ns\\_mchannel=abc-es&ns\\_source=wh&ns\\_linkname=noticia.foto&ns\\_fee=0](https://www.abc.es/motor/novedades/abci-funciona-primer-coche-hidrogeno-matriculado-espana-201810020255_noticia.html#ns_campaign=amp-rrss-inducido&ns_mchannel=abc-es&ns_source=wh&ns_linkname=noticia.foto&ns_fee=0)



- ARMESTO, Javier “¿Y si la solución fuera el hidrogeno?”, dins *La voz de Galicia*, 15/10/2018

[https://www.lavozdegalicia.es/amp/noticia/mercados/2018/10/14/solucion-fuera-hidrogeno/0003\\_201810SM14P15991.htm](https://www.lavozdegalicia.es/amp/noticia/mercados/2018/10/14/solucion-fuera-hidrogeno/0003_201810SM14P15991.htm)



- VAL, Eusebio (Corresponsal de París). “Y ahora el coche de hidrogeno”, dins *La Vanguardia*, 16/10/2018

<https://www.lavanguardia.com/ocio/motor/20181016/452381690931/coche-hidrogeno-combustible.html>



- El Español. “Hyundai, Toyota, BMW y Audi aceleran el coche de hidrógeno, el heredero del diésel.” 06/11/2018

[https://www.lespanol.com/reportajes/20181106/hyundai-toyota-bmw-audi-aceleran-hidrogeno-heredero/350994904\\_3.html](https://www.lespanol.com/reportajes/20181106/hyundai-toyota-bmw-audi-aceleran-hidrogeno-heredero/350994904_3.html)

