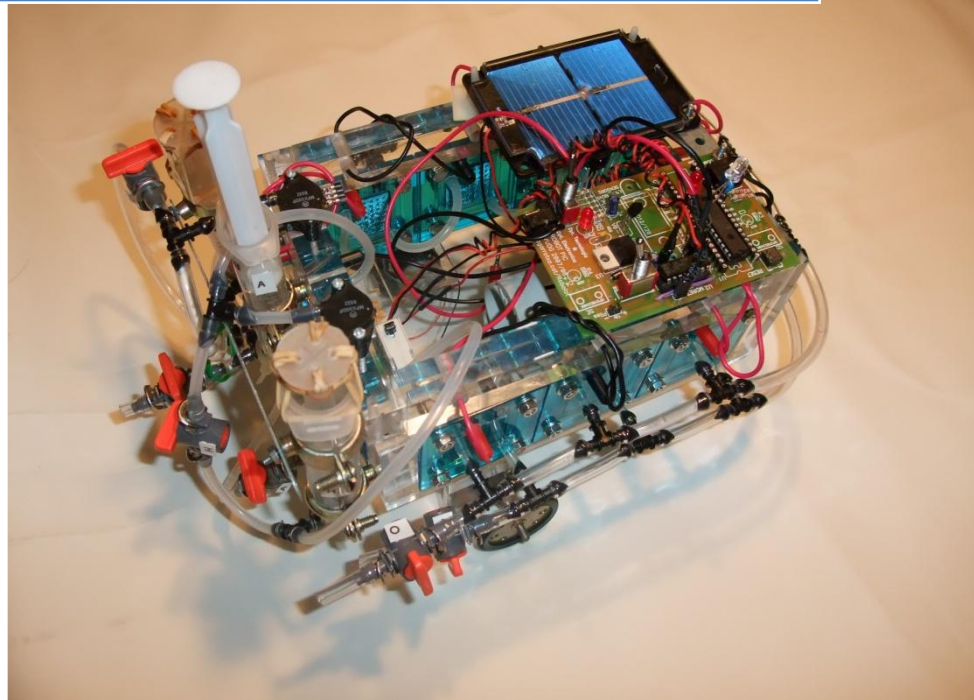


# Disseny i construcció d'un vehicle no contaminant propulsat per hidrogen



Ferran Brosa Planella

Assessor: Toni Moreno Rey

IES-SEP La Garrotxa

Promoció 2007-2009

Batxillerat Tecnològic

# Disseny i construcció d'un vehicle no contaminant propulsat per hidrogen

# ÍNDEX

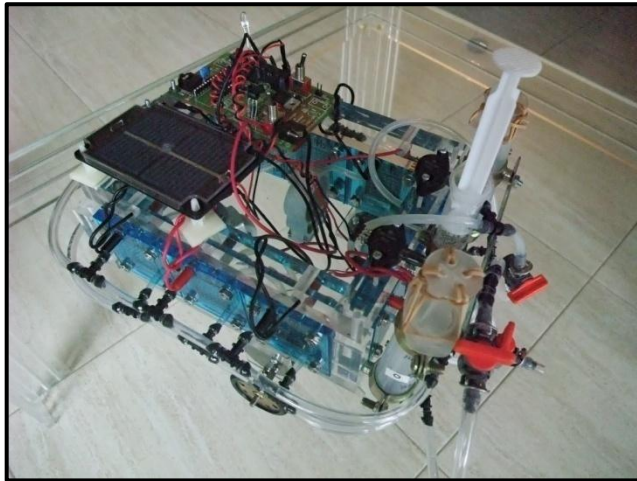
---

<b>1. INTRODUCCIÓ</b> .....	<b>5</b>
<b>2. ANTECEDENTS</b> .....	<b>6</b>
<b>3. OBJECTIUS</b> .....	<b>7</b>
<b>4. METODOLOGIA</b> .....	<b>8</b>
<b>5. RECERCA D'INFORMACIÓ</b> .....	<b>10</b>
<b>5.1. Automòbil</b> .....	<b>10</b>
<b>5.2. Combustibles fòssils</b> .....	<b>13</b>
5.2.1. Carbó.....	13
5.2.2. Petroli .....	14
5.2.3. Gas natural.....	15
<b>5.3. Problemes dels combustibles fòssils</b> .....	<b>16</b>
5.3.1. Contaminació.....	16
5.3.2. Disponibilitat.....	16
<b>5.4. Alternatives als combustibles fòssils en l'automoció</b> .....	<b>17</b>
5.4.1. Biodièsel .....	17
5.4.2. Electricitat.....	18
5.4.3. Energia solar.....	20
5.4.4. Piles de combustible.....	20
<b>5.5. Sostenibilitat</b> .....	<b>21</b>
5.5.1. Petjada ecològica.....	21
5.5.2. Càtedra UNESCO de Sostenibilitat .....	22
<b>5.6. Estudi de l'hidrogen i les seves propietats</b> .....	<b>23</b>
<b>5.7. Utilització de l'hidrogen en la tecnologia aeroespacial</b> .....	<b>26</b>
<b>5.8. Pila d'hidrogen</b> .....	<b>27</b>
5.8.1. Principi de la pila d'hidrogen.....	27
5.8.2. Electròlisi .....	27
5.8.3. Funcionament .....	28
5.8.4. Tipus de piles d'hidrogen .....	28
5.8.5. Aplicacions.....	30
<b>5.9. Components electrònics bàsics</b> .....	<b>32</b>

5.9.1.	Microprocessadors.....	32
5.9.2.	Resistència.....	32
5.9.3.	LED .....	33
5.9.4.	Transistor .....	34
5.9.5.	Díode.....	34
5.9.6.	Díode Zener.....	35
<b>5.10.</b>	<b>Microcontroladors: el sistema PICAXE© .....</b>	<b>36</b>
<b>5.11.</b>	<b>Llenguatges de programació.....</b>	<b>38</b>
<b>5.12.</b>	<b>El Basic de PICAXE©.....</b>	<b>39</b>
<b>5.13.</b>	<b>Comunicacions .....</b>	<b>40</b>
5.13.1.	Port sèrie.....	40
5.13.2.	Infraroig.....	40
<b>6.</b>	<b>DISSENY I CONSTRUCCIÓ D'UN VEHICLE PROPULSAT AMB HIDROGEN.....</b>	<b>42</b>
<b>6.1.</b>	<b>Esquema de blocs.....</b>	<b>42</b>
<b>6.2.</b>	<b>Piles d'hidrogen .....</b>	<b>43</b>
6.2.1.	Sistema de producció d'hidrogen .....	43
6.2.2.	Sistema de producció d'electricitat.....	44
<b>6.3.</b>	<b>Paràmetres a controlar .....</b>	<b>44</b>
<b>6.4.</b>	<b>Motors DC/CC .....</b>	<b>44</b>
<b>6.5.</b>	<b>Sistema de control .....</b>	<b>45</b>
<b>6.6.</b>	<b>Comunicacions amb PC .....</b>	<b>45</b>
<b>6.7.</b>	<b>Comunicacions amb infrarojos .....</b>	<b>46</b>
<b>6.8.</b>	<b>Programació.....</b>	<b>46</b>
<b>6.9.</b>	<b>Estructura mecànica .....</b>	<b>48</b>
6.9.1.	Disseny mecànic.....	48
6.9.2.	Materials.....	49
<b>6.10.</b>	<b>Muntatge del conjunt.....</b>	<b>49</b>
<b>7.</b>	<b>ASSAJOS, RESULTATS I MILLORES .....</b>	<b>51</b>
<b>8.</b>	<b>CONCLUSIONS.....</b>	<b>53</b>
<b>9.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>54</b>
9.1.	Pàgines Web.....	54
9.2.	Llibres .....	54
<b>10.</b>	<b>AGRAÏMENTS.....</b>	<b>55</b>

## 1. INTRODUCCIÓ

Cada dia més, prenem consciència col·lectiva dels problemes que suposa el consum abusiu de combustibles fòssils protagonitzat per la societat en què vivim. Aquest punt de dependència dels hidrocarburs on hem arribat pot portar a seriosos problemes quan aquests s'exhaureixin i haguem de trobar alternatives. Per això ja s'estan buscant altres fonts energètiques que siguin renovables, netes i que ens donin un rendiment satisfactori.



**Prototip dissenyat.**

L'hidrogen se situa cada dia més com un clar candidat per a suplir els combustibles fòssils, doncs genera electricitat, l'únic residu que emet és el vapor d'aigua, en estat líquid permet ser emmagatzemat en grans quantitats i és il·limitat perquè es pot produir mitjançant l'electròlisi de l'aigua que, si s'alimenta amb plaques fotovoltaïques, tanca el cicle utilitzant només energies renovables.

D'altra banda, la combustió d'hidrocarburs i les emissions despreses tenen nombrosos efectes perjudicials pel medi ambient: l'efecte hivernacle, la pluja àcida, el boirum fotoquímic i el forat a la capa d'ozó són només algunes de les conseqüències negatives de l'ús d'aquests combustibles. Aquest aspecte empeny també a buscar solucions ecològiques que respectin el medi ambient on l'hidrogen es torna a situar com a gran favorit.

En aquest treball el que es pretén és veure si és factible l'aplicació d'hidrogen per a propulsar un vehicle, en aquest cas telecontrolat. S'ha prioritzat el funcionament a la funcionalitat, donant importància a l'emmagatzematge i la gestió de l'hidrogen i no tant a les aplicacions que pugui tenir el robot.

També s'ha donat importància al fet de poder-nos generar el propi hidrogen, amb la possibilitat d'utilitzar energia solar, doncs permet un grau important d'autonomia perquè només amb aigua i llum solar o un endoll podem disposar d'hidrogen per a fer funcionar el projecte.

Per tant, aquest treball ve a ser una aposta de futur, optant per l'hidrogen com a substitut del petroli i un compromís amb el medi ambient. És per això que el treball està imprès a doble cara i amb paper reciclat.

## 2. ANTECEDENTS

Existeixen diversos antecedents de vehicles d'hidrogen, tan híbrids com únicament propulsats per hidrogen. També hem trobat un treball de recerca a la biblioteca de l'IES-SEP La Garrotxa sobre vehicles d'hidrogen, d'Eric Gispert.

En el treball d'Eric Gispert podem trobar el funcionament de les cèl·lules, el desenvolupament d'aquestes i els pros i

contres. També podem trobar-hi informació sobre els prototips dissenyats per Toyota i BMW. Finalment hi ha informació sobre els vehicles elèctrics, els tipus, i la història.

Pel que fa a prototips de vehicles d'hidrogen, n'han dissenyat empreses automobilístiques com:

- **BMW:** BMW Serie 7.
- **DaimlerChrysler:** Mercedes-Benz F-Cell.
- **Ford:** Ford Focus FCV .
- **General Motors:** Hy-wire, HydroGen3, Evolution.
- **Honda:** Honda EV Plus.
- **Hyundai:** Hyundai Santa Fe FCEV.
- **Mazda:** Mazda RX-8.
- **Nissan:** Nissan X-Trail FCV.
- **Toyota:** Toyota Prius.
- **Volkswagen:** Bora i Touran Hy-Motion-Fuel-Cell.

També existeixen autobusos i camions d'hidrogen. Pel que fa als primers destaquen sobretot els autobusos propulsats per hidrogen de què disposa TMB. Aquests porten unes bombones d'hidrogen al sostre on també hi ha col·locades les piles de combustible, que són les encarregades de produir la reacció que ens aporta l'electricitat per a fer funcionar els motors.

D'altra banda cal destacar l'existència d'altres tipus de vehicles que funcionen amb hidrogen, com per exemple bicicletes, motocicletes, avions, coets, vaixells i submarins.



Evolution, de General Motors.

### 3. OBJECTIUS

En aquest treball de recerca pretenc investigar, dissenyar, construir, programar i provar un sistema de transport col·lectiu autònom no contaminant, telecontrolat, propulsat amb hidrogen autogenerat. Agafant com a idea el sistema de metro de la ciutat de Copenhaguen, però a més, anant un pas més enllà en el camp del subministrament d'energia, alimentant el prototip amb energia elèctrica provinent d'una cèl·lula de combustible d'hidrogen.

Els objectius del treball són els següents:

- Estudiar els components comuns de l'electrònica.
- Estudiar el funcionament i la programació de microprocessadors, més concretament, els microprocessadors PICAXE®.
- Estudiar i utilitzar sensors i actuadors elèctrics.
- Estudiar el balanç energètic en la combustió de l'hidrogen.
- Estudiar els components i el funcionament de la pila d'hidrogen.
- Dissenyar un vehicle propulsat per hidrogen.
- Dissenyar un sistema de telecontrol de manera que el vehicle sigui autònom.
- Construir una maqueta del projecte totalment funcional.
- Construir i programar els elements de control necessaris per al correcte funcionament del prototip.

He decidit basar el meu treball de recerca en aquest tema ja que crec que és un treball de rigorosa actualitat. Cal buscar alternatives al petroli perquè s'exhaurirà en pocs anys i a més és un dels màxims causants de la contaminació i l'efecte hivernacle i, cada vegada més, l'hidrogen apunta ser una de les millors alternatives ja que és una font d'energia neta, potent, renovable i es pot emmagatzemar. L'hidrogen només emet vapor d'aigua, té unes prestacions energètiques molt interessants, en podem obtenir tant com vulguem a partir de l'electròlisi de l'aigua i guardat en bombones en estat líquid podem transportar-lo i emmagatzemar-lo fàcilment.

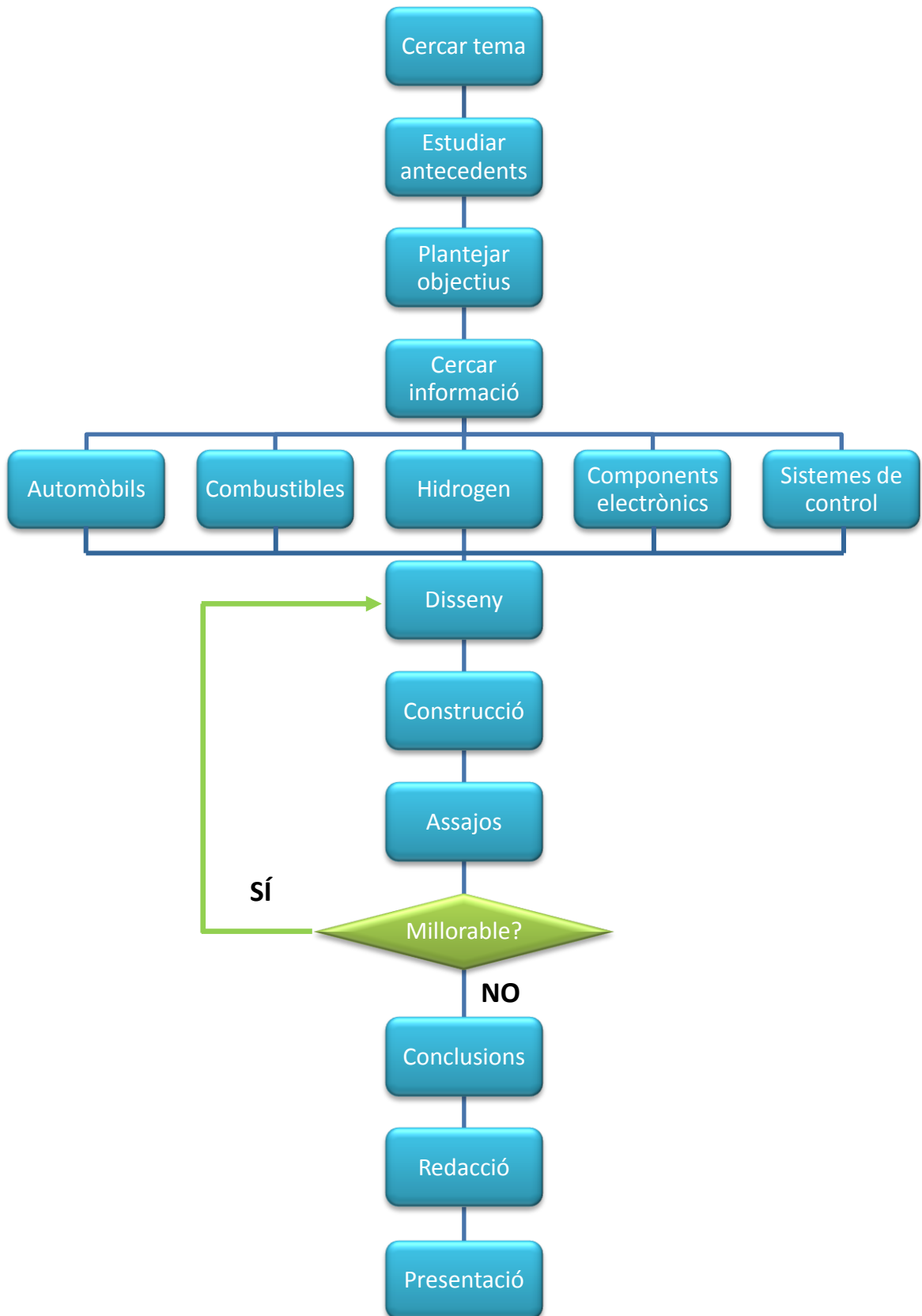
## 4. METODOLOGIA

El treball de recerca que s'ha elaborat consta de dues parts clarament diferenciades i amb metodologies molt diferents: la part teòrica i la part pràctica. Per això és necessari separar l'apartat de la metodologia en dues parts: la metodologia teòrica i la metodologia pràctica.

Una gran part del treball consisteix en una recopilació d'informació sobre aspectes relacionats amb el treball, que van des del concepte d'automòbil fins a l'aplicació de l'hidrogen en tecnologia aeroespacial i des del funcionament de les piles de combustible fins als conceptes bàsics de l'electrònica. Per a poder elaborar aquesta part s'han consultat tant fonts d'Internet com referències bibliogràfiques (veure bibliografia). També una gran part de les imatges que il·lustren aquest dossier provenen de la xarxa, tot i que n'hi ha algunes que han estat realitzades durant l'elaboració del propi projecte i la majoria de diagrames relacionats amb el vehicle són de creació pròpia.

D'altra banda, la part pràctica s'ha regit seguint un únic objectiu final: construir la maqueta del vehicle. S'han fet pràctiques amb una placa de PICAXE-08M (utilitzada finalment per a la construcció d'un robot rastrejador de capçal pivotant), s'ha hagut de fer front a problemes mecànics de disseny que s'han anat solucionant i, sobretot experimentant amb l'hidrogen, un camp de recerca que personalment no havia explorat. A l'annex hi ha les pràctiques corresponents a dos experiments relacionats amb l'obtenció d'hidrogen i la posterior transformació en energia elèctrica.





## 5. RECERCA D'INFORMACIÓ

### 5.1. Automòbil



**Mercedes Simplex (1906).**

L'automòbil és un vehicle de quatre rodes destinat al transport de persones, amb capacitat entre dos i vuit seients. Es desplaça gràcies a un motor d'explosió a base d'una mescla de gasolina o de gasoil i aire. En alguns països la mescla explosiva es fabrica a partir de determinades plantes. Recentment s'han començat a produir automòbils que funcionen amb motor elèctric, si bé l'autonomia d'aquests vehicles és encara

limitada a causa del pes de les bateries. Les rodes davanteres dels automòbils poden moure's cap a ambdós costats per a realitzar girs i prendre les corbes.

Els primers cotxes es creu que es van fabricar a Xina a finals del segle XVII. L'energia que els propulsava era la resultant del vapor.

Tot i això ens consta que el primer cotxe de vapor va ser presentat l'any 1769 per l'escriptor i inventor francès Nicholas-Joseph Cugnot. La seva funció principal era portar canons. Era un tricicle amb un pes de 4.500 Kg amb les rodes de fusta i les llantes de ferro. Aquest cotxe, però, es va estavellar i la seva rèplica va quedar destruïda al 1771.

En el 1833, un professor alemany de química anomenat Eilhard Mitscherlich va descobrir que la benzina era la substància perfecte per fer la funció de combustible i va passar a anomenar-se nafta.

El projecte dels cotxes de vapor encara es trobava present a Anglaterra on es va posar en pràctica diverses vegades. En aquest país es van construir més de 40 cotxes i tractors impulsats per vapor fins al 1840.

Es va buscar una manera més pràctica per moure els cotxes autopropulsats. La resposta es va trobar novament a Europa al 1860, gràcies al belga Jean Joseph Etienne Lenoir. Aquest va descobrir el motor d'explosió.

Sis anys més tard, en el 1866, l'alemany Gottlieb Wilhelm Daimler va construir el primer mitjà de transport propulsat gràcies a una combustió interna. Era un gegant de gairebé dues tones de pes.

Aquest cotxe va ser presentat pel patró de Daimler, Nicholas Otto, al 1867, a l'exposició de París i va significar la base de la nova indústria automobilística.

Daimler va estar tres anys més treballant en el projecte i va idear un mitjà de transport de només 41 Kg. Aquest cotxe va ser el precursor dels vehicles amb motors d'explosió que es farien més endavant.

Nicholas Otto juntament amb Eugen Langen, va crear més tard el motor atmosfèric. Aquest, però, no va significar un gran avenç en la indústria de l'automobilisme.

Karl Friederich Benz (1844–1929) va ser un enginyer mecànic que va crear el primer vehicle utilitzable que funcionava amb un motor de combustió interna. Va començar a funcionar l'any 1855 i un any més tard va ser patentat.

La roda inflable va ser inventada per l'escocès Robert W Thompson l'any 1845 i, un veterinari compatriota seu anomenat John Boyd Dunlop la va millorar. Va fer un pneumàtic l'any 1848 que es podia utilitzar en cotxes i bicicletes. El 1888, Benz va construir un cotxe de quatre rodes. Amb aquest vehicle es va començar a identificar cada cotxe amb la seva marca, ja que Benz va posar el seu nom a les rodes.

L'any 1897, després de diversos estudis i esforços, Robert Bosch va aconseguir crear un sistema molt pràctic d'arrencada del motor que l'enginyer Rudolf Diesel va aplicar en els seus vehicles ràpidament.

El 1899 va crear el primer cotxe de carreres. La marca Benz va travessar una petita crisi a principis del segle XX ja que Benz no volia innovar els seus automòbils amb els últims avenços descoberts per altres enginyers pioners en el món de l'automòbil com Daimler i els seu soci Wilhelm Maybach.

Durant tot el segle XIX però, majoritàriament a principis, hi haver molta competència entre les fàbriques i molts enginyers es van preocupar de millorar elements que formaven part del vehicle com per exemple: frens, transmissió, suspensió, la carburació i el sistema d'arrencada, entre d'altres. A finals del segle XIX, un jove francès anomenat Louis Renault va fer un cotxe al garatge de casa seva. D'aquest cotxe en sorgí una altra marca que avui dia encara està present al mercat de l'automòbil: Renault.



**Ford T (1920)**

En tot aquest temps van sortir molts altres pioners de l'automòbil com per exemple el nord-americà Henry Ford. En el 1908, Ford va efectuar un gran avenç en el món de

## Disseny i construcció d'un vehicle no contaminant propulsat per hidrogen

l'automòbil i en el món de la fabricació d'altres objectes, ja que va posar en marxa un nou sistema de fabricació d'automòbils que aprofitava la divisió del treball.

Aquest sistema es va anomenar producció en sèrie i consistia en que els productes anaven recorrent una trajectòria fixa, prèviament establerta, i passaven per davant de diferents operaris, cadascun dels quals s'encarregava de fer sobre el vehicle un petit conjunt de tasques bàsiques. Amb aquest sistema es va aconseguir reduir costos i Ford va comercialitzar el primer model de cotxe produït en sèrie a un preu molt assequible.



**Volkswagen Sedán (escarabat o "beetle", 1972)**

L'any 1929 la Daimler Motoren Gesellschaft va unir-se amb la marca Mercedes-Benz formant així la Daimler-Benz, que més tard es convertirà en l'actual Mercedes Benz.

Al 1972, Volkswagen va batre l'espectacular xifra de 15 milions de Ford T amb el llançament del popular i fascinant "Escarabat".

## 5.2. Combustibles fòssils

Els combustibles fòssils són aquells combustibles originats per la fossilització de matèria orgànica.



Base petrolífera marina.

En el procés de fossilització, degut a circumstàncies ambientals com l'anòxia, aquesta matèria orgànica no es degrada pels microorganismes fins a diòxid de carboni (CO<sub>2</sub>) i aigua (H<sub>2</sub>O), sinó que roman en forma de molècules orgàniques més complexes, l'energia de les quals és la que s'aprofita en utilitzar-los com a combustible.

Actualment els combustibles fòssils es consideren contaminants, per que la seva combustió desprèn gasos d'efecte hivernacle, que són radioactius en el sentit que absorbeixen fotons d'alta energia i desprenen fotons de baixa energia, és a dir, infrarojos.

En indrets concrets de la Terra podem trobar l'energia solar que diferents organismes vius van absorbir fa milions d'anys. Aquests, gràcies a un procés complex de transformació, es van convertir en els combustibles fòssils que utilitzem actualment entre d'altres coses per obtenir energia tèrmica. Encara que provenen de l'acció solar, no són renovables perquè requereixen molts milions d'anys per a obtenir-los de nou.

### 5.2.1. Carbó

Aquest combustible fòssil prové de restes vegetals que creixien a les maresmes i que van quedar enterrades pel fang. Degut a que no hi havia aire no es van poder descompondre i amb el pas del temps i la pressió de les capes de terra va fer que es fossilitzessin fins transformar-se en carbó. La seva formació data de fa uns 300 milions d'anys.

Segons la seva antiguitat i les condicions de formació del carbó classifiquem els diferents tipus de carbó en:



- **Torba:** és el més recent i el que aporta menys calor perquè té més contingut d'aigua que de carboni.
- **Lignit:** és més recent i no té tant poder calorífic degut al seu baix contingut en carboni.
- **Hulla:** també és dels més antics i d'alt poder calorífic. És el carbó més comercialitzat i el que més s'utilitza a les centrals tèrmiques.
- **Antracita:** és el més antic i amb més proporció de carboni i, per tant, amb un alt poder calorífic.



Mostra de carbó.

### 5.2.2. Petroli



Mostra de petroli.

Combustible fòssil líquid i viscos que prové del plàncton. Es creu que es va formar fa uns 50 milions d'anys després que el plàncton quedés cobert per diferents materials sedimentaris, a una certa pressió i temperatura i, gràcies a l'acció d'uns microorganismes es transformà en petroli. El que s'obté directament del jaciment és el que s'anomena petroli cru. Per a poder utilitzar l'energia que aporta ha de passar per un procés de transformació, anomenat refinament.

El refinament té lloc a les plantes petroquímiques, també anomenades refineries. Primer de tot cal netejar el petroli cru abans de que sigui conduït a les unitats de fraccionament. Un cop netejat de les restes d'aigua i sorra comença el procés de destil·lació a l'anomenada torre de

destil·lació que pot arribar a mesurar uns 50 metres. El cru s'escalfa a uns 340°C i es converteix en gas, aquest va pujant per la torre a mesura que els diferents components arriben al seu punt d'ebullició. A mesura que van pujant es van refredant i condensant a diferents nivells i així queden recollits els diferents productes:

- Gas líquid del petroli (GLP): a la part superior de la torre
- Benzina
- Querosè
- Gasoil
- Residus utilitzats per a fabricar fuel-oil, olis lubricants i quitrà: a la part més inferior de la torre.

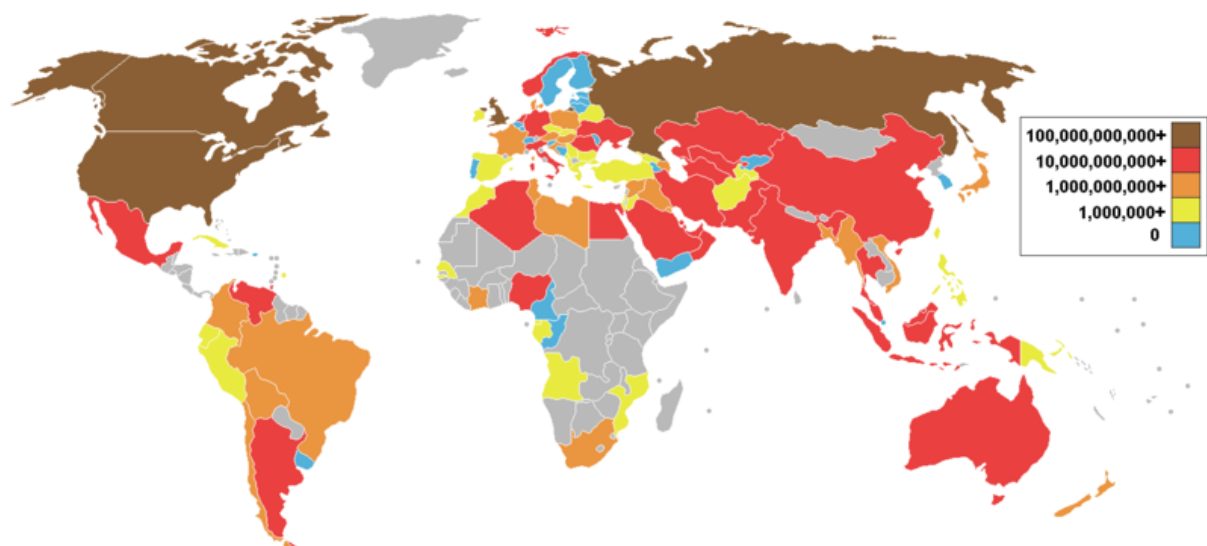
### 5.2.3. Gas natural

És un subproducte de l'acció dels microorganismes quan van transformar el plàncton en petroli. La seva composició majoritària és de metà i està present en la majoria de jaciments petrolífers. Un cop s'extreu del jaciment es transporta directament fins al lloc de consum sense patir procés de refinament. Aquest transport es pot dur a terme de dues maneres: en gasoductes (canonades per on circula en gas) o vaixells (líquat per a poder-ne transportar més quantitat).

Abans de que s'utilitzi el gas natural se li afegeixen una sèrie d'additius que li donen olor, per tal de localitzar les fuites.

Aplicacions:

- Generar electricitat.
- Combustible d'autobusos urbans.
- Ús domèstic i industrial.



Producció anual de gas natural per país (en metres cúbics).

### 5.3. Problemes dels combustibles fòssils

Tot i ser fàcils d'obtenir i proporcionar una font d'energia amb bastants avantatges, els combustibles fòssils presenten dos notables inconvenients com són la contaminació i la disponibilitat d'aquests.

#### 5.3.1. Contaminació



Emissions contaminants d'una indústria.

Un dels principals problemes dels combustibles fòssils és la contaminació. Classificarem els agents contaminants segons el combustible del qual proveniu:

- Carbó:** CO<sub>2</sub>, òxids de nitrogen, SO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> (combustió).
- Petroli:** CO, CO<sub>2</sub>, olefines, hidrocarburs aromàtics, òxids de nitrogen, NH<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub> (combustió). CH<sub>4</sub> (extracció).
- Gas natural:** CO, CO<sub>2</sub>, òxids de nitrogen, SO<sub>2</sub> (combustió). CH<sub>4</sub>, parafines (extracció).

També s'emet CH<sub>3</sub>Cl en incinerar els plàstics que, de fet, no deixen de ser derivats del petroli.

#### 5.3.2. Disponibilitat

El petroli és l'hidrocarbur més utilitzat i alhora el que té pitjors expectatives pel que fa a disponibilitat. Les estadístiques següents estan calculades respecte el ritme d'extracció de l'any 2002 exceptuant que es descobreixin nous jaciments.

Regió	Producció	Percentatge	Reserva en anys
Europa	18,7	1,8 %	7-8
Àsia-Pacífic	43,8	4,2 %	15,5
Amèrica del Nord	63,9	6,1 %	13,5
Ex-Unió Soviètica	65,4	6,2 %	21
Àfrica	75,7	7,3 %	27,5
Centre/Amèrica del Sud	96	9,1 %	39
Orient Mitjà	685,6	65,3 %	87
Total	1050	100 %	40,3

La producció està mesurada en milers de milions de barrils i la reserva està calculada des de l'any 2001.



## 5.4. Alternatives als combustibles fòssils en l'automoció

Per solucionar els problemes dels combustibles fòssils, especialment la disponibilitat, des de fa uns anys s'estan buscant combustibles alternatius per aplicar en l'automoció. En aquest apartat es descriuen els més importants.

### 5.4.1. Biodièsel

El biodièsel és un combustible que s'obté de recursos renovables com olis vegetals, greixos animals, o algues, que es tracten químicament per tal d'obtenir un combustible semblant al gasoil (dièsel) basat en el petroli.

L'obtenció de biodièsel és l'objectiu d'alguns conreus oleaginosos com la colza i el gira-sol a l'Unió Europea i també la soja als Estats Units d'Amèrica. Les autoritats d'aquestes dues zones estan interessades en disminuir les produccions agrícoles que resulten excedentàries i promouen els anomenats conreus no alimentaris. De tota manera, l'expansió d'aquest tipus de conreus s'ha convertit en la principal causa de desforestació arreu del món i, per tant, en un factor d'intensificació del canvi climàtic.



**Mostra de biodièsel.**

Els conreus la finalitat dels quals és la producció de biodièsel estan incentivats i la Unió Europea estableix que hi hagi un contracte entre l'agricultor i la indústria transformadora i es fan una sèrie de controls per evitar el frau que suposaria que el producte fos desviat cap a finalitats alimentàries.

El biodièsel pot ser usat en qualsevol concentració afegit al combustible derivat del petroli amb petites o cap modificació al motor. El biodièsel no és el mateix que l'oli vegetal cru doncs a aquest se li ha tret la glicerina amb un procediment químic.

La definició tècnica del Biodièsel als Estats Units (ASTM D 6751) especifica que es tracta d'un combustible compost per èsters mono-alquil d'una cadena d'àcids grassos derivats d'olis vegetals o greixos animals.

El biodièsel es produeix normalment per reacció d'un oli vegetal o greix animal amb alcohol (metanol o etanol) en presència d'un catalitzador (que poden ser la sosa càustica (NaOH) o la potassa càustica (KOH)) que és finalment eliminat.

El biodièsel és una de les possibles alternatives als combustibles fòssils. Avui en dia, hi ha un nombre important de benzineres que distribueixen biodièsel als consumidors, i flotes de transports que l'utilitzen en el seu combustible. Tanmateix, alguns investigadors han qüestionat que aquests tipus de combustibles presentin un balanç energètic positiu (faria falta més energia per a produir-los que la finalment obtinguda), tot assenyalant la seva relació amb el foment d'un model agrari intensiu, altament contaminant i molt exigent en el consum de recursos no renovables (aigua, sòl, fertilitzants, combustibles fòssils, etc.).

També, com que per a ser totalment competitiu amb els derivats del petroli caldria sobretot baixar els alts costos de producció del biodièsel, aquesta opció es presenta més com un camp en la investigació que no pas com una proposta per a substituir totalment el petroli i els seus derivats en un futur immediat.

### 5.4.2. Electricitat

Tot i que el concepte d'aplicar l'electricitat a l'automoció sembli innovador, realment és un concepte anterior al motor de combustió interna. El primer vehicle elèctric del qual es té constància data de l'any 1839 a Escòcia, 27 anys abans de la invenció del motor de combustió interna per part del germànic Daimler.

Segons la tecnologia utilitzada en la seva construcció, es poden classificar en:

- **Vehicle elèctric pur:** sistemes de tracció i acumulació d'energia únicament elèctrics.
  - **Adaptat:** Versions o modificacions elèctriques de vehicles tèrmics. És l'opció més utilitzada a causa de la reducció de costos que comporten. El problema que tenen és la incorporació d'elements que, un cop reconverit el vehicle, resulten innecessaris com per exemple l'embragatge.
  - **Electromòbil:** Vehicles de disseny íntegrament elèctric. Acostumen a ser petits i de potència reduïda, però



**El REVA (electromòbil) és el vehicle elèctric més venut del món.**

especialment útils en circulació urbana.

- **Vehicle híbrid:** Vehicles a mig camí entre vehicles tèrmics i vehicles elèctrics. Respecte els primers presenta poc consum i reduïdes emissions, i respecte els segons presenta unes prestacions molt àmplies.
  - **Sèrie:** són vehicles elèctrics equipats amb un generador (de combustió) que recarrega les bateries, però el motor de tracció continua essent el motor elèctric. Com a aspecte positiu presenta poques emissions i una reducció dels elements mecànics de tracció. En contra, requereixen un complex sistema electrònic de gestió de l'energia i unes bateries resistents.
  - **Paral·lel:** aquests vehicles disposen de dos sistemes de tracció: un d'elèctric i un de tèrmic, que poden funcionar independentment l'un de l'altre.
- **Vehicle solar o solarmòbil** (en parlarem al següent apartat)

Els principals sistemes d'emmagatzematge d'electricitat són les bateries electroquímiques com les de plom/àcid, níquel/cadmi (Ni/Cd), níquel/metall hidrur (Ni/MH), liti/ió (Li/ió), sodi/clorur de níquel (Na/NiCl<sub>2</sub>). Entre els problemes que presenten hi ha temperatures elevades o elements contaminants com els metalls pesants.

Per a recarregar les bateries hi ha tres mètodes:

- **Procés de recàrrega amb intensitat constant:** es manté una intensitat fixa del principi al final de la recàrrega.
- **Procés de recàrrega amb tensió constant:** tensió constant del principi al final, quan la tensió de la bateria i del carregador són iguals.
- **Procés de recàrrega amb potència decreixent:** disminució proporcional de la intensitat de càrrega en relació amb l'augment de tensió de la bateria.

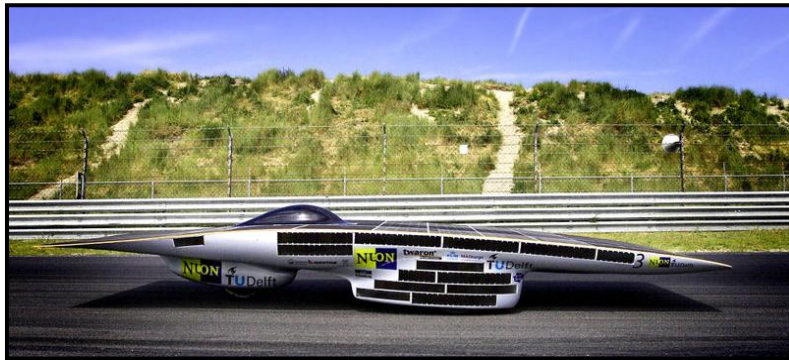
Per a recarregar en llocs públic es poden utilitzar dos sistemes:

- **Sistema de recàrrega ràpida:** són estacions de recàrrega per a casos d'emergència. Subministren en 10 minuts l'energia suficient per a poder recórrer 30km. Estan dissenyades per a subministrar grans potències en intervals reduïts de temps.
- **Sistemes de recàrrega per inducció:** es tracta del sistema més innovador ja que funciona sense cables. Funciona per inducció electromagnètica generada entre una bobina a l'estació de recàrrega i una bobina situada al vehicle. Funciona de la mateixa manera que una dinamo, excitant els electrons mitjançant ones electromagnètiques.

### 5.4.3. Energia solar

Els vehicles solars són vehicles que transformen la radiació solar en electricitat utilitzant plaques fotovoltaïques. Aquesta electricitat s'emmagatzema en bateries i s'utilitza més tard per a fer funcionar el motor elèctric de tracció.

Les plaques tenen un funcionament molt senzill. Estan compostes de cristalls de silici, molt sensibles a la llum i que en estar-hi exposats generen moviment d'electrons i conseqüentment corrent elèctric.



**El Nuna, defensor del títol de la World Solar Challenge.**

En aquests prototips cal aplicar les més innovadores tecnologies de control i regulació electrònica, sistemes de bateries, pneumàtics per aconseguir el màxim rendiment dels 8m<sup>2</sup> de plaques solars que porten.

En curses especials per aquest tipus de vehicles, com la "World Solar Challenge" que recorre cada any 3000km a Austràlia, els vehicles assoleixen velocitats mitjanes de 85 km/h i velocitats puntes de 130 km/h amb l'única energia que la proporcionada pel sol.

### 5.4.4. Piles de combustible

Els vehicles propulsats amb piles de combustible tenen un funcionament similar al dels vehicles elèctrics, però en comptes de dur l'energia acumulada en unes bateries, la generen a partir de les piles que consumeixen hidrogen (aportat normalment mitjançant gas natural, metà o metanol) que cal aportar de forma constant. A través d'una reacció electroquímica de l'hidrogen, es poden aconseguir electrons i generar així corrent elèctric.

Com que aquest treball se centra sobretot en aquest tipus de piles, trobem una explicació molt més detallada en el capítol 5.7.

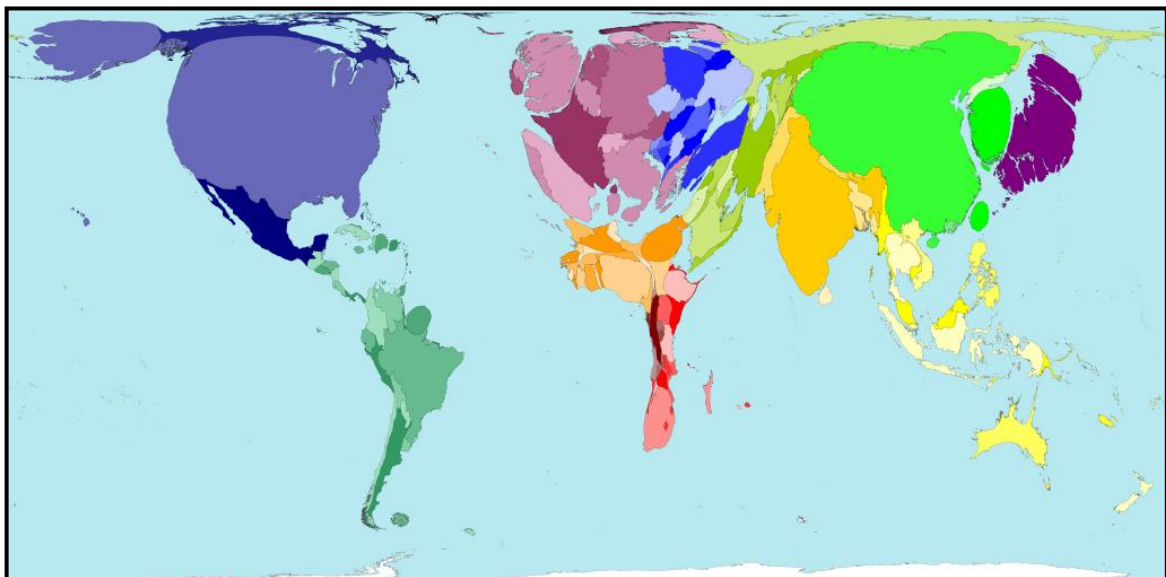
## 5.5. Sostenibilitat

La sostenibilitat es tracta d'un concepte econòmic, social i ecològic complex. Pretén ser un sistema d'organitzar l'activitat humana de manera que la societat i els seus membres siguin capaços de satisfer les seves necessitats i expressar el seu potencial màxim en el present mantenint la biodiversitat i els ecosistemes naturals i, també, planejar i actuar per poder mantenir aquests ideals indefinidament. La sostenibilitat, sovint una qüestió controvertida, afecta tots els nivells organitzatius, des de la família fins al planeta sencer.

Aquest concepte va ser utilitzat per primera vegada en l'Informe Brundtland de les Nacions Unides l'any 1983. Aquest definia sostenibilitat com "*Satisfer les necessitats de la generació actual sense comprometre la capacitat per satisfer les necessitats de les generacions futures.*"

### 5.5.1. Petjada ecològica

La petjada ecològica és un concepte que sintetitza l'impacte de l'activitat humana sobre el medi mitjançant un valor de superfície, expressant les hectàrees de terreny que és necessari cultivar per proveir d'aliments, per tenir un habitatge, per escalfar, per desplaçar-se... El seu objectiu fonamental consisteix en avaluar l'impacte sobre el planeta d'un determinat mode de vida i, consegüentment, del seu grau de sostenibilitat.



Hipotètica distribució de la superfície de la terra en funció de la petjada ecològica de cada país el 2006.

Les estadístiques són alarmants. Per a poder cobrir les necessitats de tots els habitants del planeta necessitaríem una terra i mitja. Si apliquem el test (es pot trobar a <http://www.myfootprint.org>) en dues situacions hipotètiques, l'una amb vehicles normals i l'altra amb el prototip d'hidrogen (0 emissions de CO<sub>2</sub>) veiem com es podria reduir aquest indicador en 1,098ha per cada 1000km amb cotxe de motor d'explosió.

## Disseny i construcció d'un vehicle no contaminant propulsat per hidrogen

Aquest qüestionari que no ocupa més de deu minuts de temps permet saber la nostra petjada ecològica i quants planetes necessitaríem si tot el món tingues els mateixos hàbits que nosaltres. Com que ens permet saber en cada pregunta quant augmenta la nostra petjada, amb una simple prova podem observar que si fem 1000km en cotxe la nostra petjada augmenta 1,098ha (això són a 10980m<sup>2</sup>, l'equivalent a més d'un camp i mig de futbol).

I si en aquest supòsit analitzem les emissions de CO<sub>2</sub> en comparació amb un utilitari veurem que es podrien reduir 190kg de CO<sub>2</sub>. Perquè ens en fem una idea, per a neutralitzar aquesta quantitat de diòxid de carboni caldrien 0,0475ha de bosc mediterrani o, el que és el mateix, 475m<sup>2</sup> de bosc mediterrani. Per fer aquests càlculs podem utilitzar una calculadora de carboni com la desenvolupada per la Fundació Terra i el Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible (CADS). Aplicant l'equivalència entre km i kg de CO<sub>2</sub>

$$1000km \cdot 0,19 \frac{kg CO_2}{km} = 190kg CO_2$$

$$1ha = 4000kg CO_2$$

$$x ha = 190kg CO_2$$

$$x = \frac{190 kg CO_2}{4000 kg CO_2} \cdot 1 ha = 0,0475 ha$$

### 5.5.2. Càtedra UNESCO de Sostenibilitat

La Càtedra UNESCO és una iniciativa d'aquest organisme de les Nacions Unides que té per objectiu millorar el desenvolupament de la investigació, capacitació i programes de desenvolupament de l'educació superior per mitjà de la construcció de xarxes universitàries i fomentar la cooperació interuniversitària per mitjà de la transferència del coneixement a través de les fronteres.

Creada en 1992 per mandat de l'Assemblea General de la UNESCO en la seva 26ta sessió (1991) que estableix el Programa UNITWIN que assigna les càtedres UNESCO i les xarxes UNITWIN.

La Càtedra UNESCO de Sostenibilitat treballa amb tècnics de diferents sectors amb l'objectiu de reorientar la tecnologia cap a la sostenibilitat. Es tracta d'una càtedra de la UPC amb seu a l'Escola Universitària d'Enginyeria Tècnica Industrial de Terrassa.

La pàgina web de la càtedra és <http://www.ct.upc.es/unitats/catunesco/> on hi ha més informació sobre el desenvolupament de la càtedra.

## 5.6. Estudi de l'hidrogen i les seves propietats

L'hidrogen és un gas incolor, inodor i insípid.

L'hidrogen líquid, obtingut per primera vegada per Sir James Dewar el 1898, és incolor (encara que lleugerament blau en capes gruixudes) amb un pes específic de 0,070. Quan s'evapora ràpidament sota pressió reduïda, es congela en un sòlid incolor.

Com la majoria dels elements gasosos, l'hidrogen és diatòmic (les seves molècules contenen dos àtoms) però es dissocia en àtoms lliures a altes temperatures.

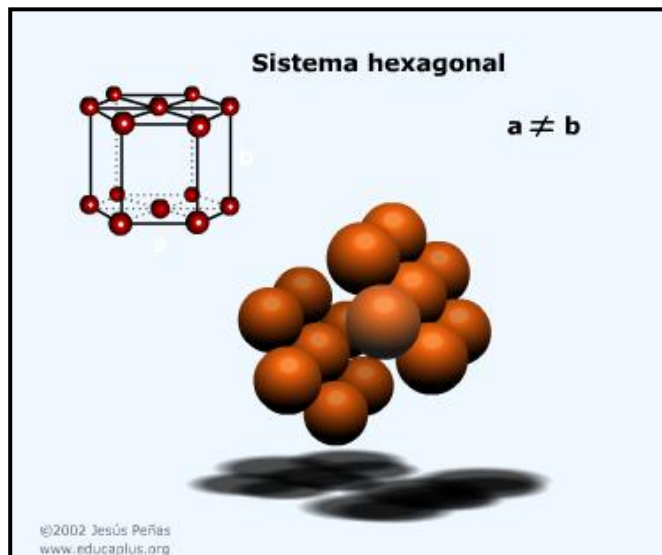
L'hidrogen és una barreja de dues formes diferents, *ortohidrogen* i *parahidrogen*; l'hidrogen ordinari conté aproximadament tres quarts de la forma *orto* i un quart de la forma *para*. Els punts de fusió i ebullició d'ambdues formes difereixen lleugerament dels de l'hidrogen ordinari. El parahidrogen s'obté pràcticament pur per absorció de l'hidrogen ordinari sobre carbó a uns  $-225^{\circ}\text{C}$ .

Es coneixen tres isòtops de l'hidrogen. El nucli de cada àtom d'hidrogen ordinari es compon d'un protó. El *Deuteri*, representa en l'hidrogen ordinari al voltant del 0,02%, i conté un protó i un neutró en el nucli, essent la seva massa atòmica de dos. El *Triti*, un isòtop radioactiu inestable, conté un protó i dos neutrons en el nucli i té una massa atòmica de tres.

Tots els àcids contenen hidrogen; la característica distintiva d'un àcid és la seva dissociació, en la que es produeixen ions d'hidrogen. L'hidrogen ( $\text{H}_2$ ) és l'element més lleuger que es coneix, amb la qual cosa pot penetrar fàcilment per les superfícies poroses.

Metalls com el platí, el cobalt, el níquel, el ferro i el pal·ladi, en certes condicions, tenen la propietat d'absorbir hidrogen i és per això que, a vegades, s'ha trobat hidrogen associat a aquests metalls en alguns meteorits.

Per exemple, el pal·ladi és capaç d'absorbir hidrogen en una proporció d'unes 800 vegades el seu volum.



Esquema d'una molècula d'hidrogen.



Característiques de l'hidrogen	
Massa Atòmica	1,00794 Uma
Punt de Fusió	14,02 K
Punt d'Ebullició	20,28 K
Densitat	76 kg/m <sup>3</sup>
Potencial Normal de Reducció	0,00 V 2H <sup>+</sup>   H <sub>2</sub> solució àcida
Conductivitat Tèrmica	0,18 J/m s °C
Calor Específica	14421,00 J/kg°K
Calor de Fusió	0,1 kJ/mol
Calor de Vaporització	0,9 kJ/mol
Calor d'Atomització	218,0 kJ/mol d'àtoms
Estats d'Oxidació	-1, +1
1a Energia d'Ionització	1312 kJ/mol
Afinitat Electrònica	72,8 kJ/mol
Radi Atòmic	0,79 Å
Radi Covalent	0,32 Å
Radi Iònic	H <sup>-1</sup> = 2,08 Å
Volum Atòmic	14,4 cm <sup>3</sup> /mol
Polaritzabilitat	0,7 Å <sup>3</sup>
Electronegativitat (Pauling)	2,2

A temperatures ordinàries l'hidrogen és poc reactiu. No reacciona amb l'oxigen a baixes temperatures però ho fa de forma violenta si s'eleva la temperatura per sobre dels 700°C o s'introdueix algun catalitzador com el pal·ladi o platí finament dividit, obtenint aigua com a producte d'aquesta reacció.

L'hidrogen pot combinar-se amb l'oxigen dels òxids d'altres elements i aquest caràcter reductor s'aprofita en la indústria metal·lúrgica per obtenir metalls amb un alt grau de puresa, com per exemple el wolfram dels filaments per a làmpades elèctriques.

Per tal d'aconseguir la dissociació de l'hidrogen molecular en hidrogen atòmic es necessita proporcionar una temperatura molt elevada, absorbint-ne una gran quantitat d'energia però la reacció és reversible i els àtoms d'hidrogen es combinen de nou per donar molècules desprenent-se ara l'energia abans absorbida. Basant-se en això Langmuir, premi Nobel de Química el 1932, va construir el bufador d'hidrogen atòmic.

Es fa passar un corrent d'hidrogen per un arc elèctric amb la qual cosa s'aconsegueix la dissociació de les molècules d'hidrogen i els àtoms produïts al xocar contra la superfície del metall sobre el que es treballa, es recombinen desprenent l'energia prèviament absorbida que serveix per a fondre el metall.



A més, com que la part del metall que es fon està rodejada d'hidrogen s'impedeix la seva reacció amb l'oxigen de l'aire.

L'hidrogen reacciona amb molts no-metalls. Es combina amb el nitrogen en presència d'un catalitzador per formar amoníac  $\text{NH}_3$ , amb el sofre per formar sulfur d'hidrogen  $\text{H}_2\text{S}$ , amb el clor per formar clorur d'hidrogen  $\text{HCl}$  i amb l'oxigen per formar aigua  $\text{H}_2\text{O}$ .

Quan l'hidrogen es barreja amb l'aire o amb l'oxigen i es pren, la mescla fa explosió. L'hidrogen també combina amb els metalls més actius, com el sodi, el liti i el calci per formar hidrurs ( $\text{NaH}$ ,  $\text{LiH}$  i  $\text{CaH}_2$ ).

Actua com un agent reductor sobre òxids metàl·lics, tal i com l'òxid de coure, traient l'oxigen i deixant el metall en estat lliure.

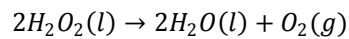
L'hidrogen reacciona amb compostos orgànics no saturats per formar els compostos saturats corresponents.

Resum de reactivitat de l'hidrogen	
Amb aire:	Vigorosa a temperatura elevada: $\text{H}_2\text{O}$
Amb $\text{H}_2\text{O}$ :	No reacciona
Amb $\text{HCl}$ 6M:	No reacciona
Amb $\text{HNO}_3$ 15M:	No reacciona
Amb $\text{NaOH}$ 6M:	No reacciona

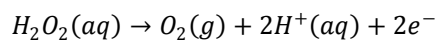
## 5.7. Utilització de l'hidrogen en la tecnologia aeroespacial

L'hidrogen s'utilitza en la tecnologia aeroespacial com a combustible en forma de peròxid d'hidrogen ( $H_2O_2$ ), comunament anomenat aigua oxigenada. Tant es pot utilitzar com a combustible en si en els motors monopropelants o com a aportació d'oxigen en els motors bipropelants. Se sol utilitzar en una concentració que oscil·la entre el 80% i el 90%.

La reacció del peròxid d'hidrogen és la següent:



També s'oxida de la següent manera:

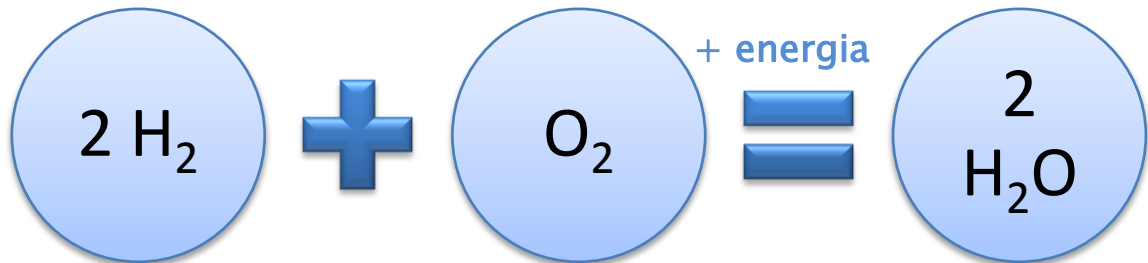


Maqueta de l'Ariane 5 (ESA). Aquesta aeronau funciona amb oxigen i hidrogen líquid.

## 5.8. Pila d'hidrogen

### 5.8.1. Principi de la pila d'hidrogen

El funcionament de la pila d'hidrogen es basa en la reacció entre l'oxigen i l'hidrogen per a formar aigua.



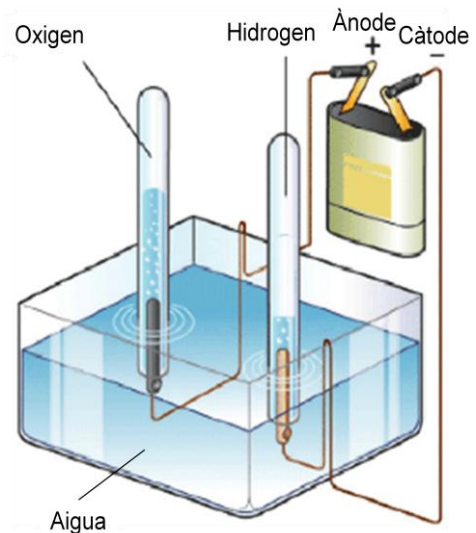
Aquesta reacció és exotèrmica i desprèn energia en forma d'electricitat producte del moviment d'electrons que causa la reacció.

El procés invers és l'electròlisi descrita al següent apartat.

### 5.8.2. Electròlisi

Després de les primeres proves és inevitable plantejar-se la pregunta: podem generar nosaltres mateixos l'hidrogen invertint el procés (és a dir, fent l'electròlisi de l'aigua)? En aquest treball s'han fet dos experiments per a respondre aquesta pregunta i tots dos han obtingut un resultat satisfactori.

En un principi es va fer la prova al laboratori de l'escola realitzant l'electròlisi amb el material pertinent al laboratori: l'electrolitzador de Hofmann, la solució per electrolitzar ( $2 \text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2 \text{H}_3\text{O}^+ + \text{SO}_4^{2-}$ ) a més a més de la cèl·lula d'hidrogen i un motor per a comprovar el funcionament. La connexió entre el tub on s'acumulava l'hidrogen i la pila es va realitzar amb tubs de goma. El resultat fou que es va aconseguir fer funcionar el motor amb l'hidrogen produït. La pràctica sencera està adjunta a l'annex.



Esquema de l'electròlisi.

Però amb l'adquisició de les cèl·lules reversibles calia anar més enllà, calia poder generar l'hidrogen a partir de la mateixa cèl·lula. El segon experiment consistia en revertir el funcionament de la cèl·lula. Omplint la part pertinent d'aigua, connectant unes xeringues amb una molla per a mantenir la pressió i aplicant electricitat amb una

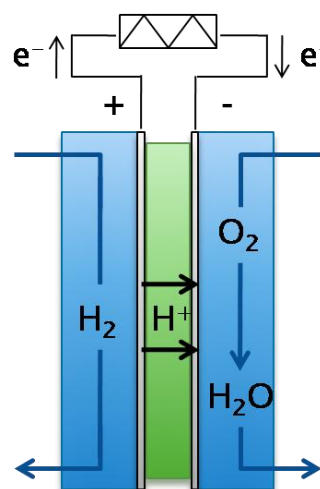
font d'alimentació es va comprovar que també es podia obtenir hidrogen amb la reversibilitat d'una pila. La pràctica de l'experiment també es pot consultar a l'annex.

### 5.8.3. Funcionament

Una pila de combustible d'hidrogen com les utilitzades en el treball té una membrana polimèrica conductora de protons, l'electròlit, que separa el costat de l'ànode del costat del càtode. En el costat de l'ànode, l'hidrogen difós a l'ànode catalitzador es dissocia en protons i electrons. Els protons són conduïts a través de la membrana al càtode, però els electrons són forçats a viatjar per un circuit extern (produint energia) ja que la membrana està aïllada elèctricament.

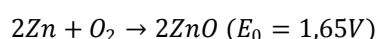
- **Reacció en l'ànode (+):**  $2\text{H}_2 \rightarrow 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$
- **Reacció en el càtode (-):**  $\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$
- **Reacció completa:**  $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$

En el catalitzador del càtode, les molècules de l'oxigen reaccionen amb els electrons (conduïts a través del circuit extern) i protons per a formar l'aigua. En aquest exemple, l'únic residu és vapor d'aigua o aigua líquida. Com que la reacció és exotèrmica, també es desprèn energia calorífica.

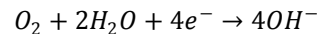
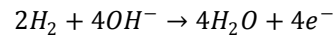


### 5.8.4. Tipus de piles d'hidrogen

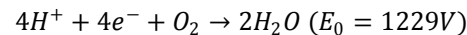
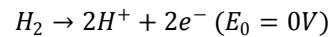
- **Pila de combustible reversible (RFC):** aquestes piles tenen dues possibilitats de funcionament: aportar-hi hidrogen i oxigen per obtenir electricitat i vapor d'aigua, o aportar-hi aigua i electricitat per obtenir oxigen i hidrogen. És per aquest motiu que reben el nom de reversible.
- **Blue Energy:** el funcionament de la Blue Energy consisteix en fer passar ions de sal per una membrana especial mitjançant osmosi. Un costat s'omple amb aigua dolça i l'altra amb aigua salada. L'intercanvi de sals produeix electricitat. Aquest sistema s'utilitza a Harlingen (Països Baixos) on més de 3300m<sup>3</sup> d'aigua dolça desemboquen al mar diàriament.
- **Pila de combustible biològica (MFC):** aquesta pila funciona extraient l'energia química d'una substància, normalment la glucosa, que es descompon mitjançant l'acció bacteriana.
- **Pila de combustible de zinc:** l'energia d'aquestes piles s'obté mitjançant la reacció d'oxidació del zinc que segueix la següent fórmula:



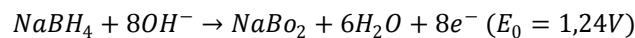
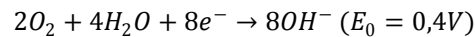
- **Bateria de flux:** l'electròlit de la bateria de flux conté certes espècies electroactives que cedeixen la seva energia química al reactor perquè la converteixi en energia elèctrica. Són piles extremadament grans, on l'electròlit s'emmagatzema a part de la pila i molt utilitzades en tecnologia marina.
- **Pila de combustible alcalina (AFC):** es tracta d'una de les més desenvolupades i de més rendiment, concretament un 70%. Aquesta pila consumeix hidrogen i oxigen i produeix calor, electricitat i  $\text{OH}^-$ . És la pila que va portar l'home a la lluna.



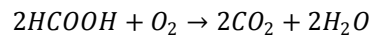
- **Pila de combustible de membrana d'intercanvi de protons (PEMFC):** la membrana d'aquesta pila capta els electrons de l'hidrogen. Els ions, per aconseguir estabilitat s'ajunten amb l'oxigen i formen molècules d'aigua.



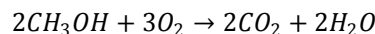
- **Pila de combustible directa de borhidrur (DBFC):** són una subcategoria de les piles alcalines, però utilitzen com a electròlit una solució de  $\text{NaBH}_4$  en aigua.



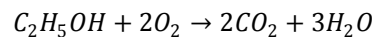
- **Pila de combustible d'àcid fòrmic (FAFC):** són una subcategoria de les PEMFC. S'utilitzen en electrònica, en mòbils i portàtils. Segueixen la següent reacció:



- **Pila de combustible directe de metanol (DMFC):** subcategoria de les PEMFC on s'utilitza el metanol directament. La reacció és la següent:



- **Pila de combustible directe d'etanol (DEFC):** subcategoria de les PEMFC on s'utilitza l'etanol directament. La reacció és la següent:



- **Pila de combustible d'àcid fosfòric (PAFC):** aquestes piles utilitzen àcid fosfòric líquid com a electròlit.
- **Pila de combustible de carbonat fos (MCFC):** aquest tipus de piles operen a temperatures molt elevades, a més de  $600^\circ\text{C}$ . L'electròlit d'aquestes cèl·lules consisteix en una salt carbonatada fosa que està continguda en un material porós. A part de la resta de substàncies necessàries, aquesta requereix també una aportació de  $\text{CO}_2$ .

- **Pila de combustible de ceràmica protònica (PCFC):** el funcionament d'aquestes piles es basa en les característiques d'alguns elements ceràmics de conductivitat protònica a elevades temperatures, a més de 700°C.
- **Pila de combustible d'òxid sòlid (SOFC):** aquestes piles funcionen mitjançant l'oxidació del combustible, produïda per una membrana d'òxid sòlid. Té l'avantatge de tenir un molt bon rendiment en proporció al seu cost, si bé necessita operar a altes temperatures que oscil·len entre els 800°C i els 1000°C.

### 5.8.5. Aplicacions

Les cel·les de combustible són molt útils com a fonts d'energia en llocs remots, com per exemple una nau espacial, estacions meteorològiques allunyades, parcs grans, localitzacions rurals i en certes utilitzacions militars. Un sistema amb cel·la de combustible que funciona amb hidrogen pot ser compacte, de pes lleuger i no té cap peça mòbil important.

Una nova forma de donar-li ús és combinant calor i l'electricitat (CHP, Combined Heat and Power) per a habitatges familiars, els edificis d'oficines i les fàbriques. Aquest tipus de sistema genera energia elèctrica de manera constant (venent l'excés d'energia a la xarxa quan no es consumeix), i al mateix temps produeix aire i aigua calenta gràcies a la calor que desprèn. Les cel·les de combustible d'Àcid fosfòric (PAFC) abasten el segment més gran dels productes existents de CHP en tot el món i poden proporcionar eficàcies combinades properes al 80% (45-50% elèctric més la resta com a tèrmic). El fabricant més gran de les cel·les de combustible de PAFC és UTC Power, una divisió de United Technologies Corporation. També s'han instal·lat cel·les de combustible de carbonat fos (MCFC) amb els mateixos objectius, i existeixen prototips de cel·les d'òxid sòlid (SOFC).



Cèl·lula de combustible en un cotxe.

Ja hem comentat anteriorment les aplicacions en tot tipus de vehicles que tenen les cèl·lules de combustible d'hidrogen.

No obstant això, ja que els sistemes electrolítics no emmagatzemen el combustible en si mateixos, sinó en unitats externes, poden utilitzar-se a gran escala d'energia, per exemple a les àrees rurals. En aquest cas, les bateries haurien de ser d'un tamany considerable per a satisfer la demanda, però les cèl·lules de combustible només necessiten una unitat (més gran que les unitats normals) d'emmagatzematge que normalment és més barata que un dispositiu electroquímic.

Existeix un programa experimental a Stuart Island a l'Estat de Washington. Allà la Stuart Island Energy Initiative ha construït un sistema complet en el qual els panells solars generen el corrent per fer funcionar diversos sistemes electrolítics que produeixen hidrogen que s'emmagatzema en un tanc de 500 galons (uns 1900 litres) a 150–200 PSI (10,34–13,79 bar.). L'hidrogen s'utilitza per a fer funcionar una cèl·lula de combustible d'hidrogen de 48V ReliOn que proporciona una reserva completa per a la xarxa elèctrica dels barris residencials de la illa.

Plug Power Inc. és un participant important en el disseny, desenvolupament i fabricació de cel·les de combustible PEM per a les utilitzacions no mòbils, incloent els productes dirigits a les telecomunicacions, energia bàsica, i utilitzacions combinades de calor i energia (CHP).



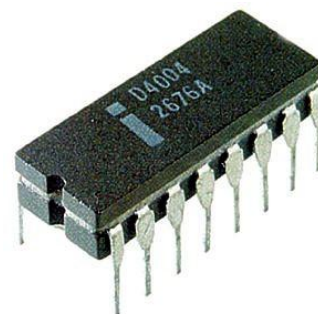
## 5.9. Components electrònics bàsics

### 5.9.1. Microprocessadors

El microprocessadors son uns xips capaços d'executar un programa escrit amb zeros i uns emmagatzemat a la memòria principal.

Aquests xips, que es van inventar al 1971, han suposat un gran avenç en molts camps de la tècnica, de tal forma que avui en dia, s'inclouen en gran quantitat d'aparells, de vegades fent funcions insospitades. Un televisor, una rentadora o un reproductor mp3 podrien ser l'exemple d'alguns aparells que incorporen aquests dispositius.

Un ordinador, es potser el dispositiu més conegut on s'aplica el microprocessador. Aquest xip, representa el cervell d'aquestes màquines, tot i que per a funcionar, necessita de tota una sèrie d'elements auxiliars associats sense els quals no podria realitzar cap funció. Els principals elements auxiliars son les memòries on resideixen els programes que s'han d'executar i les dades que s'han de tractar.



Microprocessador Intel 4004.

- **Memòria de programa (ROM):** Habitualment és una memòria de només lectura on resideix el programa. El microprocessador només pot llegir el programa d'aquesta memòria però es impossible modificar-ne el seu contingut. L'avantatge d'aquest tipus de memòria és que conserva les dades encara que traiem el subministrament elèctric.
- **Memòria de dades (RAM):** És una memòria sobre la que el microprocessador pot llegir o escriure a voluntat les vegades que es vulgui. Aquesta memòria és utilitzada pel sistema amb l'objecte de desar càlculs i dades durant l'execució del programa. Una característica d'aquest tipus de memòria és que en interrompre el subministrament elèctric, es perden les dades emmagatzemades.

### 5.9.2. Resistència

La resistència elèctrica representa l'oposició d'un conductor al pas del corrent elèctric i és deguda a la dificultat que ofereixen els àtoms del conductor a la circulació del electrons.

La resistència elèctrica d'un conductor augmenta amb la llargària, disminueix amb la secció transversal i depèn del material del conductor. La unitat de resistència elèctrica en el SI s'anomena ohm ( $\Omega$ ).



Color	1ª banda	2ª banda	3ª banda (multip.)	4ª banda (tolerància)	Coef. Temp.
Negre	0	0	$\times 10^0$		
Marró	1	1	$\times 10^1$	$\pm 1\%$ (F)	100 ppm
Vermell	2	2	$\times 10^2$	$\pm 2\%$ (G)	50 ppm
Taronja	3	3	$\times 10^3$		15 ppm
Groc	4	4	$\times 10^4$		25 ppm
Verd	5	5	$\times 10^5$	$\pm 0,5\%$ (D)	
Blau	6	6	$\times 10^6$	$\pm 0,25\%$ (C)	
Violeta	7	7	$\times 10^7$	$\pm 0,1\%$ (B)	
Gris	8	8	$\times 10^8$	$\pm 0,05\%$ (A)	
Blanc	9	9	$\times 10^9$		
Or			$\times 10^{-1}$	$\pm 5\%$ (J)	
Plata			$\times 10^{-2}$	$\pm 10\%$ (K)	
Cap				$\pm 20\%$ (M)	

Codi de colors d'una resistència.

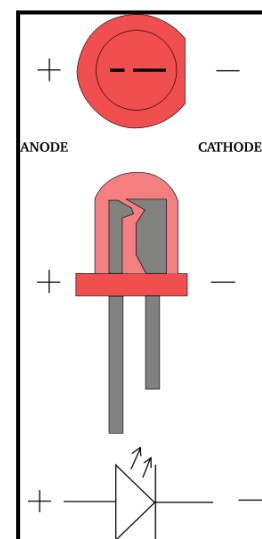
Si ens imaginem el circuit elèctric com un circuit de tubs per on hi circula aigua, la resistència seria com els tubs estrets, és a dir que com més estrets són més li costa a l'aigua circular-hi, doncs amb el circuit elèctric la resistència s'oposa al pas d'electrons.

Les resistències poden tenir valors molt diversos des de uns pocs ohms fins a uns quants milers, per saber el valor que té cada resistència es fa servir un codi de colors.

### 5.9.3. LED

Un LED (Light Emitting Diode) és un dispositiu semiconductor que emet llum quan és polaritzat i travessat per un corrent elèctric. És molt utilitzat com a indicador lluminós de l'estat d'un aparell (encès, apagat, en espera, carregant-se, etc.). El color depèn del material semiconductor emprat en la construcció del díode podent variar des de l'ultraviolat, passant per l'espectre de llum visible, fins a l'infraroig.

Compost	Color
Arseniür de gal·li (GaAs)	Infraroig
Arseniür de gal·li i alumini (AlGaAs)	Roig i infraroig
Arseniür fòsfur de gal·li (GaAsP)	Roig, taronja i groc
Nitrur de gal·li (GaN)	Verd
Fòsfur de gal·li (GaP)	Verd
Seleniür de zinc (ZnSe)	Blau
Carbur de silici (SiC)	Blau
Nitrur de gal·li i indi (InGaN)	Blau i violeta
Nitrur de gal·li i alumini (AlGaIn)	Ultraviolat
Nitrur d'alumini (AlN)	Ultraviolat
Diamant (C)	Ultraviolat
Díode blau/UV amb fòsfor	Blanc



Esquema d'un LED.

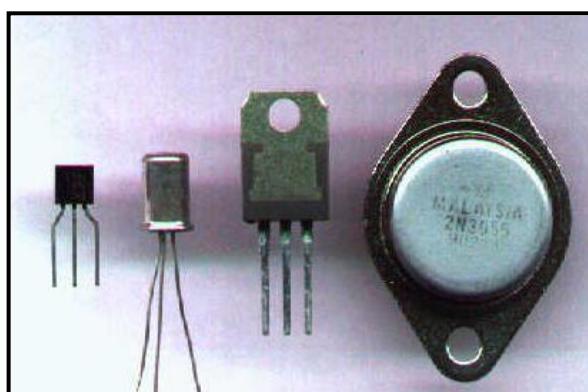
#### 5.9.4. Transistor

El transistor és un dispositiu electrònic semiconductor d'estat sòlid que s'utilitza per a l'amplificació i la commutació del corrent. Disposa de tres terminals, de manera que aportant electricitat al primer, es controla el corrent dels altres dos.

En els circuits digitals, el transistor s'utilitza com un interruptor elèctric molt ràpid, i l'organització sistemàtica dels transistors permet que funcionin com a portes lògiques, memòries tipus RAM i microprocessadors.

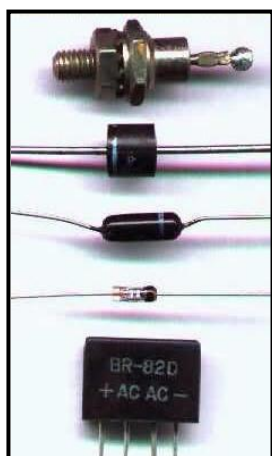
El transistor s'inventà als Laboratoris Bell el desembre de 1947 (demostrat per primera vegada el 23 de desembre) per John Bardeen, Walter Houser Brattain i William Bradford Shockley, als quals es va concedir el premi Nobel de Física el 1956. Irònicament, s'havien proposat crear un transistor d'efecte camp (FET) predit per Julius Edgar Lilienfeld ja en 1925 però al final descobriren l'amplificació de corrent en el transistor amb punts d'unió que posteriorment evolucionà fins convertir-se en el transistor bipolar (BJT).

Els primers transistors estaven fets de germani (Ge) però ara la majoria estan fets de silici (Si). Alguns dels de major rendiment es fabriquen amb arseniür de gal·li (GaAs).



Diferents tipus de transistors.

#### 5.9.5. Díode



Diferents tipus de díodes.

Un díode és un dispositiu electrònic el funcionament del qual es pot extrapolar al d'una vàlvula de buit, ja que permet el flux del corrent elèctric en una direcció, però el bloqueja en el sentit contrari (restringint el moviment dels electrons).

De forma simplificada, la corba característica d'un díode (I-V) consta de dues regions, per sota de certa diferència de potencial, es comporta com un circuit obert (no condueix), i per damunt d'ella com un circuit tancat amb molt poca resistència elèctrica.

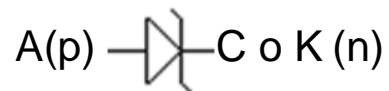
A causa d'aquest comportament, se'ls sol denominar rectificadors, ja que són dispositius capaços de convertir un corrent altern en corrent continu (mitjançant un muntatge especial anomenat pont rectificador).

### 5.9.6. Díode Zener



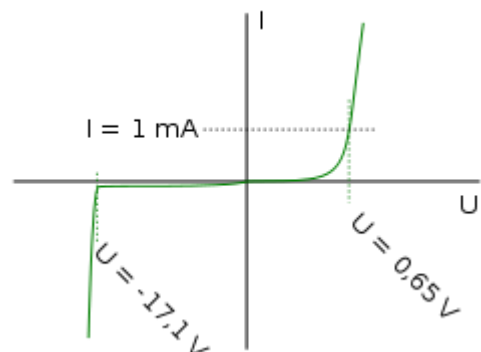
Díode Zener.

Un díode Zener, és un díode semiconductor dissenyat especialment per a treballar en inversa. En aquests díodes, molt dopats, quan la tensió en polarització inversa aconsegueix el valor de la tensió de ruptura (o zener), el mateix camp elèctric de la unió p-n és capaç d'arrencar electrons de la banda de valència permetent la conducció pràcticament sense variació de la tensió. D'aquesta manera la tensió del díode, que sofrirà tan sols petites variacions amb l'increment del corrent elèctric degudes a la resistència interna (de l'orde d'una dècima de volt), pot utilitzar-se com a tensió de referència, típicament en circuits estabilitzadors o reguladors de tensió.



La tensió de ruptura, que segons el model oscil·la entre 2,4 i més de 100 V, pot controlar-se per mitjà del procés de dopatge, i s'aconsegueixen toleràncies del 0,05% del valor nominal o inferiors, encara que els dispositius que s'empren normalment tenen toleràncies del 5 o 10% de la tensió zener.

L'efecte Zener fou descobert pel físic americà Clarence Melvin Zener.



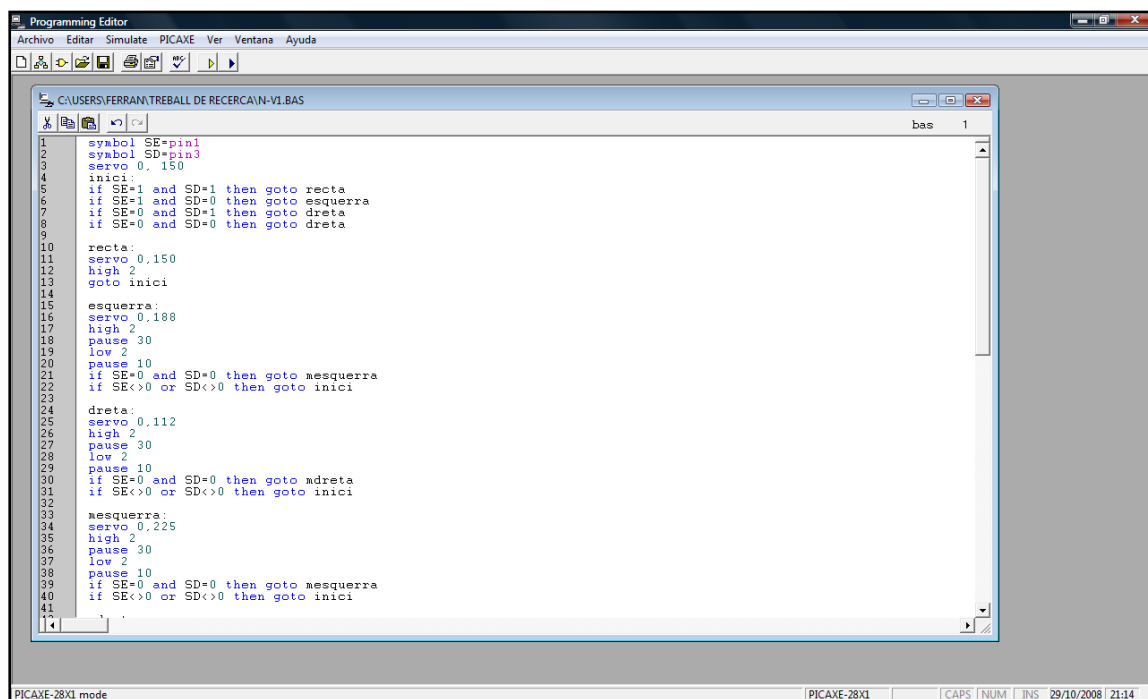
Gràfica V-I en un díode Zener.

## 5.10. Microcontroladors: el sistema PICAXE©

Una de les aplicacions més habituals dels sistemes amb microprocessador són les utilitzades com a elements de control electrònics.

Per tal de fer més senzills aquests sistemes, han anat apareixent tota una sèrie de xips que a més del propi microprocessador, porten incorporats la majoria d'elements auxiliars necessaris per al seu funcionament com son la memòria de dades, memòria de programa, elements de comunicació, etc. Els circuits integrats que incorporen aquets components bàsics per al control se'ls anomena microcontroladors.

Existeixen diverses famílies de microcontroladors com són els de la família 8051 d'INTEL, els de la família PIC de MICROCHIP, els MOTOROLA, etc.



```
1 symbol SE=pin1
2 symbol SD=pin3
3 servo 0, 150
4 inici:
5 if SE=1 and SD=1 then goto recta
6 if SE=1 and SD=0 then goto esquerra
7 if SE=0 and SD=1 then goto dreta
8 if SE=0 and SD=0 then goto dreta
9
10 recta:
11 servo 0,150
12 high 2
13 goto inici
14
15 esquerra:
16 servo 0,188
17 high 2
18 pause 30
19 low 2
20 pause 10
21 if SE=0 and SD=0 then goto mesquerra
22 if SE<>0 or SD<>0 then goto inici
23
24 dreta:
25 servo 0,112
26 high 2
27 pause 30
28 low 2
29 pause 10
30 if SE=0 and SD=0 then goto mdreta
31 if SE<>0 or SD<>0 then goto inici
32
33 mesquerra:
34 servo 0,225
35 high 2
36 pause 30
37 low 2
38 pause 10
39 if SE=0 and SD=0 then goto mesquerra
40 if SE<>0 or SD<>0 then goto inici
41
```

Captura de pantalla de l'editor de programació PICAXE©.

Una característica comú en tots ells és que molt pocs elements auxiliars, permeten llegir senyals externes que provenen de sensors externs i activar directament alguns elements de baix consum LEDs, relés , altaveus, etc.

Quan és necessita més potència de sortida, com és el cas del control de motors, cal afegir components que amplifiquin el senyal que aquests microcontroladors lliuren a la seva sortida. Aquests amplificadors, poden ser molt simples, com és el cas dels transistors, o més complexos com son els xips especialitzats en tasques de control de motors.

Una altra característica d'aquests components és la diversitat de preus. Es poden trobar microcontroladors molt senzills que realitzen les tasques més simples i amb un cost

econòmic molt reduït així com d'altres molt més sofisticats, amb capacitat de realitzar gran quantitat de funcions i, evidentment, més cars.

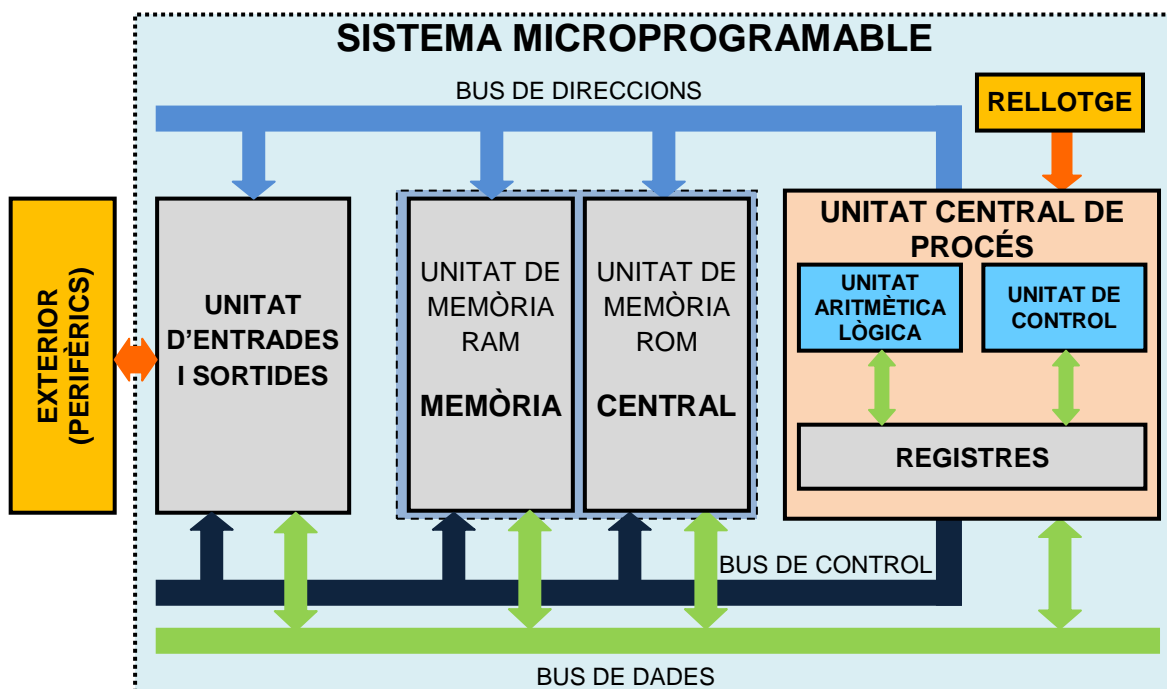
Un element intern bàsic dels microcontroladors és el rellotge. Aquest, és el que determina la velocitat de funcionament del xip.

En moltes ocasions, és necessari incorporar un component extern anomenat cristall o oscil·lador per tal de determinar aquesta velocitat. Es possible augmentar o disminuir la velocitat del rellotge variant el valor del component instal·lat.

El PICAXE® és un sistema de microcontroladors fàcils de programar que explota les característiques úniques de la nova generació de microcontroladors de baix cost amb memòria FLASH.

Aquests microcontroladors poden ser programats una vegada i una altra sense la necessitat d'un costós programador. El poder del sistema PICAXE® radica en la seva senzillesa. No necessita de cap programador, esborrador o complex sistema electrònic, el microcontrolador és programat (amb un simple programa en BASIC o un diagrama de flux) mitjançant una connexió de tres fils connectada al port sèrie (USB) de l'ordinador.

La facilitat de programació dels sistema PICAXE® s'aconsegueix gràcies al fet que el fabricant, subministra els microcontroladors preprogramats amb un petit programa intern (firmware) que és capaç d'interpretar el programa en BASIC, esquema amb portes lògiques o diagrama de flux.



## 5.11. Llenguatges de programació

Un llenguatge de programació és un llenguatge informàtic usat per controlar el comportament d'una màquina, normalment un ordinador. Cada llenguatge té una sèrie de regles sintàctiques i semàntiques estrictes que cal seguir per escriure un programa informàtic, i que en descriuen l'estructura i el significat respectivament. Aquestes regles permeten especificar tant la classe de dades amb què treballarà el programa com les accions que realitzarà. Mentre que alguns llenguatges es defineixen per una especificació formal (un document), altres són definits oficiosament per una implementació concreta (un compilador).

Els llenguatges es poden classificar segons el seu nivell jeràrquic:

- **Primera Generació:** Llenguatge de Màquina, és el més bàsic però en realitat l'únic que comprèn l'ordinador, es centra en nombres en codi binari, la resta de llenguatges actuen traduint el codi.
  - Llenguatge simbòlic
  - Llenguatge assemblador
- **Segona Generació:** Llenguatge assemblador, conté la mateixa estructura i variables que el llenguatge màquina però utilitza noms i variables enlloc de nombres, que un programador pot manipular i definir. El llenguatge es limita al tipus de màquina per la qual es desenvolupa i ha de ser modificat per a altres ordinadors.
- **Tercera Generació:** Llenguatges d'Alt Nivell, que permeten al programador crear programes més o menys independents del tipus d'ordinador. Són llenguatges més fàcils d'administrar, d'entendre i d'actualitzar perquè segueixen unes ordres més similars al llenguatge humà.

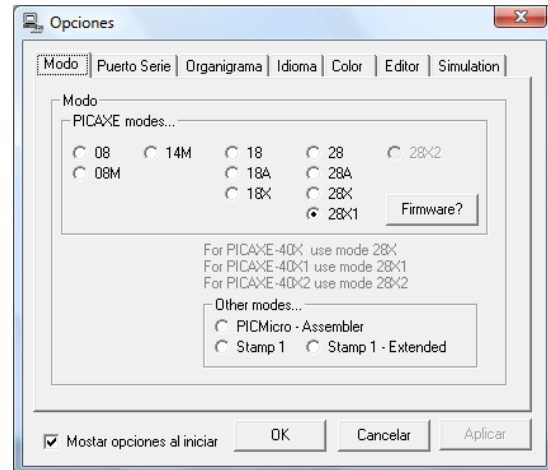
### Llenguatges de programació:

- |                |                        |
|----------------|------------------------|
| • Ada          | • Java                 |
| • Awk          | • Lisp                 |
| • Basic        | • Logo                 |
| • Basica       | • Pascal               |
| • Visual Basic | • Perl                 |
| • FreeBASIC    | • Pike                 |
| • C            | • PL1                  |
| • C++          | • Prolog               |
| • C#           | • Python               |
| • Cobol        | • Rexx                 |
| • Forth        | • RPG II / RPG III ... |
| • Fortran      | • Ruby                 |
| • Gambas       | • Smalltalk            |

## 5.12. El Basic de PICAXE©

BASIC és una família de llenguatges de programació d'alt nivell. Concebut, en principi, com un llenguatge fàcil d'usar, es va implantar al sector dels ordinadors personals en els anys 80, i roman avui en dia amb variants bastant evolucionades.

El nom "BASIC" prové de l'acrònim anglès Beginner's All-purpose Symbolic Instruction Code (Codi Simbòlic d'Instruccions Multipropòsit per Principiants).



Finestra d'opcions del programa PICAXE©.

El sistema PICAXE© és un sistema de programació de molt bones prestacions, però molt econòmic i dissenyat sobretot per a la iniciació i l'educació.

Una de les característiques d'aquest sistema és la capacitat de programar el controlador amb un cable connectat directament a la placa i sense la necessitat d'equips de programació més complexos.

```

symbol SE=pin1
symbol SD=pin3
servo 0, 150
inici:
if SE=1 and SD=1 then goto recta
if SE=1 and SD=0 then goto esquerra
if SE=0 and SD=1 then goto dreta

recta:
servo 0,150
high 2
goto inici

esquerra:
servo 0,188
high 2
pause 30
low 2
pause 10
if SE=0 and SD=0 then goto esquerra
if SE<>0 or SD<>0 then goto inici

dreta:
servo 0,112
high 2
pause 30
low 2
pause 10
if SE=0 and SD=0 then goto dreta
if SE<>0 or SD<>0 then goto inici

```

Programa per a robot rastrejador de capçal pivotant.

## 5.13. Comunicacions

### 5.13.1. Port sèrie

En informàtica un port sèrie, és un tipus de maquinari de comunicació sèrie que permet la transmissió o la recepció de bits un darrere de l'altre. Aquest tipus de port acostumava a ser a la part del darrere dels ordinadors. La seva forma exterior és la d'un connector amb 9 (DE-9) o 25 (DB-25) contactes. Alguns sistemes operatius detecten aquests ports com a COM1, COM2, COM3... tot i que amb un adaptador es pot connectar al port USB.



Port sèrie ATX.

Aquest tipus de port acostuma a utilitzar-se per a la configuració de enrutadors, commutadors, etc. La seva velocitat de transferència de dades no supera els 20 kbps

Atès que hi ha d'altres tipus de maquinari que transmet dades de manera seriada com Ethernet, FireWire o USB, el terme port sèrie acostuma a identificar el maquinari que segueix l'estàndard RS-232.

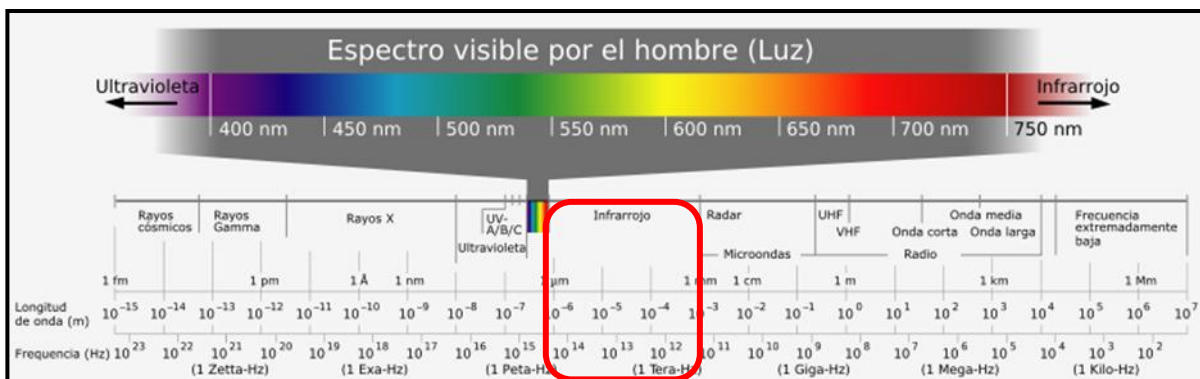
### 5.13.2. Infraroig

L'infraroig, radiació infraroja o llum infraroja (IR) és la part de l'espectre electromagnètic amb una longitud d'ona més llarga que la llum visible però més curta que la radiació de microones. El seu nom significa "per sota del vermell", ja que el vermell és el color de la llum visible amb una major longitud d'ona. La radiació infraroja s'estén al llarg de tres ordres de magnitud amb longituds d'ona d'entre 700 nanòmetres i 1 mil·límetres. L'infraroig s'acostuma a dividir en bandes espectrals determinades:

- **Infraroig proper** (NIR o IR-A), 0,75-1,4  $\mu\text{m}$ , definits per l'absorció en aigua i usat habitualment en la comunicació per fibra òptica, gràcies a la poca absorció en vidres de  $\text{SiO}_2$ .
- **Infraroig mitjà** (MIR):
  - infraroig d'ona curta (SWIR o IR-B), 1,4-3  $\mu\text{m}$ , l'absorció en aigua augmenta considerablement a 1.450 nm
  - infraroig d'ona mitjana (MWIR o IR-C), 3-8  $\mu\text{m}$
  - infraroig d'ona llarga (LWIR o IR-C), 8-15  $\mu\text{m}$
- **Infraroig llunyà** (FIR), 15-1.000  $\mu\text{m}$



La radiació infraroja està associada a la calor, ja que els objectes a temperatura ambient o superior emeten radiació concentrada principalment en la banda de l'infraroig mitjà. Això permet utilitzar els infrarojos per determinar la temperatura d'objectes a distància (se'n coneix l'emissivitat). Aquesta tècnica s'anomena termografia o, en el cas d'objectes molt calents, pirometria. La termografia s'utilitza bàsicament en aplicacions industrials i militars. Els infrarojos també s'utilitzen en els equips de visió nocturna quan la quantitat de llum visible és insuficient per veure els objectes: la radiació es rep i després es reflecteix en una pantalla; els objectes més calents es converteixen en els més lluminosos.

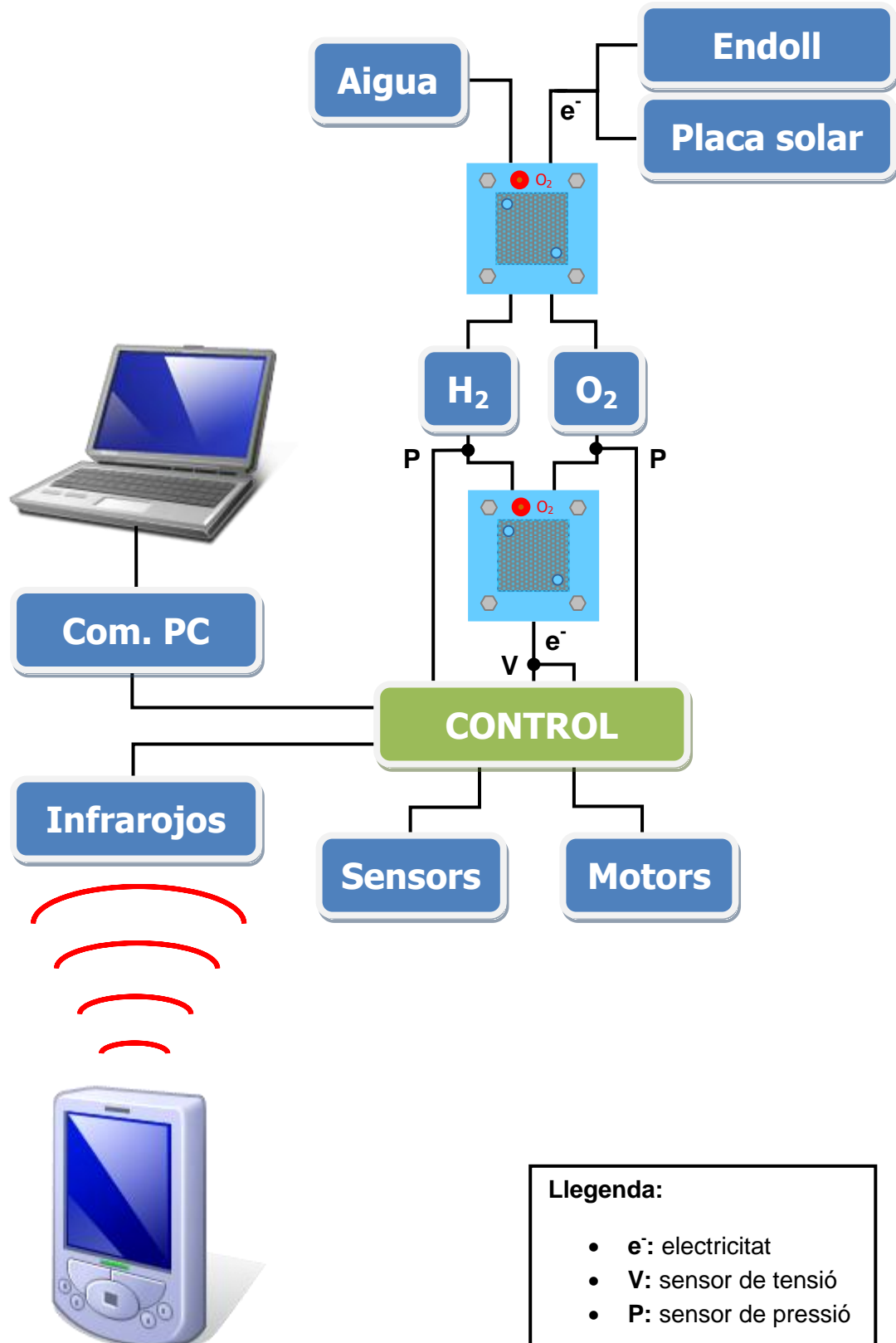


**Espectre electromagnètic (marcat en vermell, l'espectre infraroig).**

Un ús molt comú és el que fan els comandaments a distància, que generalment utilitzen els infrarojos en comptes d'ones de ràdio perquè així no interfereixen amb altres senyals electromagnètics com els senyals de televisió. Els infrarojos també s'utilitzen per a comunicar a curta distància els ordinadors amb els seus perifèrics (els aparells que utilitzen aquest tipus de comunicació compleixen generalment un estàndard publicat per la Infrared Data Association).

## 6. DISSENY I CONSTRUCCIÓ D'UN VEHICLE PROPULSAT AMB HIDROGEN

### 6.1. Esquema de blocs

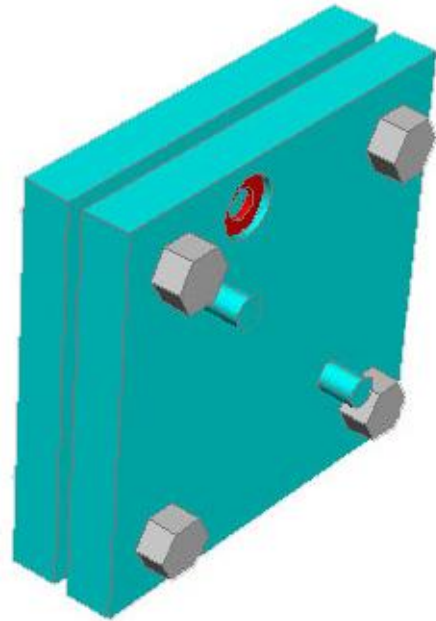


## 6.2. Piles d'hidrogen

A l'hora de triar les piles d'hidrogen es van tenir presents una sèrie de punts que es feien necessaris per a l'òptim rendiment del vehicle.

Un d'ells era que aportessin suficient voltatge i intensitat. D'altra banda calia que no fossin desmesuradament grans. També es va tenir en compte que tinguessin reversibilitat doncs això augmentava el ventall de possibilitats de cara al treball a l'hora de fer proves i utilitzar altres mètodes.

Finalment es van adquirir dos "kits" de cèl·lules FCSU-023. Són grups de cinc cèl·lules reversibles que proporcionen 0,6V i 300mA cadascuna. Tot seguit s'explica les dues funcions de les piles així com les connexions i els sistema utilitzat.



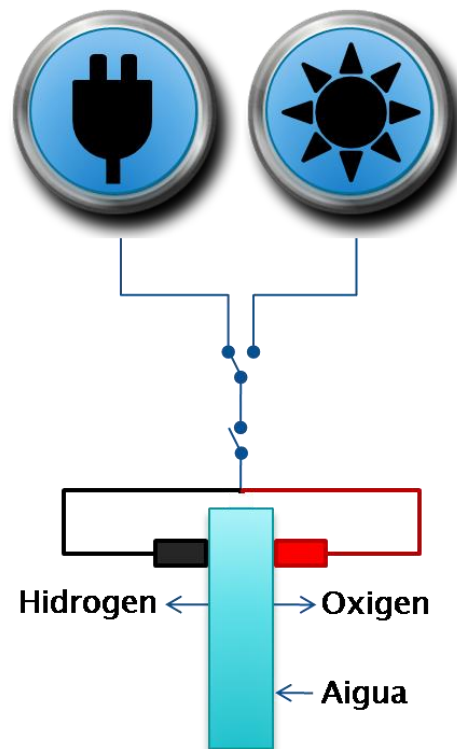
Recreació en 3D de la cèl·lula FCSU-023.

### 6.2.1. Sistema de producció d'hidrogen

Per al sistema de producció d'hidrogen s'ha destinat una cèl·lula. Aquesta produeix hidrogen i oxigen a partir d'aigua, tot realitzant l'electròlisi.

Mitjançant un sistema de claus de pas podem emmagatzemar l'hidrogen i l'oxigen en unes xeringues amb gomes elàstiques que actuen com a recipients a pressió, per a la seva posterior utilització.

L'energia necessària per a trencar els enllaços de les molècules d'aigua pot ser aportada tant des d'un endoll utilitzant un carregador com des d'una placa solar, tancant així tot el cicle utilitzant només energies renovables. Pel que fa al sistema electrònic, la presa pel carregador disposa d'un sistema automàtic de commutador que quan s'endolla el carregador, es desconnecta la placa solar i a viceversa. A més a més s'ha inclòs un commutador que fa les funcions d'interruptor desconnectant la

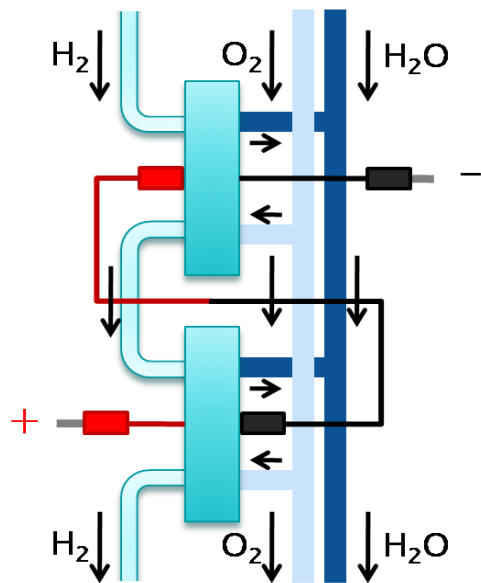


possible aportació d'energia quan el sistema produeix electricitat.

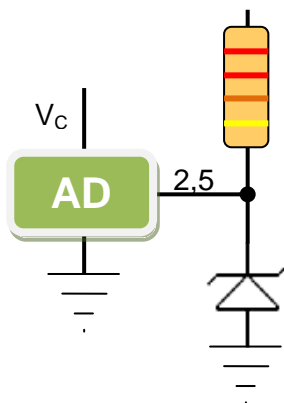
### 6.2.2. Sistema de producció d'electricitat

S'han destinat per al sistema de producció d'electricitat les nou cèl·lules restants.

Obrint les claus de pas de l'hidrogen i l'oxigen, es fan passar els gasos al circuit de consum. L'hidrogen entra per la presa superior del costat de la pila  $H_2$ , circula per dins la pila i l'excedent surt per la presa inferior connectada a la presa superior de la pila adjacent i així successivament. Al final del circuit disposem d'una vàlvula manual que permet purgar el circuit i extreure'n les impureses per aconseguir un rendiment òptim. En canvi, per a aportar l'oxigen i recollir l'aigua resultant tenim les connexions en paral·lel realitzades mitjançant connexions en T i tub transparent. Al final del circuit disposem de dues claus de pas per evacuar el gas sobrant.



### 6.3. Paràmetres a controlar



Sistema per mesurar el voltatge.

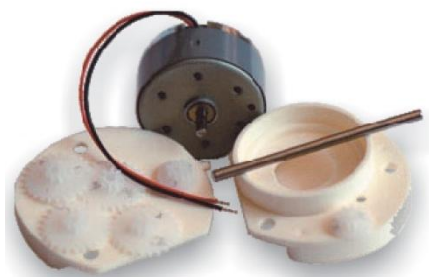
En el prototip del nostre vehicle ens interessava mesurar una sèrie de paràmetres per a poder fer uns estudis de com afectava al rendiment les variacions d'aquests valors.

Els sensors de pressió utilitzats són els MPX50-DP, que poden mesurar pressions entre 0 i 50 kPa.

També incorpora un petit circuit electrònic que permet mesurar el voltatge aportat per les piles. Aquest consisteix en una resistència i un díode Zener, que fa caure 2,5V la tensió. Mesurant els 2,5V a l'entrada ADC i comparant-los amb  $V_{cc}$  podem saber el valor d'aquest.

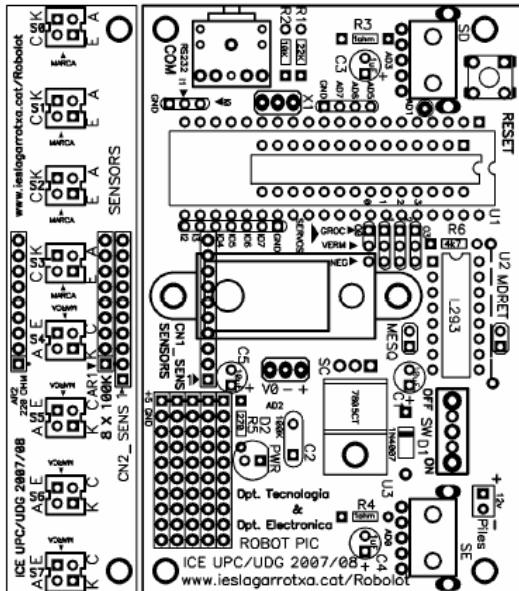
### 6.4. Motors DC/CC

Per al sistema mecànic es van utilitzar motors de corrent continu per a robots. Com que era prioritària la força per damunt la velocitat (doncs el vehicle pesa bastant) i tampoc és imprescindible



aconseguir altes velocitats, s'ha utilitzat un sistema de reducció de 27:1 i així obtenim un parell del motor vint-i-set vegades superior al de l'eix motriu. Les rodes utilitzades són del joc Mecano© i s'ha utilitzat una roda boja com a tercer punt de suport.

### 6.5. Sistema de control



Disseny de la placa utilitzada.

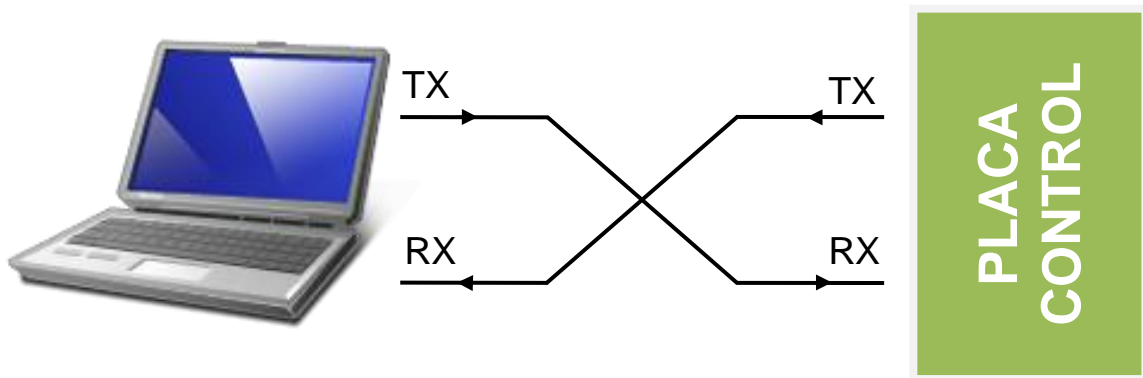
Per al sistema de control s'ha emprat una placa de control dissenyada per l'IES La Garrotxa i utilitzant un microprocessador PICAXE© 28X1, però també accepta un microprocessador de 40 pins.

Seguint el principi d'un sistema automàtic de control, rep ordres dels captadors (sensors, receptor d'infrarojos...) i les gestiona per donar ordres als actuadors (motors, emissor d'infrarojos...) tot seguint un programa de control que porta incorporat.

En la nostra placa disposem d'un sistema de connexió mitjançant infrarojos que permet rebre ordres d'un comandament a distància i enviar informació també a través d'aquest tipus d'ones, que pot ser rebuda per una altra placa connectada al port sèrie de l'ordinador per així poder gestionar les dades.

### 6.6. Comunicacions amb PC

Les comunicacions amb l'ordinador funcionen a través de port sèrie permetent així programar el microprocessador utilitzant el programa PICAXE©. Mitjançant un cable de programació podem programar la placa i rebre els resultats dels sensors. El cable connecta la sortida TX de l'ordinador amb l'entrada RX de la placa i la sortida TX de la placa amb l'entrada RX de l'ordinador, tal com mostra el diagrama següent.



## 6.7. Comunicacions amb infrarojos

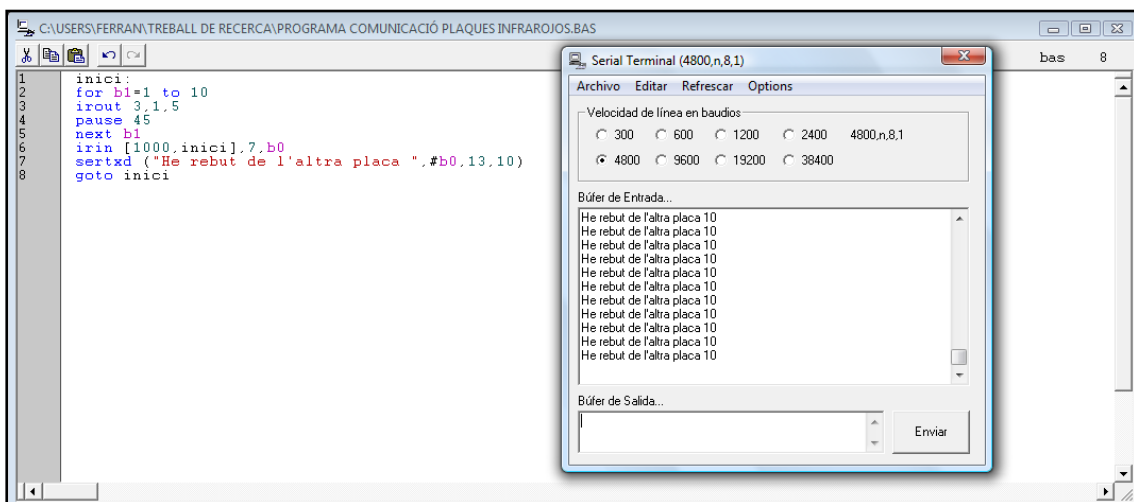
Per a programar la comunicació amb infrarojos s'han realitzat diverses pràctiques. Una d'elles va ser comunicar dues plaques entre elles utilitzant els emissors i receptors d'infrarojos corresponents.

Per a la comunicació amb el vehicle s'ha utilitzat el programa Mobile Media de Nevo© que permet utilitzar una PDA com un comandament a distància d'infrarojos,



Comandament a distància amb una PDA.

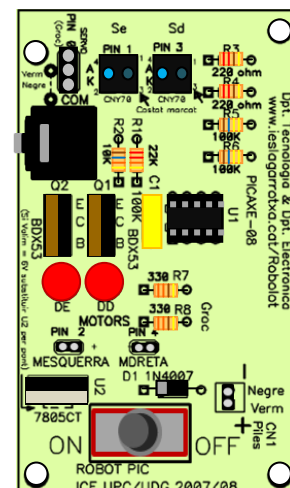
amb la possibilitat de programar els propis comandaments assignant impulsos a una tecla, la qual cosa permet personalitzar-se un comandament per a fer funcionar el vehicle.



Captura de pantalla del programa i de la finestra de comunicació amb la placa.

## 6.8. Programació

La programació del nostre robot era un tema bastant complex que no permetia abordar-lo sense una pràctica prèvia en el sistema de programació PICAXE©. Per això primer de tot es va soldar una placa amb un microprocessador PICAXE-08M i es van fer diverses proves en la programació del robot amb programes descrits més endavant. Finalment s'ha construït un robot rastrejador de capçal pivotant amb la placa. Més endavant i a partir de l'incorporació dels infrarojos les pràctiques es van realitzar amb una placa amb un



microprocessador PICAXE 28X1 que és el que porta incorporat el robot actualment.

Es va començar amb una sèrie de programes senzills per a comprovar el funcionament de la placa i aprendre els controls bàsics de PICAXE©, com per exemple:

```
'*****
'*** PROGRAMA ENCENDRE LEDS ***
'*****

'*****
'*** DEFINICIÓ DE VARIABLES ***
'*****

symbol SE=pin1          'anomena SE al sensor esquerre
symbol SD=pin3          'anomena SD al sensor dret

'*****
'*** PROGRAMA PRINCIPAL ***
'*****

inici:
if SE=0 then goto esquerra 'si sensor esquerre no impuls vés a subrutina esquerra
if SD=0 then goto dreta    'si sensor dret no impuls vés a subrutina dreta

esquerra:
high 2                    'encén el LED esquerre
pause 1000                'espera 1s
low 2                     'apaga el LED esquerre
goto inici                'torna a inici

dreta:
high 4                    'encén el LED dret
pause 1000                'espera 1s
low 4                     'apaga el LED dret
goto inici                'torna a l'inici
```

Llavors es van fer dos programes utilitzant els infrarojos: un encenia el LED tants cops com el nombre de l'impuls enviat per infrarojos i l'altre consistia en comunicar dues plaques amb emissor i receptor d'infrarojos.

```
'*****
'*** PROGRAMA INTERMITENT ENTRADA INFRAROJOS ***
'*****

inici:
high 0                    'encén LED
irin [100,inter],7,b0     'executa inter tants cops com impulsos rebuts
sertxd (#b0,13,10)       'dóna el resultat pel port sèrie
inter:
pause 50                  'espera 50ms
low 0                     'apaga LED
pause 50                  'espera 50ms
high 0                    'encén LED

goto inici                'torna al principi
```

I a continuació el programa de comunicació entre plaques.

```
'*****
'*** PROGRAMA COMUNICACIÓ PLAQUES INFRAROJOS ***
'*****

inici:
for b1=1 to 10            'defineix cicle de 10 vegades
irout 3,1,5               'envia valor 5 per infrarojos
pause 45                  'espera 45ms
next b1                   'acaba el cicle
irin [1000,inici],7,b0    'rep valor per pin7 i guarda-ho a b0
sertxd ("He rebut de l'altra placa ",#b0,13,10) 'envia pel port sèrie el valor rebut
goto inici                'torna a l'inici
```

En aquest programa es van comunicar dues plaques utilitzant els emissors i receptors d'infrarojos respectius. Com que cada placa estava connectada a l'ordinador pel port sèrie, des del programa PICAXE© sabíem en tot moment el valor de l'impuls enviat.



Finalment un dels possibles programes aplicables al funcionament del robot, senzill però amb un resultat vistós és el següent.

```
'*****  
'*** PROGRAMA CONTROL INFRAROJOS ***  
'*****  
  
inici:  
irin 7,b0                                'espera senyal infrarojos  
if b0=1 then goto recte                  'si la senyal és 1 vés a subrutina recte  
if b0=2 then goto dreta                  'si la senyal és 2 vés a subrutina dreta  
if b0=3 then goto esquerra              'si la senyal és 3 vés a subrutina esquerra  
if b0=4 then goto parat                  'si la senyal és 4 vés a subrutina parat  
  
recte:  
high 4                                    'encén motor esquerre  
high 22                                   'encén motor dret  
goto inici                                'torna a l'inici  
  
dreta:  
high 4                                    'encén motor esquerre  
low 22                                    'atura motor dret  
goto inici                                'torna a l'inici  
  
esquerra  
low 4                                     'atura motor esquerre  
high 22                                  'atura motor dret  
goto inici                                'torna a l'inici  
  
parat:  
low 4                                     'atura motor esquerre  
low 22                                    'atura motor dret  
goto inici                                'torna a l'inici
```

## 6.9. Estructura mecànica

En la construcció del robot un dels primers obstacles que es van haver de superar va ser el de dissenyar l'estructura que allotjaria les piles, l'hidrogen i els elements electrònics, és a dir, l'esquelet del nostre vehicle.

### 6.9.1. Disseny mecànic

El disseny mecànic del vehicle presentava un inconvenient important. Hi havia bastants requisits per complir i la distribució havia de ser precisa. Calia poder situar les 10 piles, la bombona d'hidrogen i els sistemes electrònics en un disseny compacte, sense oblidar el cablejat i el sistema de tubs que connecten les cèl·lules.

Després d'algunes proves sobre el programa de dibuix AutoCAD, vaig arribar a la conclusió que la millor distribució era de tres piles a cada lateral i dues piles als frontals, col·locades sobre una base rectangular. D'aquesta manera, a l'interior quedava un espai lliure prou gran com per albergar els sensors, la bombona (en cas que vulguem aportar l'hidrogen de forma externa) i el cablejat. La placa se situa a la part superior del vehicle, de manera que l'accés és molt senzill tant per engegar el vehicle, com per a descarregar els programes. Per a poder passar els cables elèctrics entre pila i pila només va caldre dissenyar un marc amb una sèrie de forats que feien possible la connexió. Per a la resta de cables (motors, placa...), uns forats a la base van ser suficients per a solucionar el problema.

Per a la subjecció de les piles es va creure que la millor opció era aprofitar les ranures que ja presentaven les piles i realitzar la subjecció amb una guia, ja que així es podria muntar i desmuntar les piles tants cops com fos necessari.

### 6.9.2. Materials

El material era un altre aspecte important a definir a l'hora de la construcció. Entre els requisits hi havia: poc pes, bona resistència, possibilitat de tallar les peces a mida, de poder-les unir fermament i, com que es tracta d'un projecte educatiu, la transparència del material també importava ja que així es podria veure l'interior i seria molt més didàctic.

Una part important del disseny (les parets) estaven formades per les piles i, per tant, calia definir el material per a la base, la tapa i els elements de subjecció per a les piles. Per a la base es va decidir el metacrilat doncs complia les condicions exposades i amb un adhesiu líquid de cianocrilat les unions són molt resistents. Per a la subjecció de les piles es va utilitzar un perfil de PVC.

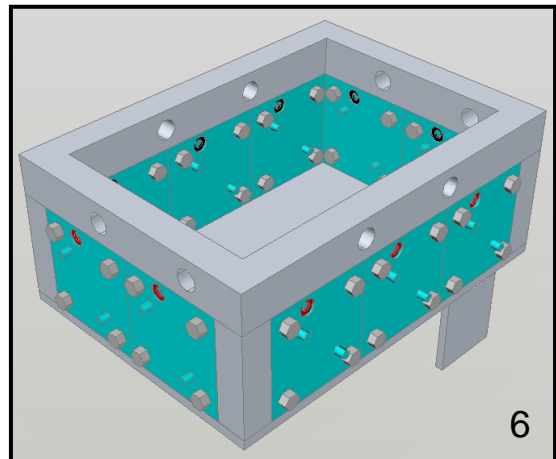
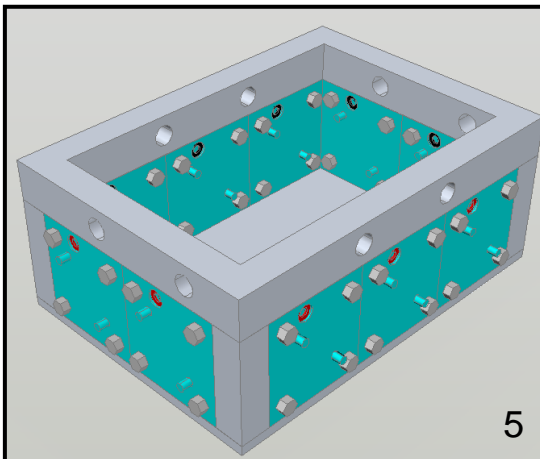
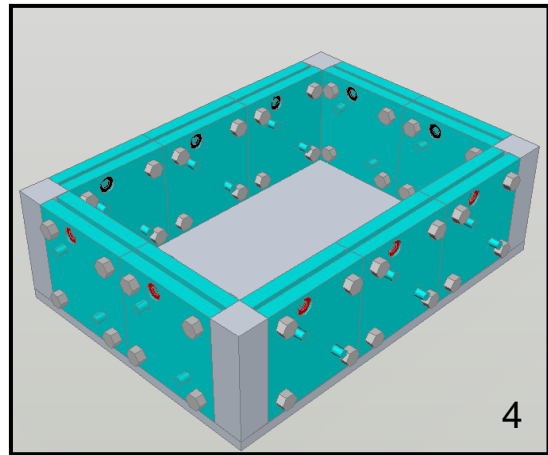
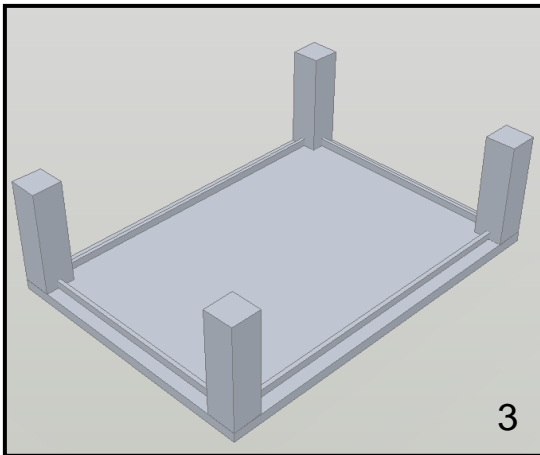
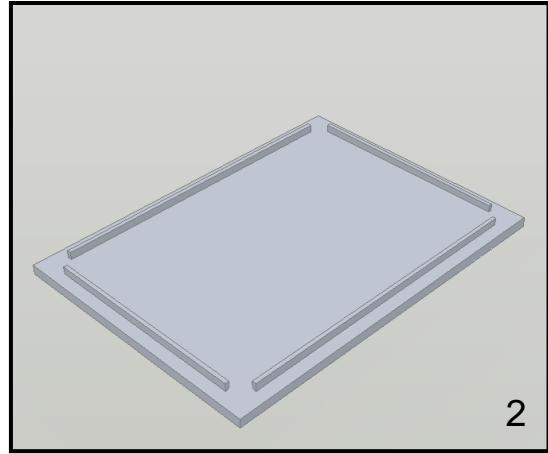
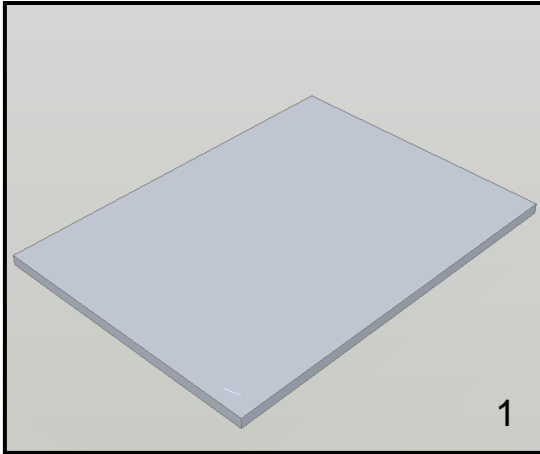
### 6.10. Muntatge del conjunt

Amb el material descrit anteriorment i les peces tallades a la mida que consta als plànols de l'annex i amb els forats passants i roscats corresponents, es poden seguir els passos que es descriuen a continuació per a procedir al muntatge del vehicle.

1. Disposem la placa de suport.
2. Tallem quatre trossos de perfil de plàstic de canaleta de cablejat en forma de T per a poder fixar les piles i els enganxem sobre la placa a la distància corresponent de les vores.
3. Enganxem les quatre columnes, situant-les una a cada cantonada de la placa.
4. Col·loquem les piles en el xassís de manera que el perfil de plàstic quedi introduït dins la ranura de les piles.
5. Enganxem els quatre llistons formant un marc i el col·loquem damunt el xassís. Un cop passats els cables pels forats, el marc quedarà subjectat al vehicle tot i que podem posar quatre cargols a les cantonades per a fixar la unió.
6. Fixem les L que subjecten els motors sota la base del vehicle.

Muntem els motors, les rodes, els sensors de pressió i els suports de les xeringues i ja podem realitzar la connexió de tubs.

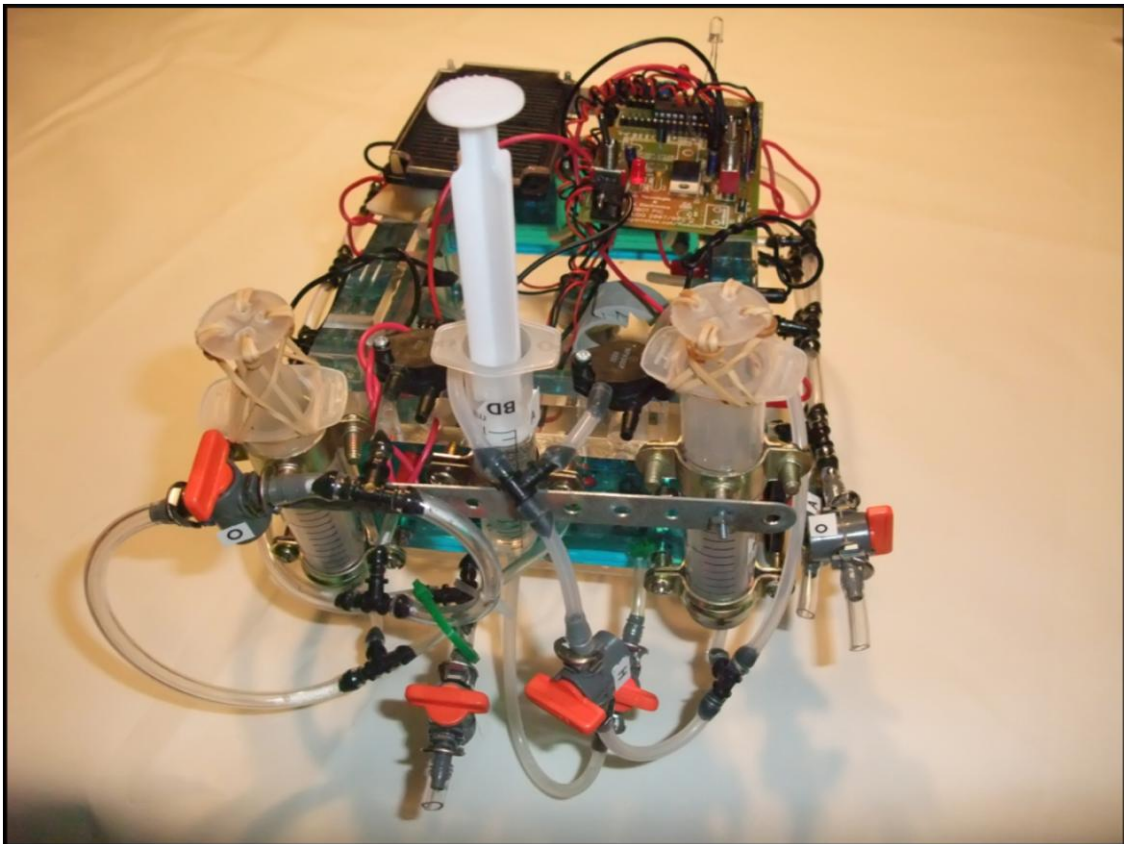
Disseny i construcció d'un vehicle no contaminant propulsat per hidrogen



## 7. ASSAJOS, RESULTATS I MILLORES

El procés de disseny i construcció del vehicle no va estar exempt de problemes i obstacles que es van haver de superar.

El primer problema fou com conduir i emmagatzemar l'hidrogen, que es va solucionar amb un circuit de claus de pas, connexions de tubs en T i tub de goma que permetia tota la xarxa de tubs que transporta els gasos. En l'emmagatzematge s'han utilitzat dues xeringues amb gomes elàstiques que mantenen el recipient a pressió, permetent tenir més quantitat de gas en menys volum.



Un altre problema a solucionar fou que la reducció de 9:1 no donava un parell suficient per a fer moure el vehicle, és per això que es va optar per afegir-hi un tercer engranatge per aconseguir una reducció de 27:1 que, aquest cop sí, tenia prou força per a fer avançar el vehicle. Com que l'eix era massa petit i les rodes no s'acoblaven correctament, va ser necessària una solució molt imaginativa ja que es van utilitzar unes clavilles d'endoll que es van fixar utilitzant el mateix cargol que ja porten incorporat. Aleshores, l'eix resultant ja era prou gruixut i les rodes quedaven correctament fixades.

## Disseny i construcció d'un vehicle no contaminant propulsat per hidrogen

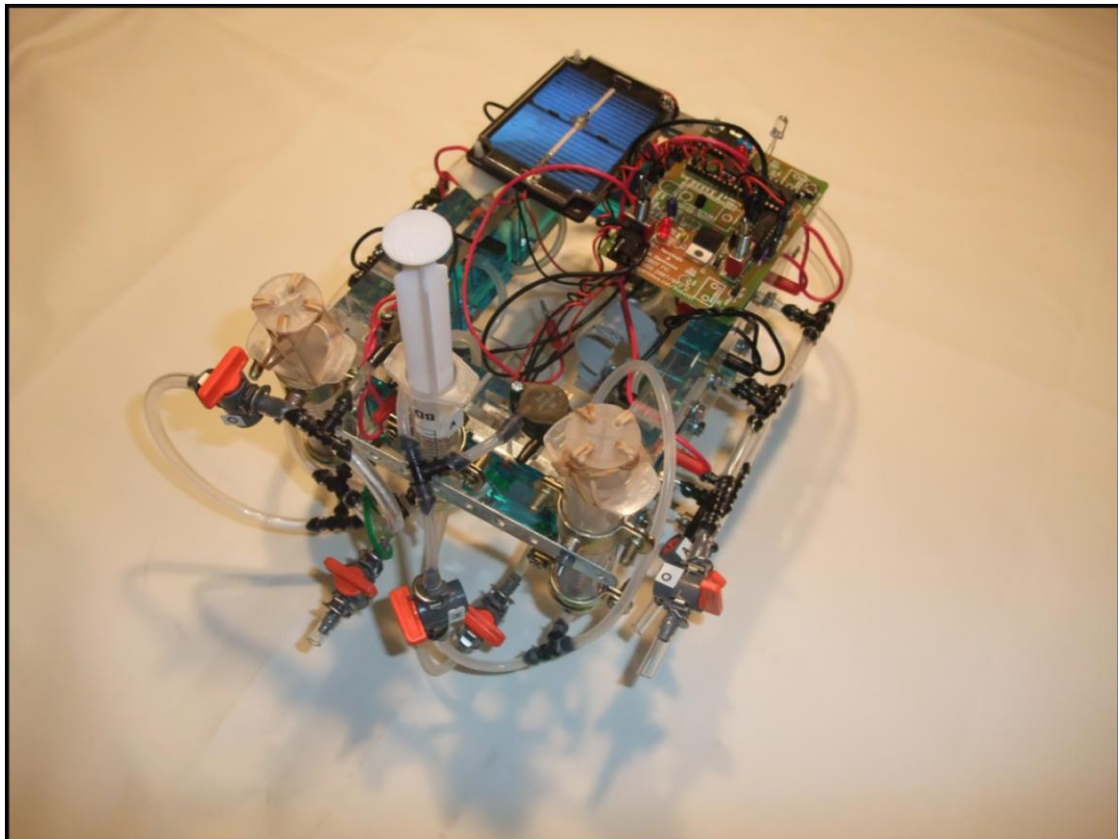
Pel que fa al disseny del vehicle, va ser un repte en si mateix perquè, tal com hem explicat, s'havien de complir una sèrie de condicions que fessin possible totes les connexions.

La fixació de la placa de control al prototip es va fer mitjançant uns suports autoadhesius per a plaques i fixant amb un travesser la placa de control amb la placa solar.

Les connexions amb tubs no han estat una excepció i hi va haver algun problema pel que fa a les fuites d'hidrogen. És per això que totes les unions de tubs estan subjectades amb filferro o amb brides, per intentar assegurar que totes les unions siguin hermètiques.

Posteriorment ens vam trobar amb l'incident més gran que ens ha passat: la cèl·lula destinada a la producció d'hidrogen no funcionava correctament a causa d'uns problemes amb la membrana i va haver de ser intercanviada amb l'última cèl·lula del circuit d'hidrogen.

Pel que fa als assajos i resultats, es va provar el sistema de producció d'hidrogen i el sistema de producció d'electricitat per separat i fins que no van funcionar ambdós independentment, no es va procedir a combinar els funcionaments. També s'han realitzat totes les pràctiques i proves descrites tant amb la placa de control com amb les cèl·lules fins arribar a comprovar el funcionament de cada element per separat.



## 8. CONCLUSIONS

Aquest treball de recerca sobre el disseny i construcció d'un vehicle no contaminant propulsat per hidrogen ha demostrat la viabilitat d'aquest combustible en la seva aplicació en un vehicle telecontrolat.

S'han superat amb escreix les expectatives doncs en el projecte inicial no es contemplava ni el fet d'autoproduir-se l'hidrogen ni el sistema de telecontrol, que són innovacions que han fet que el prototip tingui moltes més possibilitats.

He après el funcionament dels elements electrònics bàsics, els actuadors i sensors elèctrics, els microprocessadors i sistemes de programació i el sistema de telecontrol, que era un camp que m'interessava molt però que no havia tingut massa oportunitats d'entrar-hi.

Pel que fa al tema d'hidrogen, també he pogut entrar en un altre terreny en el que havia experimentat poc i del qual només tenia petites nocions adquirides a classe de química. El fet d'experimentar amb l'hidrogen m'ha permès conèixer les característiques, propietats i aplicacions d'aquest gas, el primer de la taula periòdica, i que ens obre la porta a una aplicació energètica factible i considerable. En referència a les piles d'hidrogen, sabia que existien, però no coneixia massa bé el seu funcionament, les seves capacitats, les seves limitacions i les aplicacions. A més a més, el fet de dissenyar i construir el nostre propi vehicle ha donat al treball un gir important destacant la part pràctica i es diferencia d'aquesta manera del treball d'Eric Gispert on la part teòrica està molt treballada.

Encara que només es tracti d'un prototip a petita escala, canviant les cèl·lules per unes de més potents es podria aconseguir fer funcionar un prototip de transport públic col·lectiu automàtic (seguint el model del metro de Copenhaguen) i que a més funcionés amb energies cent per cent renovables. El fet de demostrar la viabilitat del projecte, obre una porta per a substituir el petroli en un futur no gaire llunyà.

A més a més, el fet de poder generar el propi hidrogen a partir d'energia solar dóna molta autonomia al projecte perquè no es depèn de cap punt d'alimentació mentre hi hagi sol i aigua.

De moment, com ja hem dit anteriorment, s'ha prioritzat el funcionament i no la funcionalitat, però m'agradaria que el treball no es quedés aquí sinó poder avançar i buscar-li les múltiples aplicacions que pot tenir el prototip un cop aconseguit el nostre principal objectiu que és el funcionament.

## 9. BIBLIOGRAFIA

### 9.1. Pàgines Web

- **Viquipèdia** – L'enciclopèdia lliure: <<http://ca.wikipedia.org>> (consultes varies d'abril a octubre de 2008)
- **Wikipedia** – La enciclopedia libre: <<http://es.wikipedia.org>> (consultes varies d'abril a octubre de 2008)
- **Wikipedia** – The free encyclopedia: <<http://en.wikipedia.org>> (consultes varies d'abril a octubre de 2008)
- **Edu365** – Taula periòdica: <<http://www.edu365.cat/batxillerat/ciencies/taula>> (consulta desembre 2007)
- **Revolution Education** – PICAXE©: <<http://www.rev-ed.co.uk>> (consulta gener 2008)
- **H2Planet** – La megatienda de hidrógeno: <<http://www.h2planet.eu/esp>> (consulta febrer 2008)
- **Horizon** – Fuel Cell Technologies: <<http://www.horizonfuelcell.com>> (consulta abril 2008)
- **My footprint** – Redefining process: <http://www.myfootprint.org> (consulta octubre 2008)

### 9.2. Llibres

- **ROCA, Lali.** *Hidrógeno solar.* Monografías técnicas de energías renovables. Fundación Tierra, 2005.
- **DOMÈNECH, Xavier.** *Química atmosférica, origen i efectes de la contaminació.* Miraguano ediciones, 1991.
- **ORTEGA, Mario.** *Energías renovables.* Paranimfo, 2000.
- **MITJÀ, Albert.** *El vehicle elèctric: situació actual i perspectives.* Generalitat de Catalunya, 1999.
- **GISPERT, Eric.** *Vehicles d'hidrogen.* IES-SEP La Garrotxa, 2004.



## 10. AGRAÏMENTS

Aquest treball no hauria estat possible sense l'ajut d'una sèrie de persones a qui vull donar les gràcies i fer constar en aquesta secció.

Primer de tot vull agrair la paciència mostrada per en Toni durant tot el procés de recerca i en tots els experiments i proves del vehicle.

Als meus pares i al meu germà per la predisposició que han tingut durant tot el treball de recerca.

També a la resta de la meva família també pel suport mostrat al projecte.

A en Josep Soler per llegir i revisar el treball i ajudar-me a millorar-lo.

Cal agrair la disposició d'en Lluís Bancells que ens va obrir les portes del laboratori de l'IES La Garrotxa per a fer els experiments de l'electròlisi i a en Josep Maria Poch per revisar i corregir els plànols del prototip.

Igualment al Departament de Sanitari pel subministrament de material que ens va ser molt útil per a la construcció del robot i l'experimentació amb l'hidrogen.

També a la Upe González per l'assessorament sobre el material sanitari utilitzat per emmagatzemar els gasos.

A l'Isidre Casalprim d'AGROMECÀNICA per subministrar-nos l'hidrogen necessari per a fer funcionar el prototip.

I a tothom que sense saber-ho d'una manera o altra ha col·laborat en la realització d'aquest projecte.