

Projecte de Fi de Carrera
Enginyer industrial

Una aplicació de l'hidrogen: l'habitatge autosuficient

MEMÒRIA

Autor: Xavier Arumí Prat
Director: Joaquim Lloveras Macià
Convocatòria: Novembre 2004 (pla 94)



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona



RESUM

En el projecte s'ha estudiat la viabilitat tecnològica i econòmica de l'hidrogen com a font d'energia intermèdia a nivell domèstic. S'ha fet un estudi sobre els sistemes d'obtenció d'hidrogen que hi ha actualment per determinar quin dels quals és més viable en un habitatge. També s'han estudiat els sistemes d'emmagatzematge de l'hidrogen, i els sistemes d'aprofitament per obtenir energia elèctrica i tèrmica a partir de l'hidrogen.

Posteriorment a aquests estudis, s'ha dissenyat una instal·lació per un habitatge amb un consum energètic mitjà situat a la ciutat de Vic (Barcelona). Aquest tipus d'instal·lació està destinada a vivendes aïllades, no obstant pot ser aplicada en qualsevol habitatge. Aquesta instal·lació és energèticament autosuficient, utilitza l'energia solar fotovoltaica com a font primària d'energia i la funció de l'hidrogen és de vector energètic. O sigui que l'hidrogen és utilitzat per emmagatzemar l'excedent d'energia elèctrica que es produeix a la instal·lació. Per exemple, durant l'estiu hi ha excedent d'energia fotovoltaica, aquesta energia elèctrica es pot transformar en hidrogen i utilitzar-se durant la resta de l'any quan les condicions climàtiques no són tan favorables. De la instal·lació dissenyada s'ha calculat el rendiment global (14,6%), així com les característiques dels diferents elements per tal d'assegurar el bon funcionament de la instal·lació.

A més de l'anterior instal·lació, també s'han estudiat diverses instal·lacions alternatives per tal de comparar-les. Les instal·lacions alternatives han estat: instal·lació d'hidrogen únicament pel consum elèctric, instal·lació d'hidrogen amb caldera de gas per calefacció i ACS, instal·lació amb bateries per emmagatzemar l'energia, instal·lació amb connexió a la xarxa elèctrica de distribució (venda de l'energia).

Des del punt de vista econòmic, la instal·lació amb hidrogen té un cost molt elevat però es deu al fet que la tecnologia és molt nova i per tant cara. Quan aquesta tecnologia ja sigui madura, el cost de les piles de combustible serà molt més baix. Aquest projecte ha servit per demostrar que la tecnologia de l'hidrogen ja forma part del present, i que actualment una instal·lació d'aquest tipus ja és tecnològicament viable; no obstant, cal seguir investigant per tal de millorar l'eficiència del procés i altres problemes tècnics com l'emmagatzematge de l'hidrogen.





Sumari

RESUM	1
SUMARI	3
1.-INTRODUCCIÓ	7
1.1.-Objectiu.....	7
1.2.-Finalitat.....	8
1.3.-Antecedents.....	9
2.-SITUACIÓ ENERGÈTICA ACTUAL	10
2.1.-Necessitat d'un sistema energètic més sostenible.....	16
2.2.-El canvi energètic a Europa.....	18
3.-CLASSIFICACIÓ DE LES DIVERSES FONTS D'ENERGIA	21
3.1.-L'energia solar.....	25
4.-L'HIDROGEN	28
4.1.-Introducció.....	28
4.2.-Propietats de l'hidrogen.....	30
4.2.1.-Breu història de l'element.....	31
4.2.2.-Propietats físiques i químiques de l'element.....	31
4.2.3.-Característiques i aspectes propis de l'element.....	34
4.2.4.-Usos i aplicacions de l'hidrogen com a element químic.....	37
4.2.5.-Principals processos d'obtenció d'hidrogen.....	38
4.3.-Avanços i reptes en l'estudi de l'hidrogen.....	41
4.3.1.- A nivell mundial: estudi de 3 empreses pioneres.....	41
4.3.2.- A nivell europeu.....	51
4.3.3.- A nivell estatal.....	54
4.4.-Les piles de combustible.....	58
4.4.1.-Informació general.....	58
4.4.2.-Breu història de les piles d'hidrogen.....	58
4.4.3.-Estructura i funcionament.....	59
4.4.4.-Tipus de piles de combustible.....	62
4.4.5.-Aplicacions.....	64
4.4.6.-Avantatges i inconvenients de la pila d'hidrogen.....	69



4.5.-L'hidrogen al sector de l'automoció.....	70
5.-DISSENY DE LA INSTAL·LACIÓ	74
5.1.-Descripció de la instal·lació.....	74
5.2.-Elements necessaris.....	77
5.2.1.-Plaques fotovoltaïques.....	78
5.2.2.-Convertidor de tensió.....	85
5.2.3.-Electrolitzador.....	87
5.2.4.-Dipòsit d'hidrogen a baixa pressió.....	89
5.2.5.-Dipòsit d'hidrogen a alta pressió.....	90
5.2.6.-Compressor.....	91
5.2.7.-Pila d'hidrogen.....	93
5.2.8.-Inversor de tensió.....	94
5.2.9.-Central de gestió.....	96
5.2.10.-Sensors de pressió.....	97
5.2.11.-Electrovàlvules.....	98
5.2.12.-Regulador de pressió.....	99
5.2.13.-Filtre d'oli.....	99
5.2.14.-Detector d'hidrogen.....	100
5.2.15.-Tubs.....	101
5.3.-Dimensionament de la instal·lació.....	103
5.3.1.-Necessitats energètiques.....	103
5.3.2.-Resultats.....	108
5.3.3.-Resum de resultats.....	119
6.-VIABILITAT ECONÒMICA	142
7.-ESTUDI DE L'IMPACTE AMBIENTAL	145
8.- ESTUDI D'ALTERNATIVES	150
8.1.-Instal·lació d'hidrogen únicament pel consum elèctric.....	150
8.1.1.-Càlculs.....	150
8.1.2.-Viabilitat econòmica.....	153
8.2.-Instal·lació d'hidrogen amb caldera de gas per a la calefacció i ACS..	156
8.2.1.-Càlculs.....	157
8.2.2.-Viabilitat econòmica.....	162
8.3.-Instal·lació fotovoltaica amb bateries	164



8.3.1.-Càlculs.....	167
8.3.2.-Viabilitat econòmica.....	170
8.4.-Instal·lació fotovoltaica amb connexió a la xarxa elèctrica.....	173
(venta de l'energia)	
8.4.1.-Càlculs.....	176
8.4.2.-Viabilitat econòmica.....	176
8.5.-Comparativa entre les diferents alternatives.....	179
9.-CONCLUSIONS	182
9.1.-L'hidrogen com a vector energètic.....	182
9.2.-Conclusions del projecte.....	183
10.-BIBLIOGRAFIA	187

ANNEX A: Dades de consum d'energia elèctrica de 80 habitatges.

ANNEX B: Mapes d'irradiació solar de Catalunya

ANNEX C: L'energia solar fotovoltaica

ANNEX D: Característiques dels diferents tipus de piles de combustible

ANNEX E: Informació del mercat actual de piles de combustible

ANNEX F: Característiques tècniques de varis models de piles d'hidrogen

ANNEX G: Informació tècnica sobre varis models d'electrolitzadors

ANNEX H: Característiques tècniques de diferents elements de la instal·lació:

Compressors, reguladors de pressió,...





1. INTRODUCCIÓ

1.1. Objectiu

L'objectiu del projecte és dissenyar una instal·lació d'hidrogen per un habitatge amb un consum energètic mitjà situat a la ciutat de Vic (Barcelona). Aquesta instal·lació haurà de ser energèticament autosuficient, utilitza fonts d'energia renovable com a font primària d'energia i la funció de l'hidrogen és de vector energètic. L'hidrogen és utilitzat per emmagatzemar l'excedent d'energia elèctrica que es produeix a la instal·lació. Per exemple, durant l'estiu hi ha excedent d'energia fotovoltaica, aquesta energia elèctrica es pot transformar en hidrogen i utilitzar-se durant la resta de l'any quan les condicions climàtiques no són tan favorables.

En el projecte s'estudiarà la viabilitat tecnològica i econòmica de l'hidrogen com a font d'energia intermèdia a nivell domèstic. Cal fer un estudi sobre els sistemes d'obtenció d'hidrogen que hi ha actualment per determinar quin dels quals és més viable en un habitatge. També és necessari un estudi dels sistemes d'emmagatzematge de l'hidrogen, i dels sistemes d'aprofitament per obtenir energia elèctrica i tèrmica a partir de l'hidrogen.

De la instal·lació dissenyada es calcularà el rendiment global, així com les característiques dels diferents elements per tal d'assegurar el bon funcionament de la instal·lació. S'ha analitzat la viabilitat econòmica d'aquesta instal·lació, i també el seu impacte ambiental.

A més de l'anterior instal·lació, també s'estudiarà vàries instal·lacions alternatives per tal de comparar quina de les quals és més viable tecnològicament, més econòmica, més eficient, més ecològica; com l'ús de bateries per emmagatzemar l'energia, o una instal·lació amb connexió a la xarxa elèctrica de distribució (venda de l'energia). D'aquesta forma es pot comparar la instal·lació d'hidrogen amb instal·lacions que també utilitzen fonts d'energia renovables i que actualment ja es troben en funcionament en alguns habitatges. En funció dels resultats obtinguts, es valorarà l'aplicació de l'hidrogen en habitatges en l'actualitat, a curt i a llarg termini.



1.2. Finalitat

La finalitat del projecte és estudiar i comprovar si l'utilització de l'hidrogen en un habitatge és possible actualment o no, ja que es tracta d'una nova tecnologia; a més, el projecte permetrà veure quina és la seva viabilitat econòmica

El motiu de l'utilització de l'hidrogen es deu a la dificultat d'emmagatzemar l'energia elèctrica, fins ara per tal d'emmagatzemar l'energia elèctrica obtinguda per exemple a partir de panells fotovoltaics s'empraven bateries. No obstant, aquestes bateries presenten els següents inconvenients: tenen una capacitat d'emmagatzematge reduïda, el seu preu és força elevat i la seva vida útil no és gaire elevada (5-10anys). L'hidrogen es planteja com la font d'energia del futur, per tal de substituir l'actual dependència dels combustibles fòssils per una font d'energia renovable. A partir de l'hidrogen s'obté energia elèctrica mitjançant una reacció química entre l'hidrogen i l'oxigen, com a resultat s'obté l'esmentada energia elèctrica i aigua, per tant tenim una emissió de productes contaminants nul·la.

Una altra gran avantatge és que l'hidrogen presenta una utilització molt semblant a la que estem acostumats amb els derivats del petroli. Estem habituats a que quan ens falta combustible en el cotxe anem a la gasolinera i omplim el dipòsit, aquest és el motiu més important pel qual els cotxes elèctrics no poden competir amb els propulsats amb combustibles fòssils ja que les bateries que utilitzen requereixen un temps de recàrrega força elevat (≈8hores). En un futur no molt llunyà les actuals gasolineres podrien subministrar hidrogen als vehicles. La instal·lació dissenyada per a l'habitatge, a més de proporcionar l'energia necessària a l'habitatge, podria subministrar l'hidrogen pels vehicles d'un futur no gaire llunyà.

Actualment hi ha força projectes d'investigació que persegueixen l'objectiu d'emprar l'hidrogen com a combustible en els turismes, especialment en països com Alemanya. Empreses automobilístiques importants com Mercedes-Benz, Opel, BMW... s'han involucrat de forma molt notable en aquesta nova tecnologia, i els resultats obtinguts fins ara són molt bons. Fins i tot a Barcelona ja s'ha instal·lat una petita flota d'autobusos (projecte CUTE) que utilitzen l'hidrogen, per a l'obtenció de l'hidrogen s'ha instal·lat una planta fotovoltaica.



1.3. Antecedents

Fins al moment els habitatges autosuficients utilitzaven bateries elèctriques per tal d'emmagatzemar l'energia produïda. No obstant, degut als inconvenients que presenten aquestes bateries (principalment el preu), aconseguir un habitatge autosuficient resulta inviable econòmicament. L'utilització de l'hidrogen representa una alternativa a les bateries, no obstant presenta avantatges i inconvenients com tots els combustibles.

Fins ara, l'hidrogen únicament s'utilitzava en certs processos industrials com poden ser: fabricació de semiconductors, processos de soldadura,... No obstant existeixen poques aplicacions on l'hidrogen actuï com a vector energètic. En missions espacials si que s'ha utilitzat l'hidrogen per produir energia mitjançant piles de combustible.

Algunes indústries utilitzen piles de combustible per generar energia, però cal a dir que no utilitzen l'hidrogen com a combustible, ja que resulta massa car actualment.

Tal com ja s'ha comentat en l'apartat anterior, gran part de les investigacions actuals s'estan centrant en l'aplicació de l'hidrogen al sector de l'automoció. Una investigació molt important que s'està duent a tot Europa és l'anomenat projecte CUTE. Aquest projecte consisteix en la implantació d'autobusos que funcionen amb hidrogen en nou ciutats europees, entre elles Barcelona i Madrid. No obstant, únicament un 10% de l'hidrogen que consumeixen és produït mitjançant les plaques fotovoltaïques (electròlisi de l'aigua). La resta de l'hidrogen s'obté principalment de l'steam reforming, procés en el qual es combina el gas natural i vapor d'aigua per obtenir hidrogen.

En l'àmbit domèstic fins ara no s'ha intentat aplicar-hi la tecnologia de l'hidrogen. Per tant, aquest projecte servirà per analitzar si és factible o no realitzar això. Cal mencionar, que hi poden haver algunes institucions privades o inventors que ja ho hagin intentat, però que no ho hagin donat a conèixer a nivell públic.



2. SITUACIÓ ENERGÈTICA ACTUAL

La situació energètica actual [Ref.9] evidencia la manca d'un model energètic sostenible, ja que gran part del consum energètic mundial prové de fonts d'energia no renovables, majoritàriament els combustibles fòssils (petroli, carbó i gas natural). Aquest problema encara s'agreuja més degut al fet que el consum d'energia al món augmenta cada any. Per tant la societat s'ha de plantejar una solució a la dependència dels combustibles fòssils en un termini relativament curt ja que les reserves són limitades. Alguns experts afirmen que amb el consum actual de petroli, les reserves d'aquest combustible s'hauran esgotat en uns 40 anys. No obstant és difícil saber realment per quants anys el món podrà gaudir del petroli, ja que els productors en tenen el control i per tant ho mantenen en secret per tal de poder especular amb els preus i obtenir el màxim benefici. Però el que està clar és que la societat s'ha de desvincular de l'ús del petroli el més aviat possible. D'aquí a pocs anys, 20 30 o 40, el preu del petroli serà inaccessible per molta gent i a més si no s'ha desenvolupat un altre sistema energètic l'escassetat de petroli provocarà l'aparició de conflictes, guerres,... per tal d'aconseguir el poc petroli que encara quedi al món.

En la següent figura (Fig. 2.1) s'indica el consum d'energia primària al món (any 2000). Es pot observar la total dependència de les fonts d'energia no renovables.

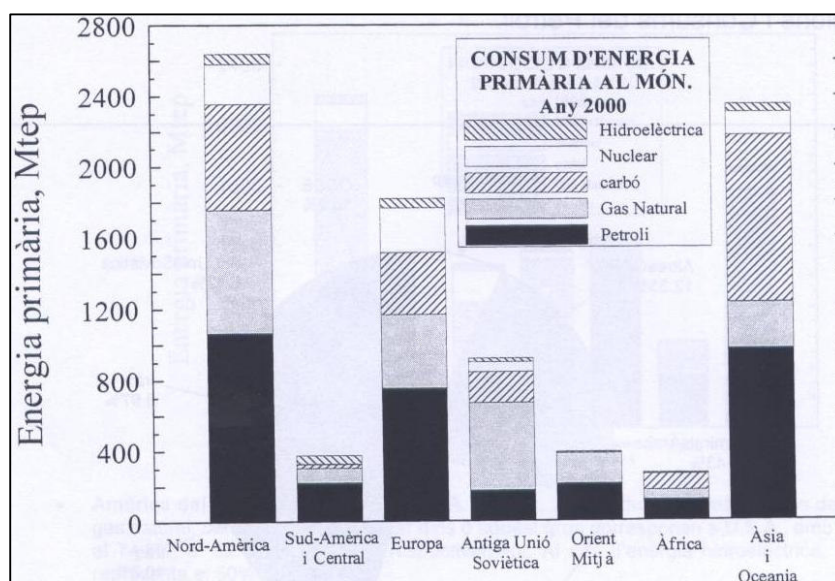


Fig. 2.1. Consum d'energia primària al món (any 2000) (font: Tecnologia Energètica (ETSEIB/UPC))



En la següent taula (Taula 2.1) es pot observar la distribució de les reserves de petroli per àrees geogràfiques (any 1996). L'Orient Mitjà és el gran productor mundial, mentre que els països desenvolupats depenen de les importacions de petroli d'altres països per tal de satisfer les seves necessitats.

	% Reserves mundials	% Producció mundial	% Consum mundial
U.S.A	3	11,4	25,2
Orient Mitjà	65,2	29,2	5,7
Ex U.R.SS	6,4	10,5	6,0
Japó	0,1	0,5	8,1
Espanya	0,1	0,5	1,8

Taula 2.1. Distribució de les reserves de petroli al món (any 1996)

A continuació es detallen quines són les *tendències energètiques mundials*.

Tendències mundials (1980-1998)

Producció:

- La producció d'energia al món continua dominada pel petroli (37%) i per les regions de la NAFTA (Canadà, Mèxic i EUA) (25%).
- La producció d'energia als països de la CEI (Comunitat d'Estats Independents) ha disminuït un 27% des del 1990.
- Petroli: un 40% de la producció mundial continua coberta per la OPEP.
- Gas: Producció afectada pel comportament de la CEI.
- Combustibles sòlids: un 24% de la producció d'energia al món. Dominen la generació d'electricitat.
- Nuclear: no hi ha tendències que impliquin un augment en la seva contribució.
- Biomassa: Àsia és responsable del 50% de la producció.

Consum:

- El consum energètic mundial ha augmentat un 1,3%/any des del 1990, amb una clara acceleració els anys 1995 i 1996.
- El consum d'energia final, liderat pel sector transport i serveis, ha augmentat un 1,1%/any des del 1980.



- El consum d'energia final elèctrica ha augmentat un 30% des de l'any 1980.
- El consum per càpita es manté estable al món (tot i que a Àsia ha augmentat un 60% des del 1980).

Aspectes mediambientals:

- Excloent els països subdesenvolupats, les emissions de CO₂ han augmentat un 2,7% en terme mig des de l'any 1990.
- Les emissions degudes a la generació de potència han passat d'un 28% (1980) a un 34% (1996).

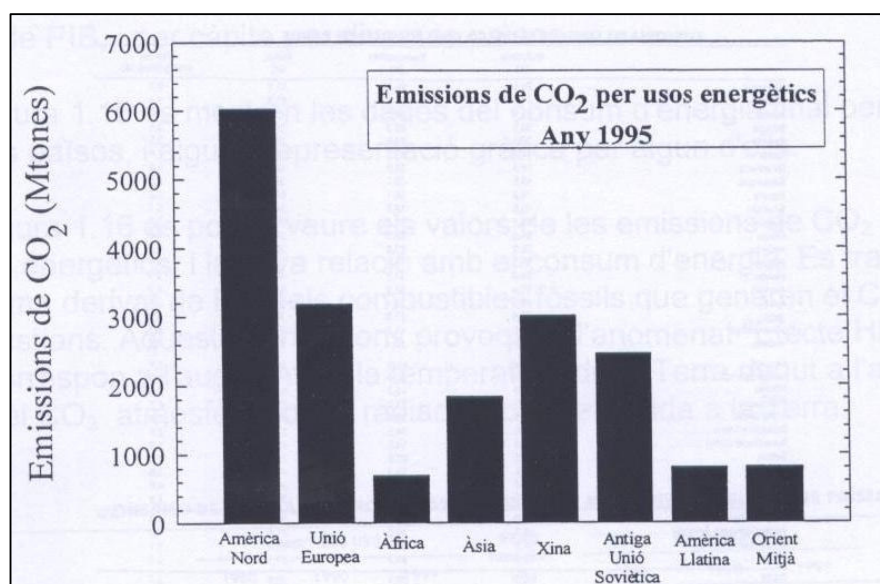


Fig. 2.2. Emissions de CO₂ per diferents regions (1995) (font: Tecnologia Energètica (ETSEIB/UPC))

Tendències Energètiques a la Unió Europea durant el període 1985-1996

La Unió Europea (UE) és una de les regions mundials que consumeixen més energia. L'any 1996 va consumir 1417 Mtep, prop del 15% del consum mundial. Degut al caràcter heterogeni dels diversos països que formen la UE (el seu clima, el Producte Interior Brut, evolució del PIB, etc) l'anàlisi de les seves tendències és complex.



Producció d'energia:

- L'autosuficiència energètica de la UE ha fluctuat entre un 58,5% l'any 1985, un descens fins el 50,2% l'any 1992, i un increment l'any 1996 situant-se al 53,3%.
- La producció d'energia primària a la UE l'any 1985 estava dominada pels combustibles sòlids (carbó) amb un 32,6% (239,9 Mtep) del total.
- L'any 1994 el domini va passar al sector nuclear amb un 27,4% (198,84 Mtep), i es va mantenir fins al 1996 amb un 27,8% (213,65 Mtep).
- El Gas Natural i l'Energia Nuclear són les fonts d'energia primària que han sofert l'increment més important durant el període 1985-1996 amb un 43,2% i un 45% respectivament.
- L'energia hidràulica junt amb l'eòlica representen el 3,3% de la producció total d'energia primària a l'any 1996 i no ha variat significativament en tot el període 1985-1996.
- La generació elèctrica ha seguit una tendència creixent des del 1985 fins l'any 1996 amb un increment del 25,7% per aquest període.
- L'importació de petroli i els seus derivats representa el 68,6% de les importacions totals.

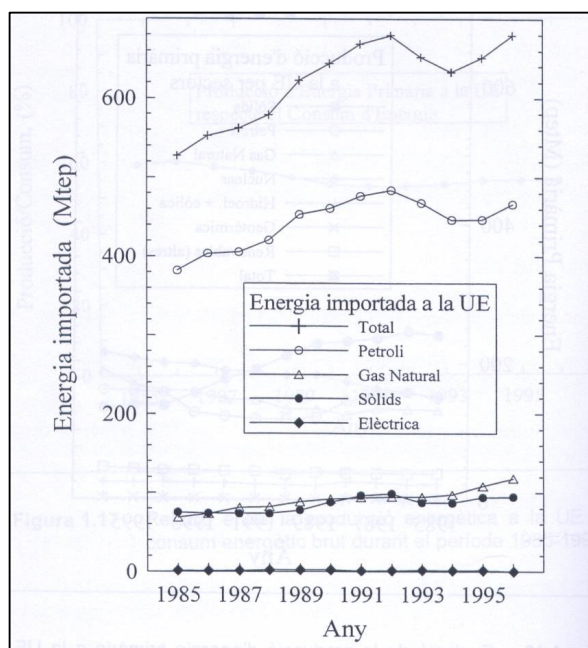


Fig. 2.3. Evolució de l'energia importada a la UE (font: Tecnologia Energètica (ETSEIB/UPC))



Consum d'energia:Sector Industrial:

- El consum d'energia al sector industrial va patir una davallada entre els anys 1990 i 1994 degut a l'aplicació de retallades de costos i un descens en la producció industrial, patint posteriorment un creixement accelerat (3,5%) entre el 1994 i el 1996.
- La Intensitat Energètica Industrial (IEI) –quocient entre la demanda energètica i la producció industrial-, va patir un descens del 20% entre l'any 1985 i l'any 1995. L'any 1996 va començar a recuperar-se. La millora en la IEI requereix un creixement en la producció industrial.
- El gas natural i l'electricitat representen el 62,5% del total del consum industrial l'any 1996.

Sector Transports:

- El sector transports és el responsable en un 70% de l'increment en la demanda d'energia final des de l'any 1985.
- El nombre d'usuaris del transport ha sofert un increment més ràpid que el creixement econòmic degut al turisme.
- El transport per carretera es tradueix en un increment en el consum energètic i de les repercussions ambientals
- El combustible principalment consumit és el petroli, amb un 98% del total de consumit pel sector entre el 1985 i 1996.
- Augment de la demanda del transport aeri, en part degut a la liberalització del mercat aeri.
- La Intensitat Energètica del Transport (IET) va iniciar un lent descens després de l'any 1994.

Sector domèstic i serveis:

- Les energies que es distribueixen per xarxes incrementen el seu pes del 49% a l'any 1985 fins a un 64% l'any 1996.
- La demanda d'energia final entre els anys 1985 i 1996, s'ha mantingut pràcticament constant.



- La reducció del consum energètic degut a l'aparició de millores tecnològiques, s'ha vist compensat amb l'aparició de nous dispositius electrònics (reproductors de vídeo, ordinadors domèstics, aires acondicionats,...)
- La intensitat energètica, corregida per les condicions climàtiques, s'ha mantingut gairebé estable des de l'any 1985.

Impacte ambiental:

- Les emissions de CO₂ s'han incrementat un 5% entre el 1994 i el 1996.
- Si considerem les condicions climàtiques, les emissions de CO₂ estimades s'han mantingut pràcticament estables des de l'any 1990.
- La contribució del transport a les emissions de CO₂ s'ha incrementat des del 19% l'any 1995 fins un 26% l'any 1996.
- Les emissions de SO₂ i NO_x s'estan reduïnt.

Tendència energètica a Espanya***Producció d'energia:***

- Cal destacar que entre els anys 1985 i 1999 hi ha hagut un canvi en la font d'energia primària més utilitzada, passant del carbó (46,08%) a l'any 1985 a l'energia nuclear (56,2%) l'any 1999.

Consum d'energia:

- La principal font d'energia primària importada entre els anys 1985 i 1997 és el petroli amb un 72,8% l'any 1997. Per un altre costat, la importació de gas natural ha sofert un increment a expenses del carbó.
- El consum d'energia primària des de l'any 1972 fins a l'actualitat s'ha anat incrementant de forma constant. Cal remarcar els següents fets:
 - A finals dels anys 70 es va produir una disminució significativa en el consum del petroli com energia primària degut a la crisi del petroli, que va remuntar a mitjans dels anys 80.
 - A principis dels anys 80 s'inicia un increment del consum d'energia d'origen nuclear degut a la instal·lació de noves plantes de producció d'origen nuclear, i s'estabilitza a principis dels anys 90 amb l'establiment de la moratòria nuclear.



- El consum de gas natural experimenta un increment a principis dels anys 90.
- Cal destacar també la coincidència entre la crisi del petroli i la davallada en el seu consum, i l'increment en el consum d'energia d'origen nuclear.
- La font d'energia que s'utilitza principalment com a energia final és el petroli, representant un 65,3% del total.
- Els sectors transports i industrial van ser els principals consumidors d'energia final a l'any 1997, amb un 38,1% i un 32,8% respectivament.

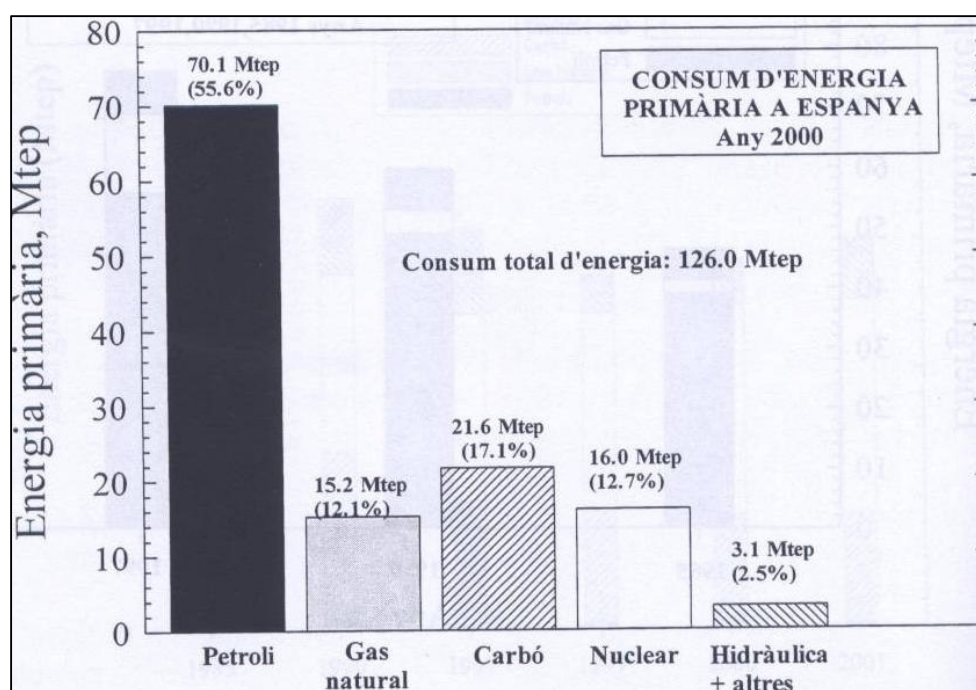


Fig. 2.4. Consum d'energia primària a Espanya (any 2000) (font: Tecnologia Energètica (ETSEIB/UPC))

2.1. Necessitat d'un sistema energètic més sostenible

La nostra espècie i, en conjunt, el consum d'energia que fem al llarg de la rutina, provoca un impacte mediambiental sobre la biosfera. Aquest impacte es deu a dos fets de gran importància:

- El creixement constant del consum d'energia.



- La font d'on s'obté l'energia, gran part del consum energètic mundial prové de fonts no renovables.

I, com a conseqüència es produeixen els següents efectes sobre el medi ambient:

- La contaminació química i biològica.
- L'escalfament global del planeta.
- L'efecte hivernacle, resultat de les emissions de diòxid de carboni a l'aire. El 80% de diòxid de carboni present a l'atmosfera prové de la utilització de combustibles fòssils.
- L'esgotament dels recursos naturals.
- Pluja àcida.
- Diversitat de contaminants atmosfèrics.

De fet, el consum de combustibles fòssils aporta una sèrie de problemes que condueixen a fer una reflexió en la que es qüestioni la seva eficàcia en tots els sentits. Considerant un ritme de consum com l'actual, quedaran combustibles fòssils durant no masses dècades; resten 3.000.000 milions de tones de carbó, 90.000 de petroli i 200.000 de gas natural. Per altra banda, es fa evident la necessitat de promocionar la investigació d'alguna font d'energia alternativa no contaminant i renovable, ja que l'impacte ambiental que tot combustible fòssil provoca, així com les altres fonts energètiques no renovables provoquen a la terra és molt greu:

- L'extracció de combustibles fòssils provoca: contaminació de les aigües, contaminació atmosfèrica i fuites de cru a alta mar (pous d'hidrocarburs).
- La transformació dels combustibles fòssils provoca: l'efecte hivernacle i l'escalfament global del planeta.
- El transport dels combustibles fòssils provoca: fuites i vessaments a alta mar, ja sigui per accidents o pel rentat de petrolers.
- El consum final de combustibles fòssils augmenta descontroladament l'efecte hivernacle, i altre vegada l'escalfament global del planeta.

Degut a tots aquests motius resulta necessària la creació i estabilització d'un sistema



energètic no contaminant ni perjudicial; és a dir, una font energètica eficient, sostenible i renovable.

2.2. El canvi energètic a Europa

Des de fa un anys s'està discutint l'abandonament progressiu de la producció energètica a partir de combustibles fòssils i nuclears a favor de les energies renovables (solar, eòlica, hidràulica,...). L'argument que justifica el canvi d'estratègia és evident: la creixent degradació ambiental de la biosfera, i en especial l'amenaça del canvi climàtic degut a l'acumulació de gasos hivernaders en l'atmosfera.

Les energies renovables continuen sent minoritàries, tant al nostre país com a la resta d'Europa, i continuaran en la mateixa situació si no hi ha un canvi en el pensament dels polítics i els empresaris energètics. Si fem una petita retrospectiva històrica, el desenvolupament de les grans companyies elèctriques en tot el món ha estat lligat als governs estatals i a les subvencions milionàries que han rebut al llarg de les dècades per poder desenvolupar les centrals productores i establir les xarxes de distribució. Tot això ha sigut possible gràcies al contribuent que, amb els seus impostos, ha creat una de les infraestructures més complexes i a la vegada més necessàries. Però una vegada la inversió realitzada ja s'ha amortitzat per la població, s'ha procedit a la privatització de les companyies elèctriques.

És a partir d'aquí que comença a perfilar-se la problemàtica de les energies renovables i alternatives. A causa de la intransigència i dels interessos creats, que mouen tant als governs com a les grans empreses (en el nostre cas, les companyies elèctriques), avui en dia s'estan fent tots els esforços possibles per no dur a terme un desenvolupament just d'una forma d'energia que és part de la solució ambiental del planeta. Encara que un 80% de la població europea està a favor de fomentar les iniciatives d'expansió de les energies renovables, repartint els gastos addicionals entre tots els usuaris, les companyies elèctriques s'oposen a això (el cost addicional que representaria per cada domicili connectat a la xarxa seria mínim, i en el cas que els consumidors ho combinessin amb una estratègia global d'estalvi d'energia elèctrica, no hi hauria un sobrecost).



A Europa s'ha iniciat la liberalització dels mercats energètics, fet que significa que un habitant de Catalunya, en teoria podria consumir electricitat produïda a Escandinàvia. Perquè això sigui possible, l'empresa productora d'electricitat a Escandinàvia hauria de conduir la corrent des de la zona d'origen fins a Catalunya, pagant els corresponents drets d'utilització de les xarxes elèctriques de potser 15 o 20 competidors.

La discussió sobre la lliure competència en temes d'electricitat pot afectar en gran mesura als productors privats d'energies renovables. Si, a més de tenir un cost superior, han de pagar drets d'utilització de les xarxes privades, la utilització d'aquesta forma d'energia no arribarà mai a desenvolupar-se, mentre que les energies fòssils i nuclear no s'esgotin i es continuï sense interioritzar els seus costos ambientals i socials. En un estudi realitzat el 1992 per l'Institut Fraunhofer ISI i PROGNOS per encàrrec del Ministeri d'Economia Alemany, els gastos externs a interioritzar són de 0,36euros (59,5ptas) pels combustibles fòssils, i de 1,84euros (306ptas) en el cas de l'energia atòmica. Només quan aquestes formes obsoletes de producció energètica interioritzin el cost de reparar els danys ambientals i socials que provoquen, serà justa la lliure competència en el mercat energètic. Això demostra que les energies renovables no només són competitives, sinó que haurien de fomentar-se notablement com alternativa viable pel futur energètic d'Europa i el món.

Una de les estratègies a adoptar és la remuneració de l'electricitat procedent de centrals energètiques fotovoltaïques (CEFV) amb cobertura total dels gastos de l'explotador. La idea va ser introduïda el 1990 en la llei d'alimentació de la xarxa elèctrica d'electricitat procedent de centrals energètiques renovables de la República federal Alemanya, però no és vinculant, sinó voluntària per les companyies elèctriques. Per llei, només deuen retribuir el 90% del preu de mercat del kWh als explotadors de CEFV o de centrals eòliques, però voluntàriament poden decidir si cobreixen tots els gastos dels pioners de l'energia neta.

La qüestió és: qui paga el sobrecost d'aquesta electricitat procedent d'una energia renovable? Com també va passar amb les centrals tèrmiques de tot Europa amb la nova legislació ambiental, els costos de les instal·lacions per a la neteja dels gasos d'escapament repercuteixen en el consumidor, ja que s'internalitzen en la factura final de cada mes. El mateix passa amb totes les millores per la seguretat en les centrals nuclears. Així, els gastos addicionals recauen en els consumidors. Però amb les energies renovables hi ha



una diferència substancial respecte al que passa amb les energies convencionals: en el primer cas parlem d'un tipus de generació energètica sense danys ambientals, o sigui, que té una repercussió positiva en la societat i l'entorn, en el moment actual i en les generacions posteriors.

A més, en aquest cas l'Estat espanyol ha sigut més progressista, aprovant el Reial Decret 2818/1998 del 23 de desembre, on s'estableix un incentiu econòmic de 0,39euros per cada kWh generat amb instal·lacions fotovoltaïques de menys de 5kWp de potència. Aquest és un pas endavant en el foment de les energies renovables que a més, no es basa en el fet de donar subvencions a fons perdut (sense saber si després hi haurà un manteniment adequat de les CEFV), sinó que a causa de la necessitat de produir energia també s'assegura un manteniment exemplar de les instal·lacions.

En definitiva es pot afirmar que el canvi energètic a Europa acaba de començar tímidament amb una estratègia nova –la mobilització de capital de risc privat en la construcció de centrals energètiques fotovoltaïques-. Al mateix temps, s'està creant un incentiu per millorar i fer més econòmiques les CEFV. La cobertura total de les despeses de l'exploador de CEFV es converteix així en un programa de foment de la inversió més efectiu, ja que crea nous llocs de treball en el camp de la instal·lació, distribució i producció dels components necessaris per la construcció de CEFV.



3. CLASSIFICACIÓ DE LES DIVERSES FONTS D'ENERGIA

Breu classificació de les diverses fonts energètiques:

- Fons d'energia derivades del sol:

Eòlica: Energia procedent del vent, és a dir, procedent de l'escalfament desigual de la superfície terrestre. Actualment s'utilitzen a nivell mundial més de 50.000 turbines eòliques a més de cent països per generar electricitat. L'energia del vent és proporcional al cub de la seva velocitat; per tant, si la velocitat es duplica la potència es multiplica per vuit.

Hidràulica: Energia procedent de la força de l'aigua, és a dir, de l'explotació de la seva energia potencial en les cascades i salts importants d'aigua. L'energia hidràulica proporciona una cinquena part de l'electricitat mundial i s'espera que aquesta quantitat es multipliqui per sis en els propers cinquanta anys.

Solar: Energia procedent directament del sol, s'anomena solar tèrmica quan s'utilitza per generar calor i solar fotovoltaica quan s'utilitza per generar electricitat. La utilització de l'energia solar representa la base de la vida de la biosfera. De fet, una forma indirecta d'utilitzar l'energia solar és l'emprada en centrals elèctriques que funcionen amb restes de collites, fusta cultivada, etc.

Biomassa: Font energètica que consisteix en treure profit de la matèria orgànica dels éssers vius.

- Combustibles fòssils (petroli, gas natural i carbó): Combustibles formats mitjançant l'acumulació de la biomassa (llenya, residus de les collites, aigües residuals, etc) en certes condicions i durant milions d'anys. El procés per la formació de jaciments de petroli, carbó o gas natural consisteix en cremar i fermentar la biomassa per així, obtenir alcohol. El petroli, el carbó i el gas natural representen un 90% del consum a nivell mundial.



- Fons d'energia amb origen geològic:

Geotèrmica: Energia formada mitjançant el calor de formació de la terra. La producció mundial d'electricitat a partir d'aquest tipus de font energètica s'ha triplicat durant els últims deu anys, però continua sent considerablement escassa.

Nuclear: existeixen dos processos per tal d'obtenir energia nuclear, els quals són: *fissió nuclear* i *fusió nuclear*. Actualment només existeixen centrals de fissió, mentre que s'està investigant moltíssim en les centrals de fusió ja que s'espera que siguin la solució a la dependència dels combustibles fòssils.

Centrals de fissió nuclear: els processos de fissió requereixen materials radioactius (urani i tori). A nivell internacional, es disposa de més de 400 reactors nuclears de fissió repartits a 25 països que proporcionen més d'un 17% de l'electricitat mundial. El gran inconvenient de l'energia nuclear de fissió, deixant per suposat el fet que és una font energètica no renovable, són els residus radioactius que es generen, ja que alguns d'aquests requereixen milers d'anys per dur a terme la desintegració radioactiva. Cal emmagatzemar de forma adequada aquests residus per tal que no contaminin el terra, i realitzar un control d'aquests durant milers d'anys. Totes les despeses que comporten aquests residus no estan inclòs en el cost del kWh procedent d'una central nuclear, sinó que a partir dels impostos que paga tothom es paguen aquestes despeses. Un altre perill de les centrals nuclears és el perill que comporta un d'accident o averia. Les centrals nuclears de fissió no contaminen al medi ambient amb emissions, per això els partidaris d'aquesta font d'energia diuen que és una font d'energia neta. Però està clar que no tenen en compte els residus altament contaminants i perillosos que generen.

Centrals de fusió nuclear: aquestes centrals encara estan en fase d'investigació i si s'aconsegueix el seu correcte funcionament seran la solució al problema energètic mundial. El fenomen de la fusió es produeix de manera natural a les estrelles gràcies a la presència de nuclis d'hidrogen a alta temperatura i gran densitat que estan sotmesos a forces d'atracció gravitacional que ajuden a provocar aquestes condicions. L'objectiu d'aquestes centrals és reproduir les condicions de fusió



adequades per originar en la terra reaccions similars a les que es produeixen a les estrelles. Les grans avantatges que presenten aquestes centrals són:

- Els combustibles nuclears utilitzats no són radioactius i són abundants a la naturalesa.
 - Les dificultats derivades de la seguretat del procés de la reacció de fusió semblen ser menys greus que en els reactors de fissió.
 - Els residus radioactius produïts es redueixen als d'activació, que tenen un període de desintegració inferior a 100 anys.
- Fonts d'energia procedents de l'atracció que la lluna i el sol exerceixen sobre la terra:

Mareomotriu: Energia de l'aigua deguda a les mareas. L'influència de la lluna sobre la terra, en forma de mareas, proporciona un 1% de l'energia mundial. Actualment, Anglaterra, Japó, Suècia, E.E.U.U i Rússia estan estudiant la manera necessària de desenvolupar aquesta font energètica reduint al màxim l'impacte que produeix als ecosistemes i als hàbits d'interès biològic.

Una vegada definides les diverses classes d'energia, és necessari agrupar-les i definir-les en els conceptes d'energies renovables i energies no renovables:

Energia o font energètica renovable: Fonts d'energia inesgotables i sense contaminació mediambiental. En aquest grup hi consten l'energia solar, eòlica, hidràulica, la biomassa, geotèrmica i mareomotriu.

Energia o font energètica no renovable: Recursos energètics esgotables que en la seva producció causen grans impactes mediambientals. En formen part els combustibles fòssils i l'energia nuclear.

A continuació, en la Figura 3.1, pot observar-se l'estructura bàsica d'un sistema energètic a on *l'energia primària* pateix un procés de transformació amb les pèrdues corresponents, abans de convertir-se en *energia útil o final* pel consumidor.



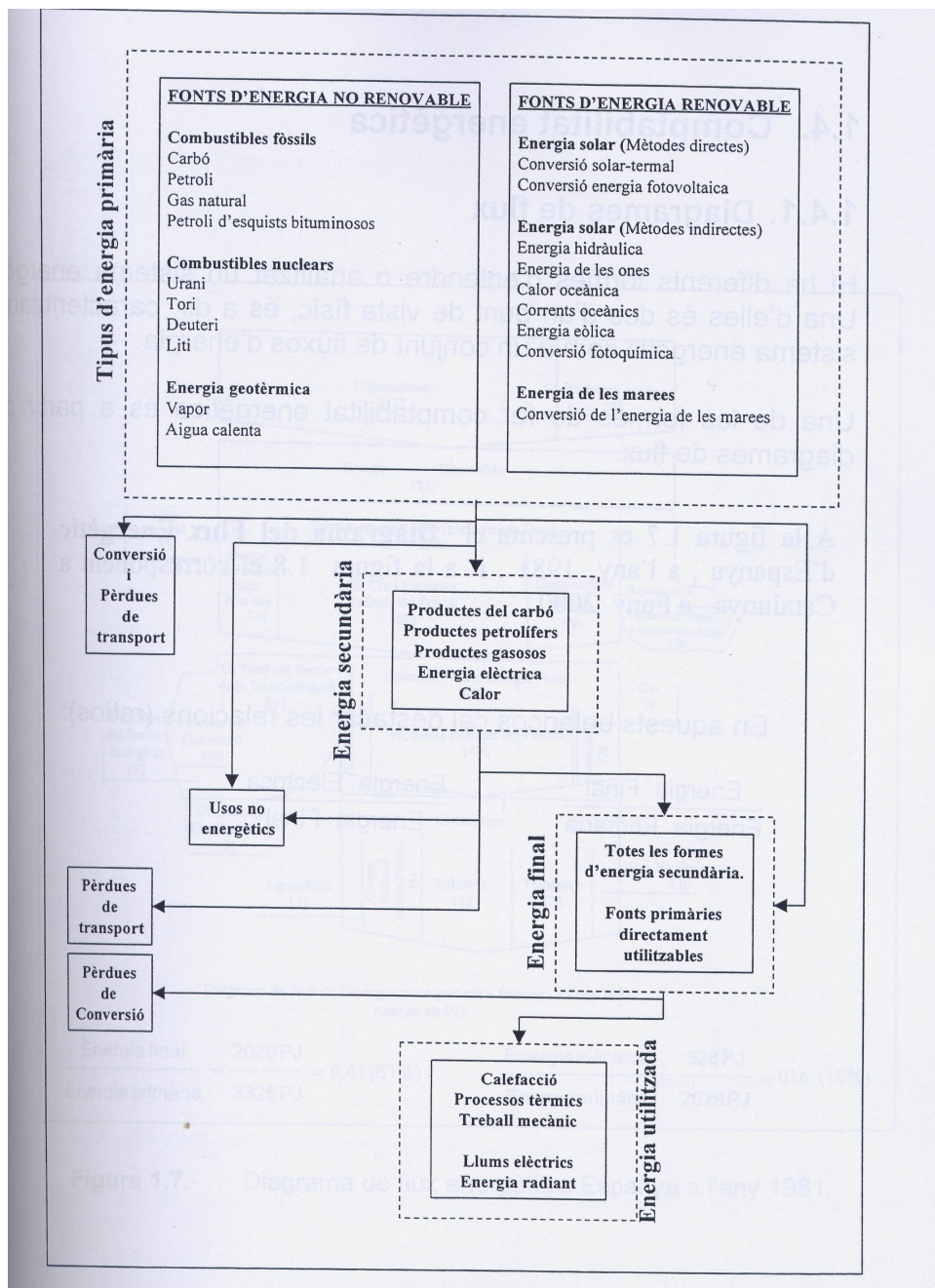


Fig. 3.1. Estructura bàsica d'un sistema energètic (font: Tecnologia Energètica (ETSEIB/UPC))



3.1. L'energia solar [Ref. 2]

L'energia solar és la font escollida per produir l'energia necessària per a l'habitatge. Els motius pels quals s'ha escollit s'explicaran en l'apartat 5.1. És per aquest motiu que s'ha ampliat la informació referent a aquesta font energètica.

El Sol, l'astre que dóna vida a la Terra i que configura el sistema planetari en el que es troba la humanitat, és una estrella formada per hidrogen i heli. Es calcula que té una antiguitat de 4500 milions d'anys i que encara li queden uns 5000 milions d'anys més abans que es converteixi en un cos fred.

Es tracta d'un immens forn nuclear, amb un diàmetre 110 vegades superior al de la Terra. L'energia que ens arriba és ínfima (el nucli del Sol, un 40% de la seva massa, genera el 90% de l'energia) si tenim en compte que es tracta d'un reactor termonuclear de fusió que genera temperatures de 60 milions de graus Kelvin. En la superfície solar la temperatura és només d'uns 6000°K però, en la corona la capa gasosa que rodeja l'estrella és d'uns 2 milions de graus.

El Sol no és un cos sòlid, sinó una enorme bola de gas termonuclear concentrat per l'enorme força de gravetat que exerceix el nucli. Curiosament, la massa de vapor espès de l'equador del Sol i dels pols gira a diferent velocitat. Aquest estat de la matèria del Sol s'anomena plasma i els fluxos que es creen entre el nucli i la superfície generen un potent camp magnètic.

L'energia emesa pel sol

En la terra només rebem dos milionèssimes parts de l'energia que genera el Sol. A nivell del terra, l'energia que arriba depèn de la zona geogràfica i l'estació de l'any. L'avaluació de la radiació rebuda en un punt determinat és la suma de la *radiació directa* i de la *radiació difusa* condicionada per la nuvolositat o altres condicions atmosfèriques. A aquest paràmetre se l'anomena *insolació* i se sol mesurar en kWh/m². Lògicament els valors de la insolació varien entre l'estiu i l'hivern. Curiosament, els valors de màxima insolació no es produeixen a l'equador, sinó precisament en la latitud de 40°N



(aproximadament la de Catalunya). Això es deu a que a l'estiu el Sol passa per la nostra vertical, el dia s'allarga i es pot arribar fins i tot a 13,5 hores de llum.

L'energia dels fotons de la llum del Sol que es pot aprofitar per convertir en electricitat és de mitjana 1 kW/m^2 . No obstant, l'energia que arriba a les capes inferiors de l'atmosfera, sense obstacles per atenuar-la és de $1,35 \text{ kW/m}^2$ i s'anomena *constant solar*. El valor d'aquesta constant varia al llarg del dia, ja que en les primeres i últimes hores de sol, l'angle està tan inclinat que l'energia incident és molt baixa. L'energia total incident en un dia pot superar els 8 kWh/m^2 en la nostra latitud. La mitjana anual que rebem per dia a Catalunya és d'uns $4,5 \text{ kWh/m}^2$ sobre una superfície horitzontal.

La radiació solar pot ser utilitzada en la seva forma energètica directa o bé a través del calor que proporciona. Aquestes dues formes d'energia del sol, fotònica i calorífica, són les que es distingeixen al parlar de l'energia solar.

Els moviments del Sol

La rotació terrestre i l'òrbita al voltant del Sol condicionen algunes característiques de la radiació solar. Per poder avaluar l'energia del Sol es tenen en compte alguns paràmetres de geometria espacial. La longitud i la latitud que defineixen les coordenades d'un punt sobre la superfície terrestre també condicionen l'energia rebuda. Al llarg de l'any, l'el·lipsicitat de l'òrbita al voltant del Sol fa variar els paràmetres definits. Finalment, no es pot oblidar l'angle d'inclinació de l'esfera terrestre (l'anomenada declinació), actualment de $23^{\circ}27'$, varia en períodes de 40000 i 100000 anys entre 22° i 24° . Aquestes posicions diferents són les responsables dels canvis climàtics que s'han succeït al llarg de la història.

L'energia calorífica del sol

L'aprofitament de l'energia depèn del sistema captador que ha de tenir un element amb un poder d'absorció màxim i unes pèrdues tèrmiques mínimes.



Lògicament, el color negre és el de màxima absorció, però també depèn del material. Per exemple, el ferro colat té una capacitat tèrmica de $1,02 \text{ cal/cm}^3$ i el coure, de $0,8 \text{ cal/cm}^3$; en canvi, la de la fusta és de només $0,17 \text{ cal/cm}^3$. Això significa que la fusta és un material vuit vegades més aïllant que el coure, per exemple. No obstant, els metalls disminueixen per 10 la seva eficiència al oxidar-se. Per això, actualment per resistir l'envelliment es fabriquen estructures de ceràmica o vidre que són pràcticament inalterables davant la radiació ultraviolada i la humitat. Un altre aspecte clau per una bona captació del poder calorífic és concentrar-lo i estimular l'efecte hivernader o de captació reflexada.

Les aplicacions de l'energia fototèrmica són nombroses. Les més conegudes són el subministrament d'aigua calenta sanitària (ACS) i calefacció, la dessalinització de l'aigua del mar, centrals electrosolars i la cuina solar.

Per informació corresponent a l'energia solar fotovoltaica, consultar a l'Annex C.



4. L'HIDROGEN

4.1. Introducció

Queden aproximadament 150 anys de proveïment energètic provinent dels anomenats combustibles fòssils (molts menys pel que fa al petroli), fet que crea i comporta la necessitat de idear noves fonts energètiques, que a més permetin garantir l'equilibri ecològic del planeta. Avui en dia, el 78% de la despesa energètica es cobreix encara mitjançant petroli, gas natural i carbó.

La gran majoria de les energies primàries (energia d'origen nuclear, energia solar, eòlica, geotèrmica i hidràulica), posseeixen la capacitat de transformar-se en hidrogen, mitjançant el procés d'electròlisi de l'aigua. *Els avantatges que presenta l'hidrogen respecte altres combustibles són:*

- Presenta molt bones propietats energètiques.
- El seu poder calorífic és tres vegades superior al dels combustibles fòssils.
- Posseeix un elevat contingut energètic per unitat de pes.
- Es troba present a la natura en l'aigua, en quantitats il·limitades.
- Com a resultat de la seva combustió, es torna a formar aigua. Per tant, no arribaria a consumir reserves d'aigua ni perjudicaria el medi ambient.
- La seva combustió únicament produeix vapor d'aigua.

Alguns dels inconvenients de l'hidrogen són:

- Té una temperatura de líquidació extremadament baixa (20°K)
- Energia molt baixa per unitat de volum com a gas i líquid
- El transport de l'hidrogen gas és menys eficient que altres gasos
- El dipòsits d'emmagatzematge han de ser grans
- Element molt inflamable

La producció d'hidrogen

A nivell general, es poden diferenciar cinc classes de processos d'obtenció d'hidrogen,



que fins el moment han resultat a menor o major mesura eficients. A continuació s'indiquen aquests processos:

- El 75% de l'hidrogen utilitzat en la indústria s'obté mitjançant un procés anomenat *steam reforming*. Es fa reaccionar el gas natural amb vapor d'aigua a una temperatura de 750°C en presència d'un catalitzador de níquel.
- El 25% restant de l'hidrogen utilitzat en la indústria s'obté a partir de gasos procedents del refinatge del petroli o del carbó i mitjançant processos similars al descrit anteriorment.
- Alguns països, com Noruega o Canadà, en els que l'energia hidràulica surt més o menys econòmica, obtenen l'hidrogen mitjançant un procés d'electròlisi.
- Una altra possibilitat seria utilitzar l'energia elèctrica produïda mitjançant plaques fotovoltaïques, per tal d'obtenir hidrogen per via electrolítica.
- Si el procés d'obtenció d'hidrogen per electròlisi es dugués a terme a alta temperatura, el consum d'energia es reduiria un 30% respecte el consum d'energia en un procés d'electròlisi convencional.
- Per últim, existeix un altre sistema en el qual s'obté hidrogen mitjançant la utilització d'un tipus concret de microorganismes, els quals desprenen una gran quantitat d'hidrogen a l'atmosfera.

Emmagatzematge i transport de l'hidrogen

El procés de distribució i emmagatzematge d'hidrogen depèn en gran part de l'estat en que es trobi :

-En *estat gasós*, l'hidrogen pot ser distribuït en grans quantitats mitjançant un sistema de canalització molt semblant al del gas natural. Per altra banda, l'emmagatzematge de l'hidrogen en estat gasós resulta força dificultós, ja que requereix un gran volum d'emmagatzematge (és el combustible menys dens).

-En *estat líquid*, el subministrament d'hidrogen permet multiplicar per deu la quantitat d'energia que es pot emmagatzemar per unitat de volum; tot i així, sorgeix un inconvenient ja



que s'han de crear contenidors d'emmagatzematge molt ben aïllats per tal d'evitar les pèrdues de calor.

-En *estat sòlid* (en forma d'hidrurs metàl·lics), es fixa l'hidrogen de forma reversible, és a dir, l'hidrogen en estat gasós es dissocia a la superfície del metall formant hidrurs metàl·lics (estat sòlid), aquesta reacció és exotèrmica (desprèn calor). Per tant, si s'inverteix el procés mitjançant una reacció endotèrmica (aportació de calor), es relativament fàcil obtenir altra vegada l'hidrogen en estat gasós.

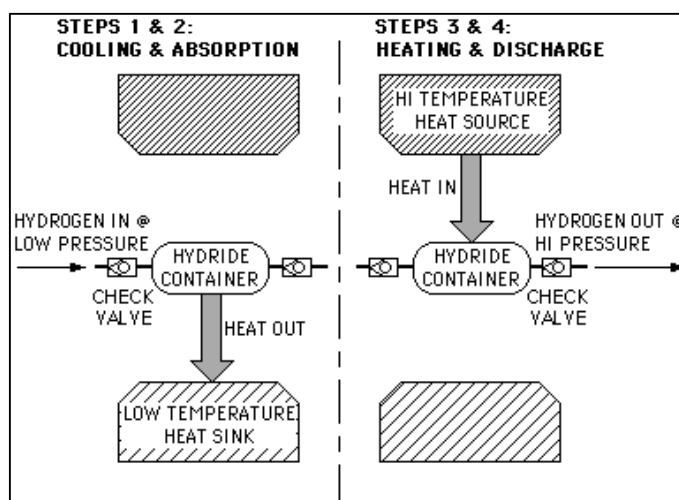


Fig. 4.1.1. Diagrama del funcionament d'un dipòsit d'hidrurs metàl·lics
(font: Fuel Cell Store)

4.2. Propietats de l'hidrogen [Ref.5]

En aquest apartat estan descrites totes aquelles propietats i característiques pròpies de l'element hidrogen.

- Breu història de l'element.
- Propietats químiques i físiques de l'element.
- Característiques i aspectes propis de l'element hidrogen.
- Usos i aplicacions de l'hidrogen com a element químic.
- Obtenció de l'hidrogen: processos generals.



4.2.1. Breu història de l'element

L'element hidrogen va ser descobert a Londres l'any 1766 per Henry Cavendish. De fet, Lavoisier ja l'havia nombrat molts anys abans que Cavendish el reconegués com a substància i ja en el segle XVI, els alquimistes havien observat que quan l'àcid sulfúric (H_2SO_4) actuava sobre les llimalles de ferro, es desprenia un gas de naturalesa desconeguda que anys després anomenarien hidrogen.

L'any 1781 el mateix Cavendish va observar que l'element descobert l'any 1766 formava aigua al cremar en aire i oxigen. Aquest fet va fer que Lavoisier l'anomenés hidrogen, és a dir, productori d'aigua.

L'element va ser líquid per primera vegada l'any 1898 per J.Dewar mitjançant el següent procés: va refredar el gas mitjançant aire líquid i el va comprimir a gran pressió. D'aquesta forma es va formar un líquid sense color i transparent: l'hidrogen líquid.

4.2.2. Propietats físiques i químiques de l'element [Ref. 1]

A nivell general, es pot descriure l'*hidrogen* com un *gas incolor, inodor i insípid* (no té color, aroma ni gust), és molt *poc soluble en aigua* (1.8 volums d'hidrogen es dissolen en 100 volums d'aigua a una temperatura de 20 °C), *altament inflamable i no tòxic*.

L'hidrogen és la substància més lleugera que es coneix i com a exemple d'aquest fet està demostrat que pesa unes catorze vegades menys que l'aire. A més existeixen un seguit de característiques que cal tenir en compte a l'hora de treballar i estudiar l'hidrogen:

- Símbol: H
- Classificació a la taula periòdica: Grup 1
- Estat: no metall
- Nombre atòmic: 1
- Massa atòmica (massa relativa a un àtom): 1,00794 uma¹
- Fórmula: H_2
- Massa molecular (massa relativa a una molècula): 2,0160 uma

¹ Uma : unitat de mesura atòmica



- Nombre de protons/electrons: 1
- Nombre de neutrons (isòtop 0-H): 0
- Configuració electrònica: $1s^1$
- Electrons en els nivells d'energia: 1
- Nombres d'oxidació: -1, +1.
- Electronegativitat: 2,20 (escala pauling)
- Energia de ionització: $1310 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$
- Afinitat electrònica²: $73 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$
- Radi atòmic: 78 pm
- Radi iònic: 154 pm (en nombre d'oxidació -1)
0.00066 (en nombre d'oxidació +1)
- Entalpia de fusió: $0,06 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$
- Entalpia de vaporització: $0,23 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$
- Punt de fusió: $-259,34 \text{ }^\circ\text{C}$ (13,66 K – 14,02 K)
- Punt d'ebullició: $-252,87 \text{ }^\circ\text{C}$ (20,13 K – 20,28K)
- Volum atòmic: $14,24 \text{ cm}^3/\text{mol}$
- Estructura cristal·lina: hexagonal

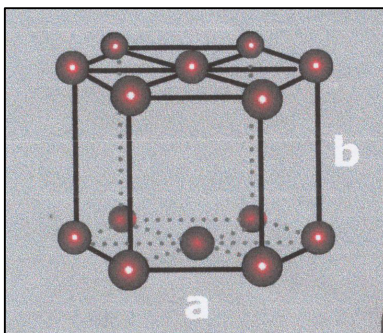


Fig. 4.2.2.1. Estructura cristal·lina de l'hidrogen

- Color: incolor.
- Temperatura crítica: 33,25 K
- Pressió crítica: 12,8 atm
- Energia d'enllaç: $435 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$
- Longitud d'enllaç: 0,74 Å
- Densitat: $0,0899 \text{ kg}/\text{Nm}^3$ (gas)

² Afinitat electrònica : tendència que manifesta un àtom a guanyar electrons.



0,0708 kg/l (líquid)

- Poder calorífic inferior: 120 MJ/kg
- Poder calorífic superior: 141,86 MJ/kg
- Límits d'explosió: 4,0-75,0% (concentració de H₂ en aire)
- Límits de detonació: 18,3-59,0% (concentració de H₂ en aire)
- Capacitat calorífica específica: C_p=14,199 J/(kg·K)
C_v=10,074 J/(kg·K)
- Coeficient de difusió: 0,61cm²/s
- Factor de compressibilitat: en funció de la Taula 4.2.2.1

Presión (bar)	1	50	100	150	200	250	300	350	400	500	600	700	800	900	1000
Factor comp.	1	1,032	1,065	1,089	1,132	1,166	1,201	1,236	1,272	1,344	1,416	1,489	1,560	1,632	1,702

Taula 4.2.2.1. Factors de compressibilitat en funció de la pressió

EQUIVALÈNCIES

HIDROGEN - ENERGIA

Massa H ₂ (kg)	H ₂ gas (Nm ³)	H ₂ líquid (litres)	Energia (MJ)	Energia (kWh)
1	11,12	14,12	120	33,33
0,0899	1	1,270	10,8	3,00
0,0708	0,788	1	8,495	2,359
0,00833	0,0926	0,1177	1	0,278
0,0300	0,333	0,424	3,6	1

Taula 4.2.2.2. Equivalències energètiques de l'hidrogen

L'hidrogen és líquid a pressió atmosfèrica per sota de 20,39K.

Les equivalències estan calculades a partir del poder calorífic inferior.

CABAL D'HIDROGEN – POTÈNCIA ELÈCTRICA

Kg/h de H ₂	Nm ³ /h de H ₂ gas	Litres/h de H ₂ líquid	Potència (kW)
1	11,12	14,12	33,33



0,0899	1	1,270	3,00
0,0708	0,788	1	2,359
0,00833	0,0926	0,1177	0,278
0,0300	0,333	0,424	1

Taula 4.2.2.3. Equivalències entre el cabal d'hidrogen i la potència elèctrica

COMPARATIVA HIDROGEN – ALTRES COMBUSTIBLES

1 kg de H₂ ↔ 2,78 kg de gasolina ↔ 2,80 kg de gasoil ↔ 2,40 kg de metà ↔ entre 2,54 i 3,14 kg de gas natural (depenent de la composició del GN) ↔ 2,59 kg de propà ↔ 2,62 kg de butà ↔ 6,09 kg de metanol

1 litre de H₂ líquid ↔ 0,268 litres de gasolina ↔ 0,236 litres de gasoil ↔ 0,431 litres de metanol

1 litre de H₂ (a 35 MPa) ↔ 0,0965 litres de gasolina ↔ 0,0850 litres de gasoil ↔ 0,240 litres de metà (a 35 MPa) ↔ entre 0,3 i 0,35 litres de gas natural (a 35 MPa) ↔ 0,117 litres de propà (a 35 MPa) ↔ 0,127 litres de butà (a 35 MPa) ↔ 0,191 litres de metanol

4.2.3. Característiques i aspectes propis de l'element hidrogen

L'hidrogen és l'element més lleuger i abundant de tot l'univers (3/4 parts de la massa total), també es troba al sol i en la majoria de les estrelles i juga un paper molt important en la formació d'elements més pesants.

El concepte d'estrella es pot comparar amb el concepte de forn en el que àtoms d'hidrogen aparellats es cremen mitjançant el procés de fusió nuclear, de tal manera que es formen àtoms d'hel·li individuals (per cada dos àtoms d'hidrogen se'n forma un d'hel·li) i s'allibera energia en forma de radiacions ultraviolades (la llum). El fet que s'alliberi energia és molt coherent davant l'observació que la massa de dos àtoms d'hidrogen és superior a la de un àtom d'hel·li: “la massa es pot convertir en energia”.

En l'escorça de la terra l'hidrogen representa un 0.14% en pes i, a més per efecte de l'elevat valor de la pressió, es troba en estat sòlid a les profunditats de la terra.



A continuació s'exposen algunes de les principals característiques de l'element hidrogen que no han quedat explicades en apartats anteriors.

- **Reactivitat:**

La capacitat de reacció de l'hidrogen en diverses situacions i mitjançant diferents substàncies queda reduïda i exposada en la següent taula de dades (Taula 4.2.2.4):

Reactivitat amb aire	Vigorosa (a temperatura elevada)
Reactivitat amb H₂O	No reacciona
Reactivitat amb HCl (concentració 6M)	No reacciona
Reactivitat amb HNO₃ (concentració 15M)	No reacciona
Reactivitat amb NaOH (concentració 6M)	No reacciona

Taula 4.2.2.4. Reactivitat de l'hidrogen amb altres elements

- **Isòtops:**

S'anomena isòtop a aquell àtom d'un mateix element que té el mateix nombre de protons (nombre Z) però amb diferent nombre de neutrons, i per tant diferent nombre de nucleons (nombre A).

L'any 1932 Urey va descobrir un dels isòtops de l'hidrogen que va anomenar deuteri (H²). Més tard, l'any 1934, es va tenir notícia d'un tercer isòtop de l'hidrogen anomenat triti (H³). L'hidrogen original va ser diferenciat dels dos isòtops descoberts fent-se anomenar protí (H¹).

En la següent taula de dades (Taula 4.2.2.5) queden reflexades les característiques més importants dels isòtops de l'hidrogen (cal tenir en compte que l'element hidrogen original és anomenat protí).

Z	Nom de l'isòtop	Vida mitjana	Nombre d'spin	Abundància (%)	Massa atòmica (uma)
1	Protí	Estable	½	99.984	1.0078
1	Deuteri	Estable	1	0.0156	2.0141



1	Triti	12.3 anys	$\frac{1}{2}$	0.00	3.016
---	-------	-----------	---------------	------	-------

Taula 4.2.2.5. Característiques dels diferents isòtops de l'hidrogen

El deuteri es troba en aigua natural, en forma d'òxid D_2O , i s'utilitza en estudis de mecanismes de reaccions. Per altra banda, el triti es forma en les capes altes de l'atmosfera mitjançant reaccions nuclears.

- **Ions:**

S'anomena ió a cadascun dels diversos àtoms que tenen una càrrega elèctrica deguda a la pèrdua (ió positiu) o la captura (ió negatiu) d'electrons.

- **Ió positiu H^+** : també anomenat catió, es caracteritza perquè el potencial de ionització (energia necessària per separar un electró d'un àtom) de l'hidrogen pren un valor molt elevat, $1.311 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$. Es combina amb elements de naturalesa electronegativa.
- **Ió negatiu H^-** : també anomenat anió, es caracteritza perquè pren la mateixa estructura electrònica de l'heli (He). Es combina amb elements de naturalesa electronegativa, concretament amb el grup dels alcalins i els alcalinoternis (elements corresponents al grup 1 i 2 de la taula periòdica).

- **Reaccions directes de l'hidrogen amb altres substàncies:**

L'hidrogen es pot combinar a menor o major escala amb la majoria d'elements no metàl·lics i amb alguns dels elements d'estat metàl·lic. La combinació de l'hidrogen amb qualsevol dels elements esmentats s'anomena compost binari, i en aquest cas concret *hidrur*.

Els hidrurs es classifiquen en tres grans grups:

- **Hidrurs volàtils:** L'hidrogen combinat amb elements no metàl·lics forma composts moleculars enllaçats, en la major part dels casos per enllaç covalent. Per aquest motiu les temperatures de fusió i ebullició es consideren relativament baixes i s'anomenen hidrurs volàtils.



- **Hidrurs salins:** La reacció que es dona en un compost format per hidrogen i un element intensament electropositiu (elements que formen part dels alcalins i els alcalinoternis) dona lloc a hidrurs iònics en els quals l'hidrogen queda cristal·litzat en forma de H.

- **Hidrurs metàl·lics:** Un gran nombre de metalls posseeixen la capacitat de combinar-se amb l'hidrogen conservant gran part de les seves propietats. Si la pressió pren un valor elevat, el contingut d'hidrogen en el compost augmentarà, aquests són els anomenats hidrurs metàl·lics.

- **Reaccions de l'hidrogen en un medi aquós:**

Consisteixen en una reacció d'oxidació – reducció, en les que la valència/nombre d'oxidació de l'element pren un canvi en donar-se la reacció. Un exemple és :



El zinc es dissolt en àcids i desprèn hidrogen.

4.2.4. Usos i aplicacions de l'hidrogen com a element químic

L'hidrogen per a ús industrial s'obté a partir dels següents processos: el 50% del gas natural, 25% de la destil·lació de la hulla, 20% de l'electròlisi i la resta es du a terme a través d'altres mètodes. Una vegada s'ha produït l'hidrogen es pot conservar i utilitzar a la mateixa fàbrica o bé pot ser vengut en tubs o bales d'acer a 120–150 atmosferes de pressió.

Principals aplicacions industrials de l'hidrogen:

L'hidrogen pot ser utilitzat en la síntesi de l'amoníac (NH₃) i de l'àcid clorhídric (HCl), la hidrogenització de grasses vegetals per produir grasses comestibles, l'obtenció de metanol i altres alcohols superiors (barrejat amb òxid de carboni CO), la síntesi de gasolina i com a combustible en sistemes de propulsió de coets. A més, també és utilitzat en :

- Hidrogenització d'olis.
- Processos especials per soldar a alta temperatura.
- Experiències de laboratori.



- Forns de sinterització³.
- En la indústria del vidre.
- Forns de reducció de certs metalls (eliminant l'oxigen)
- Fabricació de semiconductors.

L'hidrogen en la indústria metal·lúrgica s'utilitza per obtenir metalls en estat de puresa a partir de la combinació, no tan sols amb oxigen lliure sinó també amb oxigen combinat amb d'altres elements.

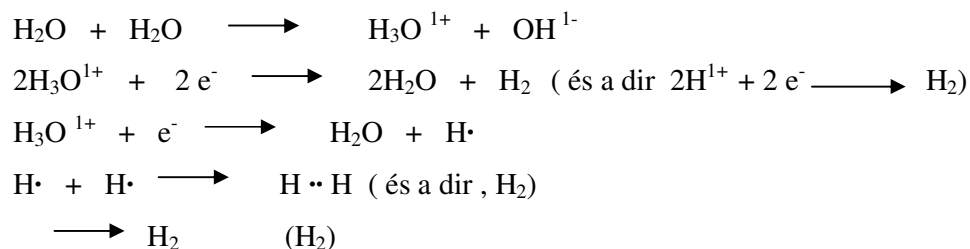
4.2.5. Principals processos d'obtenció d'hidrogen

En cadascun dels subapartats següents es defineix un procés mitjançant el qual es pot obtenir hidrogen. De fet existeixen múltiples processos i encara en queden un gran nombre per descobrir i estudiar que encara s'han d'experimentar. Els que es presenten a continuació són els mètodes ja coneguts i experimentats:

- Obtenció de l'hidrogen a partir de l'aigua per electròlisi

En aquest mètode és necessari que l'H₂O condueixi corrent elèctrica de forma eficaç. Per tal d'aconseguir-ho adherim a l'H₂O algun compost del següent tipus: àcids, composts formats per alcalins o certes sals. En el procés d'electròlisi, l'hidrogen present en l'elèctrode negatiu es presenta en forma de ió hidroni (H₃O⁺), seguidament es descarrega en forma de hidrogen atòmic (H), i finalment, el conjunt d'àtoms s'uneixen per formar molècules (H₂) que es desprenen de l'elèctrode.

La reacció queda definida de la següent manera :



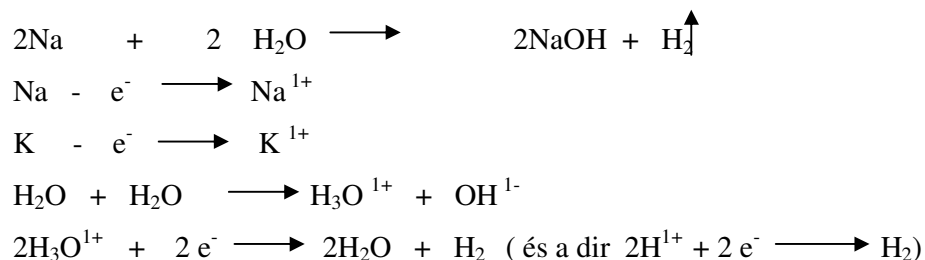
³ Sinterització: compressió de partícules.



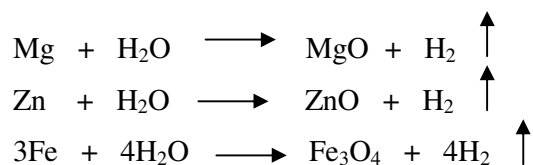
- Obtenció de l'hidrogen per desplaçament a partir de l'aigua

Alguns metalls, com ho són el sodi (Na) o el potassi (K) són capaços de desplaçar l'hidrogen de l'aigua (H₂O) a temperatura ambient. El fet que metalls com el sodi (Na) o el potassi (K) siguin menys densos que l'aigua (H₂O), fa que aquests metalls flotin en la superfície durant el transcurs de la reacció.

Els àtoms de metall (Na o K, entre d'altres) desprenen un electró que és pres per el ió hidròni, de tal manera que es forma un àtom d'hidrogen. Les següents equacions químiques en descriuen el procés:

- Obtenció de l'hidrogen a partir de vapor d'aigua

D'altres metalls, com el magnesi (Mg), el zinc (Zn) o el ferro (Fe) reaccionen amb aigua (H₂O) en forma de vapor a altes temperatures. El procés queda descrit de la següent forma: el vapor d'aigua passa per sobre d'algun dels metalls esmentat en forma de llimalles, s'escalfa un tub d'acer (*imatge 2*), es forma òxid de metall al tub i es desprèn hidrogen. Les equacions químiques són les indicades a continuació :



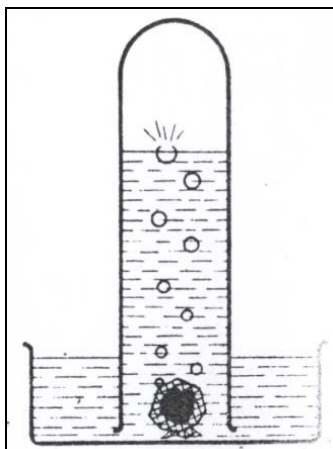


Fig. 4.2.5.1. Alliberació de l'hidrogen per acció d'un metall actiu sobre l'aigua

- Obtenció de l'hidrogen a partir d'àcids (per desplaçament)

Una de les principals característiques dels àcids és que contenen hidrogen, i de fet l'hidrogen dels àcids pot ser substituït per altres metalls. Per dur a terme aquesta transformació és necessari que l'àcid es dissolgui en l'aigua, posant el metall en la dissolució resultant. Com a exemple es té el zinc (Zn) i l'àcid sulfúric (H₂SO₄).

Seguint el muntatge presentat en la següent figura (Fig. 4.2.5.2), cal col·locar el metall en el matràs A i abocar l'àcid diluït al tub B. En el moment que l'àcid es posa en contacte amb el metall s'inicia la reacció, en la que bombolles d'hidrogen es desprenen a través del líquid.

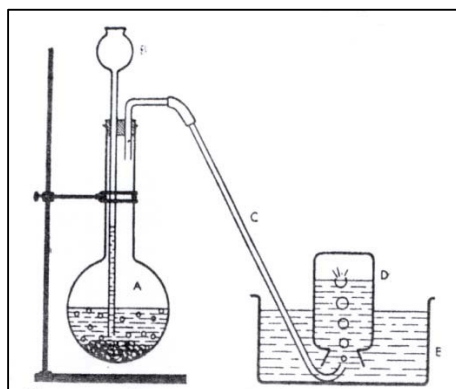
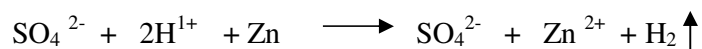


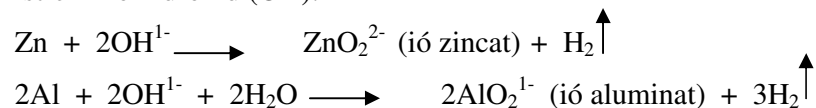
Fig. 4.2.5.2. Muntatge per l'obtenció d'hidrogen al laboratori

La reacció per l'obtenció d'hidrogen a partir d'àcids es descriu de la següent forma:



- Obtenció d'hidrogen a partir d'hidròxids solubles

L'hidrogen també es pot obtenir per reacció entre certs metalls i alcalins, els quals subministren l'ió hidròxid (OH):



4.3. Avenços i reptes en l'estudi de l'hidrogen

En aquest apartat s'analitza i es valora el treball que estan realitzant diverses empreses i institucions respecte a l'estudi de l'hidrogen. La informació sobre aquests estudis fa referència a la investigació que cada empresa/institució està duent a terme.

4.3.1. A nivell mundial: Estudi de tres empreses pioneres

a) EMPRESA BP

BP és una empresa global d'energia, a la qual li agrada innovar i investigar per tal de protegir l'entorn i trobar una alternativa eficient als combustibles que proporciona als seus clients. BP pretén trobar un sistema energètic eficaç per tal de crear un model sostenible.

Actualment BP és present en més de 100 països, a l'estat espanyol des de 1954 i el seu treball fins al moment, a part de l'ingrés i el progrés en investigació i desenvolupament d'energies renovables, han estat el refinament de petroli, la comercialització de producte petrolífers, la venda de productes químics i la comercialització de gas natural

Sistema BP

Científics i investigadors de l'empresa BP consideren que no existeixen fonts primàries d'hidrogen, però pel contrari sí que són abundants els composts amb hidrogen. De fet l'11% de l'H₂O està constituït per H₂ i aproximadament el 70% de la terra està formada per H₂O.

Actualment la utilització de l'hidrogen es distribueix de la següent manera:



- 50% H₂ per adobs i fertilitzants.
- 37% H₂ destinat a la indústria petroquímica (tractament de hidrocarburs, etc)
- 13% H₂ destinat a la indústria química (fàrmacs, etc)

La utilització de l'hidrogen com a vector energètic consisteix, des del projecte de la BP, en un transport d'energia fàcilment transformable en energia elèctrica (el procés es duria a terme a partir de piles d'hidrogen). Algunes de les característiques que han ajudat a seleccionar l'hidrogen com a combustible, són les següents :

- L'hidrogen conté més energia per quilogram que qualsevol altra substància química.
- L'hidrogen és un combustible net.
- L'hidrogen pot afavorir la sostenibilitat del planeta.

Producció d'hidrogen

BP aposta per l'hidrogen produït a partir de fonts d'energia renovables, concretament de l'energia solar. A través de les plaques fotovoltaïques, es transforma directament l'energia solar en electricitat. Posteriorment, a través d'un procés d'electròlisi es trenca la molècula d'aigua en hidrogen i oxigen. Aquest hidrogen es comprimeix a alta pressió i queda emmagatzemat en estat gasós fins el seu subministrament.

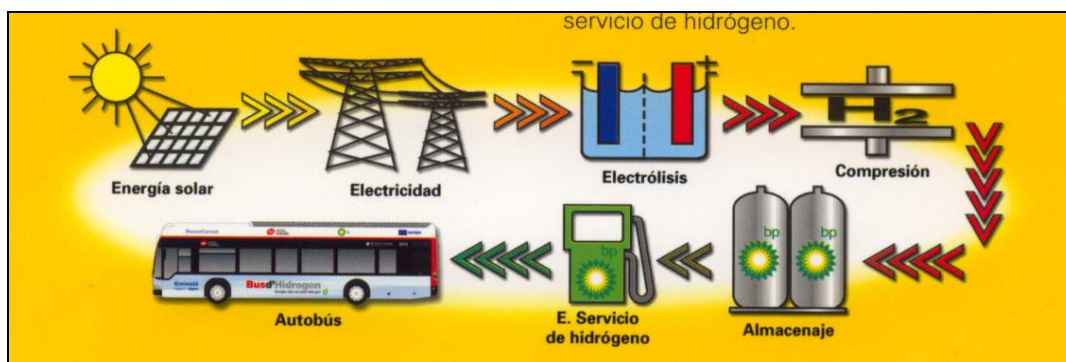


Fig. 4.3.1.1. Producció d'hidrogen pel projecte CUTE (font: BP)



Visió global del sistema energètic emprat

L'energia intrínseca que transporta l'hidrogen és transformable en electricitat a partir de piles d'hidrogen. Les piles d'hidrogen representen un sistema molt interessant per convertir l'energia, permeten obtenir energia elèctrica a partir de la reacció d'hidrogen amb oxigen. El nucli d'una pila d'hidrogen té dos elèctrodes (ànode i càtode) separats per un electròlit permeable als ions però no als electrons.

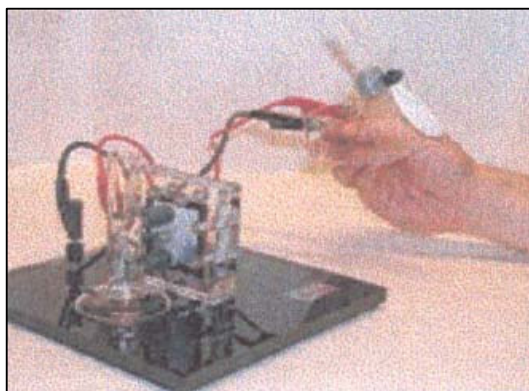


Fig. 4.3.1.2. Exemple d'una pila d'hidrogen (font: Fuel Cell Store)

Projecte CUTE

El projecte **CUTE (Clean Urban Transport in Europe)** és un projecte europeu implantat a nou ciutats: Amsterdam, Hamburg, Londres, Luxemburg, Madrid, Oporto, Estocolm, Stuttgart i Barcelona. El seu objectiu és avaluar la viabilitat de l'hidrogen com a combustible eficient en transports urbans i amb el mínim impacte mediambiental.

La intervenció de BP en el projecte CUTE consisteix en establir la infraestructura de generació, emmagatzematge i subministrament d'hidrogen als autobusos de les ciutats esmentades anteriorment. En aquestes ciutats BP desenvoluparà diferents solucions tècniques en la producció d'hidrogen per extreure'n conclusions i decidir els mètodes més adequats per produir i utilitzar aquest combustible en el futur.

BP i el projecte CUTE (Clean Urban Transport in Europe) a Barcelona:

A Barcelona, tres autobusos CUTE han començat a circular des de setembre de 2003, demostrant que es poden evitar emissions de CO₂ a l'atmosfera i garantir un



servei públic net i eficient. Les característiques d'aquests autobusos queden resumides en els següents punts:

- Són autobusos de 12 metres de llargada, de plataforma baixa, amb una autonomia de fins a 250 km amb una velocitat mitjana de 80 km/h.
- Les emissions no contaminen, així del tub d'escapament només se'n desprèn vapor d'aigua que mitjançant un procés de condensació es pot convertir en aigua destil·lada.
- Redueixen la contaminació acústica.
- Utilitzen una font d'energia alternativa als combustibles fòssils.
- L'hidrogen és emmagatzemat en tancs situats al sostre dels autobusos. La capacitat està al voltant d'uns 40 quilos d'hidrogen, que els dóna una autonomia d'uns 200 km, més del que poden fer en un dia.

Actualment, en l'estació de servei de BP únicament un 10% de l'hidrogen subministrat als autobusos té l'origen en l'energia solar. La gran majoria de l'hidrogen és obtingut a partir del gas natural. És necessari investigar molt més per tal de millorar el rendiment del sistema de producció d'hidrogen amb plaques fotovoltaïques. Ja que és incoherent utilitzar l'hidrogen com a alternativa si aquest ha estat produït a partir de combustibles fòssils.

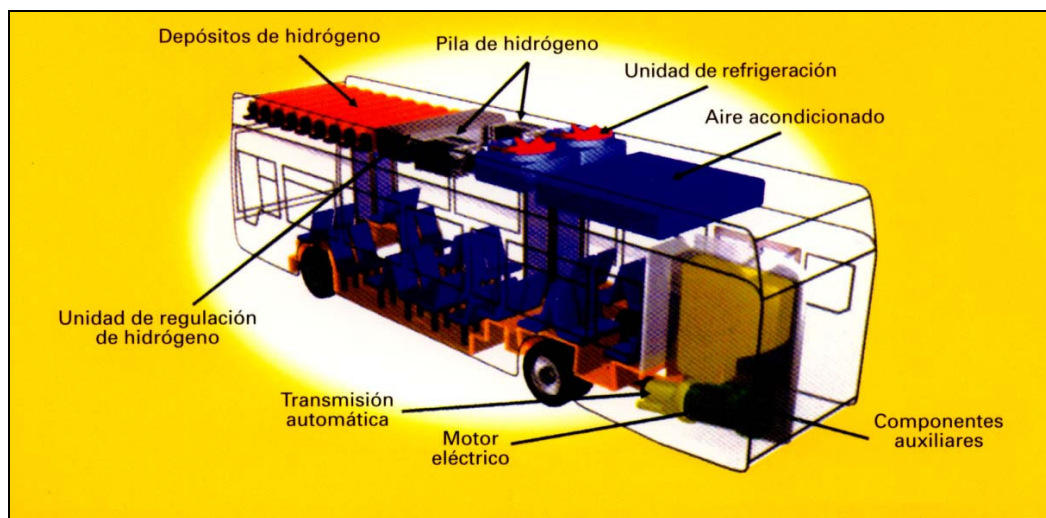


Fig. 4.3.1.3. Autobús de CUTE (font: BP)



b) SHELL

Empresa dedicada al sector energètic, i més concretament a l'obtenció i el subministrament de combustibles fòssils. Shell considera que l'energia és un medi de subsistència essencial, i com a tal es compromet a la contribució d'un desenvolupament sostenible que beneficiï tant a la societat com a l'empresa de cara a un futur relativament proper. L'objectiu de l'empresa es podria resumir mitjançant la següent proposició: *'Produir l'energia que exigeix el present i crear una base energètica de futur'*.

Producció d'hidrogen

Shell Hidrogen (grup de treball i investigació de Shell) ha estat creat per promoure un desenvolupament eficaç de l'hidrogen com a combustible. Ja s'han creat diverses estacions d'hidrogen a: Islàndia, Japó, Europa i els Estats Units que s'esperen posar en funcionament en un futur immediat.

La figura següent (Fig. 4.3.1.4) mostra el procés de producció d'hidrogen emprat per la companyia Shell. L'hidrogen produït prové de l'aigua i l'energia solar, a més també mostra un procés d'obtenció d'hidrogen a partir d'hidrocarburs convencionals.

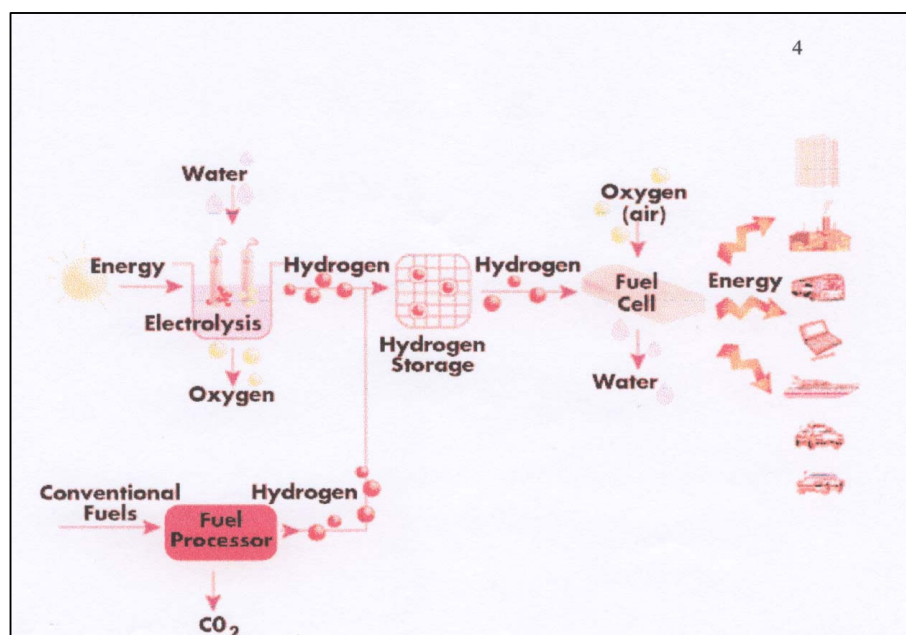


Fig. 4.3.1.4. Procés de producció d'hidrogen emprat per Shell. (font: Shell)



Les piles d'hidrogen estan començant a funcionar en el camp de l'automoció a U.S.A, Canadà, Islàndia i Europa.

Economia de l'hidrogen des del punt de vista de l'empresa

El projecte Shell Hidrogen és un negoci global del grup de companyies i empreses Shell amb quatre sucursals capdavanteres: dues a Amsterdam, una a Houston i una altra a Tokyo.

L'electricitat generada pel conjunt de fonts d'energia renovables pot ser usada per obtenir grans quantitats d'hidrogen de l'aigua. Posteriorment aquest hidrogen obtingut pot ser utilitzat en les piles de combustible per generar electricitat i energia tèrmica per la calefacció.

Alguns dels vehicles d'hidrogen amb els quals ha estat treballant la Shell ja s'han posat en marxa i ja són a la carretera. De totes maneres, queda molt per investigar ja que la innovació i el desenvolupament de les piles d'hidrogen encara ha de ser perfeccionat.

Idear i crear un sistema sostenible d'obtenció d'energia tal com el de l'hidrogen requereix una inversió de temps elevada. De totes maneres, Shell Hidrogen pensa que es podrà disfrutar dels beneficis del sistema de piles d'hidrogen a curt termini. Aquest fet ajudaria a conservar l'entorn ja que es disminuiria dràsticament l'emissió de CO₂ a l'aire.

Aquesta nova tecnologia s'està estudiant i desenvolupant a la Shell, per ser aplicada principalment als vehicles. De fet, l'empresa també està treballant per tal de millorar tot el mètode d'obtenció d'hidrogen.

Avantatges en la utilització de l'hidrogen

Shell creu que la revolució energètica de l'hidrogen es durà a terme ja que la tecnologia de l'hidrogen esdevindrà un èxit al mercat mundial.

Avantatges concrets de l'hidrogen des del punt de vista del grup de treball Shell Hidrogen :



- a) L'hidrogen no contamina, no obstant el seu procés de producció si que pot contaminar.
- b) L'hidrogen pot ser econòmicament competitiu amb la gasolina o el diesel.
- c) L'hidrogen és més segur que la gasolina, el diesel o el gas natural.
- d) L'hidrogen pot ajudar a prevenir la depressió i reducció de les reserves de combustibles fòssils.

Projecte Shell a Islàndia

Fa 25 anys, el professor Bragi Amason va afirmar que Islàndia podia ser independent dels altres països en qüestió de combustibles fòssils i que l'hidrogen era el futur del seu país. L'any 1999 es va constituir l'anomenat "New energy Ltd" format per diverses empreses: DaimlerChrysler, Hydro, Vist Orka i Shell Hydrogen.

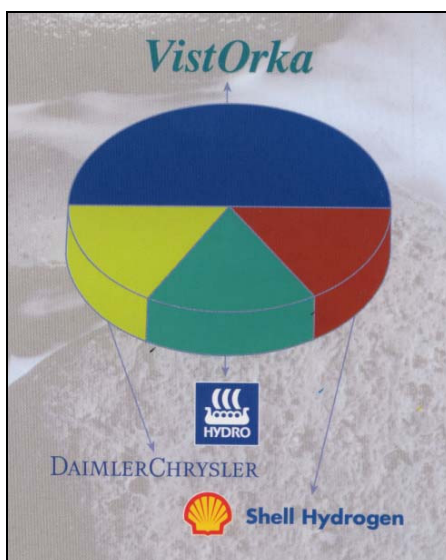


Fig. 4.3.1.5. *New Energy Ltd* (font: Shell)

Tal i com es veu a la Figura 4.3.1.5, la màxima participació prové de Vist Orka (51%) mentre que el 49% restant està repartit entre les altres tres companyies. Aquest grup disposa d'una excel·lent plataforma en l'estudi i investigació constant de l'hidrogen com a vector energètic.

Islàndia representa un model a seguir respecte a l'estudi d'energies renovables per la sostenibilitat del planeta. Els projectes que s'estan duent a terme en el camp de l'automoció i



la mobilitat són els següents: autobusos amb l'hidrogen com a combustible (piles d'hidrogen), vehicles també amb piles d'hidrogen i vehicles marítics.

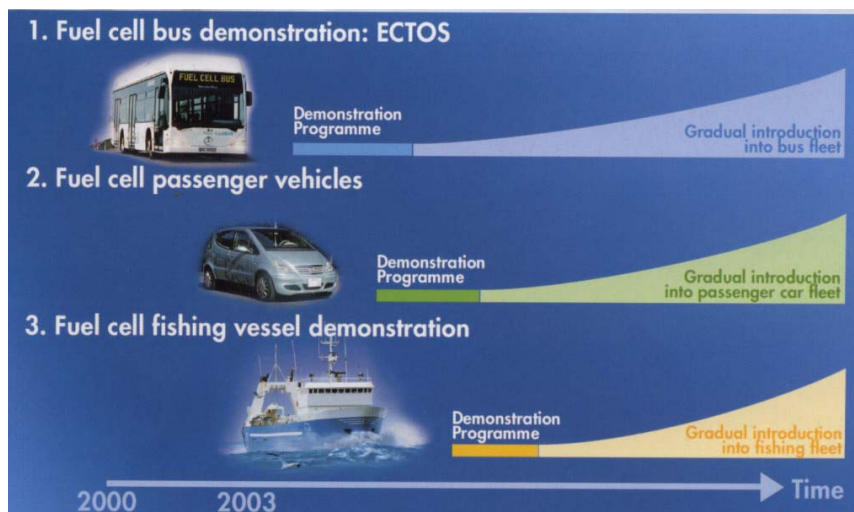


Fig. 4.3.1.6. Projectes que s'estan realitzant a Islàndia (font: Shell)

Actualment funcionen tres autobusos d'hidrogen a Reykjavík, però es preveu que abans de 2005 tots els autobusos de la ciutat funcionin amb piles d'hidrogen. Cal esmentar que l'objectiu principal de New Energy Ltd és investigar el potencial basat en l'hidrogen com a combustible per arribar a substituir els combustibles fòssils, creant d'aquesta manera la primera economia de l'hidrogen a nivell mundial.

El projecte que s'està realitzant a Islàndia és l'anomenat projecte ECTOS, el qual és el resultat de quatre anys de recerca. El cost total és de 7 milions d'euros, un 40% dels quals provenen de la comissió europea DG – research "City of tomorrow and cultural Heritage".

Infraestructura del projecte ECTOS

El projecte ECTOS consisteix en la realització d'una estació de servei d'hidrogen. Aquesta estació funciona tal i com s'ha explicat en l'esquema de producció exposat anteriorment per Shell Hydrogen. La tecnologia de l'electròlisi és molt coneguda a Islàndia, i ha estat usada durant dècades per produir materials utilitzats en agricultura. L'estació



d'hidrogen representa el resultat de la recerca de tots els membres i investigadors de Shell Hydrogen.



Fig. 4.3.1.7. Imatge virtual d'una estació d'hidrogen (font: Shell)

El model d'autobús utilitzat a Reykjavík i a nou ciutats europees (projecte CUTE) és l'anomenat *CITARO* de Mercedes Benz. En la següent figura (Fig. 4.3.1.8) es pot observar el model d'autobus utilitzat:



Fig. 4.3.1.8. Autobús d'hidrogen / Fuel cell bus (font: Shell)



c) EMPRESA AIRLIQUIDE

L'empresa Airliquide va ser fundada l'any 1902 i és líder en els serveis que ofereix. L'empresa es dedica a facilitar oxigen, nitrogen, hidrogen i altres gasos a grans companyies, i a innovar en l'estudi de la utilització d'aquests. Cal destacar que la tecnologia utilitzada per l'empresa és innovadora, fet que els permet estudiar i investigar amb una gran eficàcia i seriositat.

Treball de l'empresa en el camp de l' hidrogen

Els generadors d'hidrogen del model que Airliquide anomena *HYOS* són capaços de produir hidrogen a alta pressió sense la necessitat d'utilitzar compressors. La puresa de l'hidrogen obtingut és del 99.9998% gràcies al sistema emprat per la companyia. Un altre benefici important de cara el negoci de Airliquide és el fet que a través del procés dut a terme a aquestes piles d'hidrogen s'obté oxigen de puresa del 99.5% que es pot vendre com a producte.

Avui en dia, el procés d'electròlisi resulta ser un dels processos tecnològicament més sostenible per produir hidrogen.

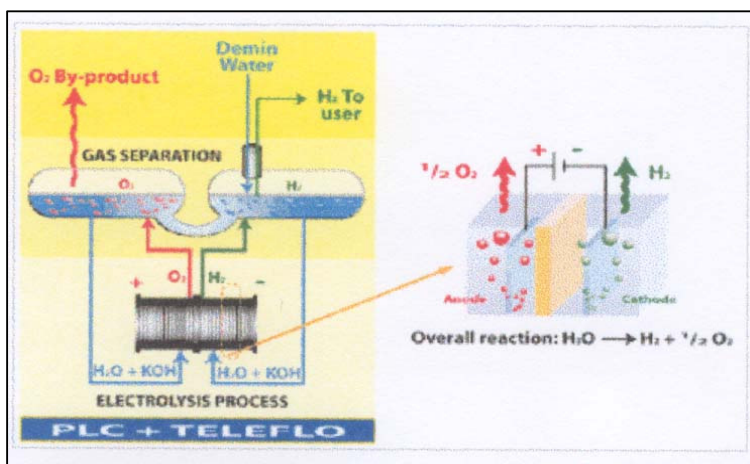


Fig. 4.3.1.9. Producció d'hidrogen mitjançant un generador Airliquide
(font: Airliquide)

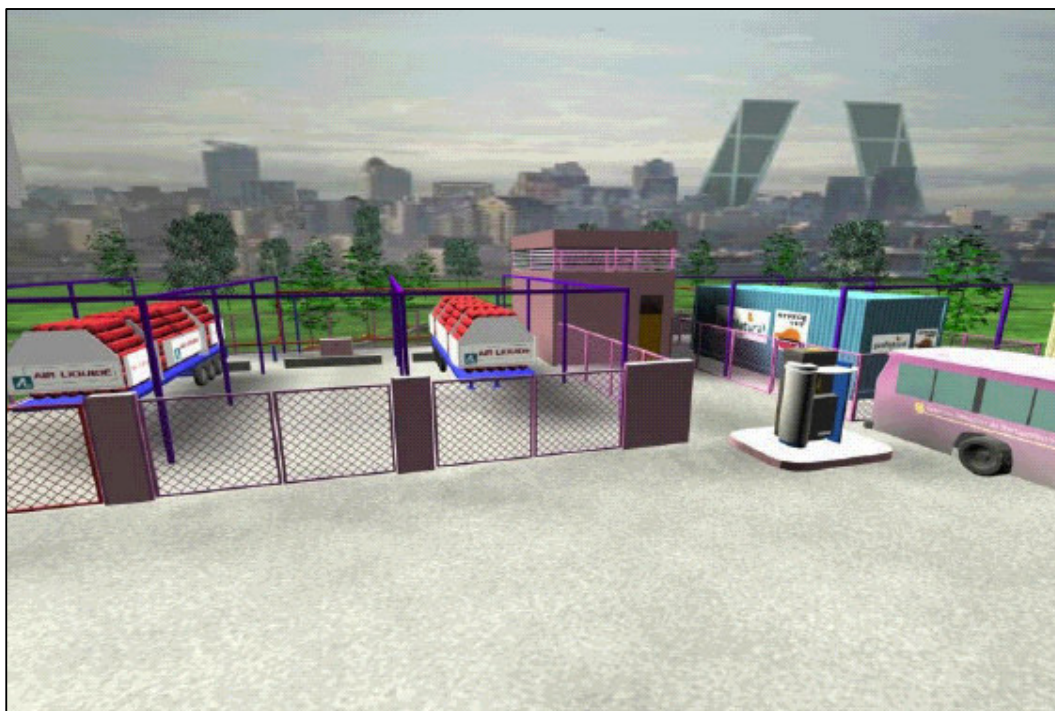
1. Procés d'electròlisi.
2. Aigua més Hidròxid potàssic.



3. Aigua més Hidròxid potàssic.
4. Oxigen (a través del càtode)
5. Hidrogen (a través de l'ànode)
6. Separació de gasos.
7. Oxigen (producte d'empresa)
8. Hidrogen (com a combustible)
9. Aigua.

Estacions de servei d'hidrogen

La companyia Airliquide, juntament amb Gas Natural i Repsol YPF ha creat el que s'ha anomenat una estació de combustible hidrogen. En la següent figura (Fig. 4.3.1.10) es pot observar: els dipòsits d'emmagatzematge de l'hidrogen, el sortidor d'hidrogen per repostar els vehicles i el generador d'hidrogen (reformador de gas natural).



*Fig. 4.3.1.10. Esquema general d'una estació d'hidrogen
(font: Airliquide, Repsol, Gas natural)*

4.3.2. A nivell europeu

Actualment existeix un grup de treball de la Comissió Europea dedicat a l'estudi de l'hidrogen. Per tal de fer front a les últimes dècades de vida del petroli és



necessari construir una perspectiva energètica completament divergent a la constituïda fins el moment. Per aquest motiu la Unió Europea s'ha plantejat una estratègia basada en l'hidrogen i les piles combustible. Fa falta una inversió considerable, investigació i un marc polític molt concret, segons les paraules d'experts i polítics europeus. L'objectiu és fer una mena de transició cap a l'hidrogen i no perdre aquest tren quedant per darrera de Japó i Estats Units. L'hidrogen representarà la revolució industrial del segle XXI tant a nivell social, comercial com polític. L'hidrogen té la propietat de ser sostenible, no contaminant i de ser capaç de proporcionar accés a l'energia a tots els éssers humans del planeta.

Les necessitats o requeriments per tal de construir una infraestructura europea basada en l'hidrogen són els següents :

- Un número abundant d'estacions d'hidrogen. Cal començar substituint el 5% dels combustibles utilitzats en vehicles europeus.
- De 15 a 20.000 estacions de combustible de les 100.000 que hi ha actualment han de ser estacions d'hidrogen.
- Les condicions anteriors s'han d'assolir abans de 2020.
- Si hi hagués més estacions d'hidrogen, es podria arribar a substituir un 15% de l'energia consumida a Europa.

A continuació es mostren diversos gràfics i taules on es reflexen diversos aspectes sobre el potencial de les energies renovables a Europa per l'automoció, el progrés d'Europa en el camp de l'hidrogen, les companyies que treballen amb hidrogen a Europa, l'entrada a una infraestructura basada en estacions d'hidrogen, etc.

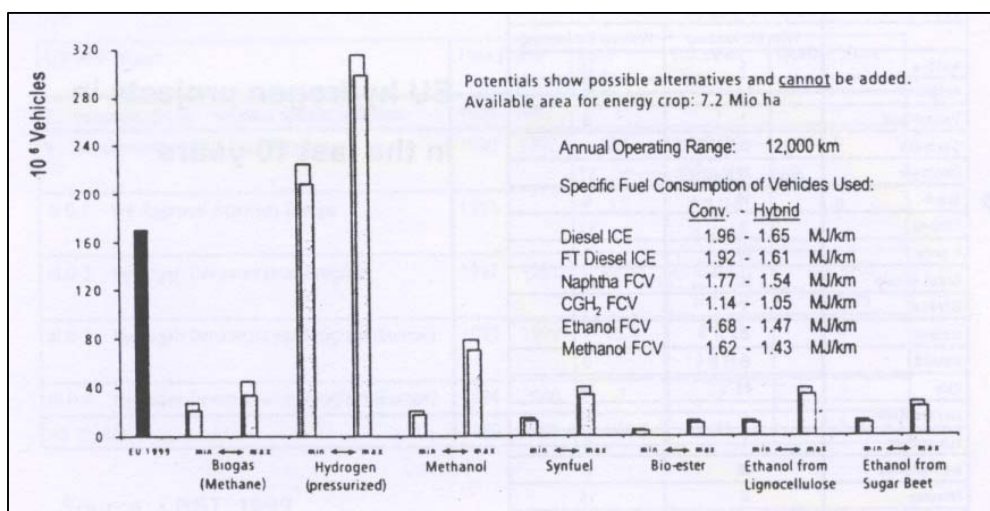


Fig. 4.3.2.1. Nombre de vehicles que poden substituir el seu combustible per d'altres procedents de fonts d'energia renovables abans de l'any 2020. Tal i com



queda reflexat en l'estudi, l'hidrogen serà la font d'energia més utilitzada prop de l'any 2020, seguit del metanol i deixant endarrera altres fonts alternatives.

Air Liquide	Air Products
BP	Aral
Linde	Messer
Repsol Ypf	Shell
Total Fina Elf	Hofer
Advantica technology	Ballast Nedam
Bauer Kompressoren	Brochier
Burton Corblin	Greenfield
Marconi commercre systems	Vandenborre technologies

Taula 4.3.2.1. Companyies europees que faciliten l'estudi i la investigació de l'hidrogen.

<i>País</i>	Nombre de projectes
Àustria	15
Bèlgica	14
Suïssa	15
Alemanya	58
Dinamarca	81
Espanya	25
Finlàndia	14
França	46
Gran Bretanya	133
Grècia	8
Islàndia	1
Irlanda	6
Itàlia	57
Liechenstein	0
Luxemburg	1
Holanda	54
Noruega	21
Portugal	9
Suècia	32
TOTAL	366

Taula 4.3.2.2. Nombre de projectes duts a terme a la Unió Europea relacionats amb l'hidrogen.



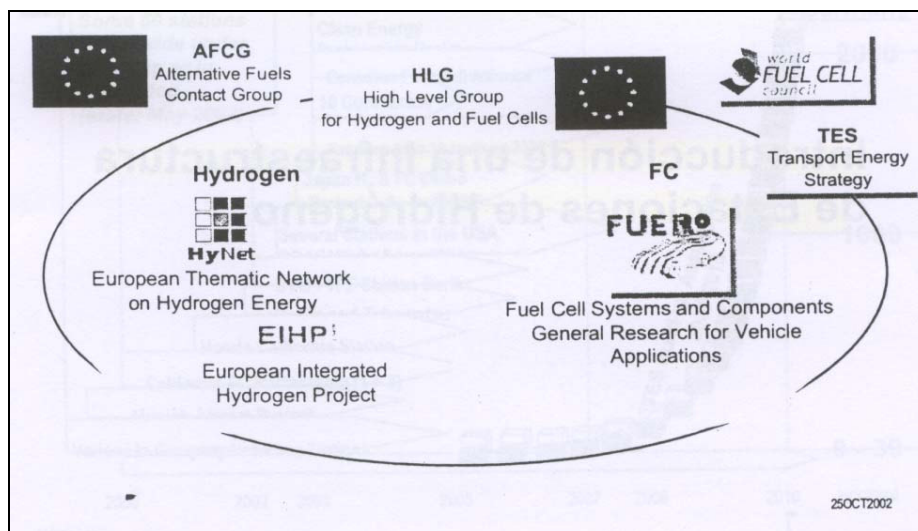


Fig. 4.3.2.2. Grans companyies i grups de treball a Europa dedicats a l'estudi de les piles d'hidrogen.

4.3.3. A nivell estatal

En aquest apartat s'ha estudiat la situació de l'hidrogen a Espanya a partir de quatre institucions rellevants en la investigació i el desenvolupament.

1) Ministeri de Ciència i tecnologia

El ministeri de ciència i tecnologia ens presenta de forma esquematitzada i resumida, diversos aspectes a partir dels quals es descobreix i es comprèn la situació de l'estudi de l'hidrogen a nivell estatal. Per aquest motiu s'han ordenat i classificat els diversos estudis de la següent forma:

➤ Empreses i centres tecnològics que treballen en la investigació de l'hidrogen:

- David FCC
- Besel
- Fundació CIDETEC
- Ikerlan
- Rucker

➤ Piles combustible / generadors electroquímics utilitzats a l'estat :

Les piles combustible més usades a nivell d'investigació a tot l'estat, són les anomenades piles polimèriques d'hidrogen (PEM)



2) Centre d'investigació tecnològica i electroquímica

Dos exemples de casos desenvolupats al centre d'investigació tecnològica i electroquímica són el funcionament d'una ràdio (Fig. 4.3.3.1) i un mòbil (Alcatel) (Fig.4.3.3.2) mitjançant piles d'hidrogen:

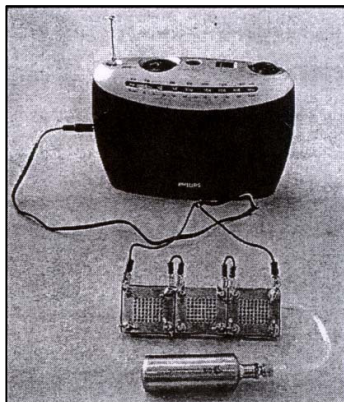


Fig. 4.3.3.1. Ràdio (1r projecte – desembre 2001) (font: Associació espanyola de l'hidrogen)

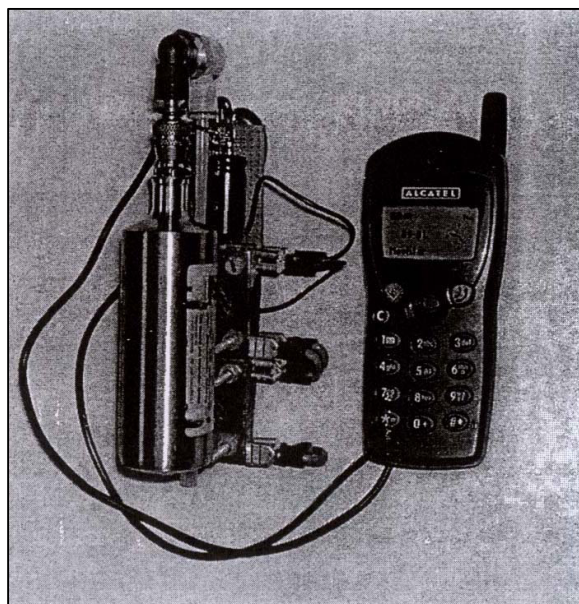


Fig. 4.3.3.2. Telèfon mòbil(2n projecte-desembre2002) (font: Associació espanyola de l'hidrogen)

3) Associació espanyola de l'hidrogen (AeH₂)



- Objectius de l'AeH₂:

L'objectiu principal de l'associació és fomentar el desenvolupament de les tecnologies de l'hidrogen com a nova font d'energia i promocionar les seves aplicacions a nivell industrial, social i comercial. De forma resumida els objectius de l'associació són els següents:

- a) Producció centralitzada d'hidrogen
- b) Producció d'hidrogen a partir de fonts d'energia renovables.
- c) Emmagatzement, transport i distribució de l'hidrogen.
- d) Utilització de l'hidrogen en processos de combustió.
- e) Utilització de l'hidrogen en piles combustibles.
- f) Utilització de les piles en l'automoció i aplicacions portàtils.
- g) Utilització de l'hidrogen en processos industrials.
- h) Normativa
- i) Seguretat

- Diversos projectes mundials en els que participa l'associació:

1. **Euro – Quebec Hydro Hydrogen:** Producció d'hidrogen a partir d'energia hidràulica i transport de l'hidrogen a Europa des del Quebec.
2. **DMFC elèctrodes :** Piles combustible de metanol directe.
3. **MISDAT + MOLCARE + MCTWINS:** Sistema de piles combustible que funcionen a partir de carbonats fosos a 100 kW.
4. **METHANOL PARTIAL OXIDATION:** Desenvolupament d'un reactor catalític emprat en la oxidació parcial del metanol.
5. **EIHP:** Elaboració d'una normativa per la utilització de l'hidrogen com a combustible de vehicle.
6. **FCMO:** Desenvolupament d'una pila combustible de baixa temperatura per la utilització del metanol com a combustible.
7. **CRYOPLANE:** Projecte d'avions alimentats per hidrogen líquid, projecte coordinat per DaimlerChrysler.



8. **APOLLON**: Disseny de piles de combustible del tipus PEM per hidrogen i metanol, amb alt rendiment i baix cost.

9. **VIRTUAL FC**: Projecte d'una planta virtual basada en 54 sistemes de piles combustible.

10. **CUTE**: Transports urbans a Europa nets, consta de 30 autobusos urbans circulant per 10 ciutats europees.

11. **HSAPS**: Estudi del potencial de sistemes aïllats d'energies renovables amb hidrogen.

12. **HYNET**: Xarxa temàtica sobre l'hidrogen.

13. **RES2H2**: Integració de sistemes d'energia renovable en el sector energètic europeu mitjançant la utilització de l'hidrogen. Els objectius principals del projecte són la investigació per la producció i emmagatzement de l'hidrogen, la producció comercial de l'hidrogen amb viabilitat tant econòmica com tècnica i la difusió de la informació per tal de posar-la a l'abast de tots els usuaris. Com a conclusió, es podria dir que el projecte tracta de demostrar la viabilitat de l'hidrogen des dos punts de vista diferents :

- L'hidrogen com a sistema emmagatzement d'energia a partir de fonts renovables.
- Promoure una generació neta de tota energia mitjançant l'hidrogen.

14. **HYSOCIETY**: Estudis per la introducció de les tecnologies de l'hidrogen i el seu accés als ciutadans.

4) Institut Català de l'energia (ICAEN)

L'actual tasca de l'ICAEN respecte a l'estudi de l'hidrogen, i més concretament en el seu treball mitjançant piles combustible, es basa en la propulsió alternativa de vehicles a partir de piles d'hidrogen. El projecte es basa en tres punts clau:

- Situació del sector del transport
- Millora de l'eficiència energètica en el sector del transport
- L'hidrogen com a energia emprada en el sector del transport



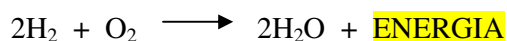
4.4. Les piles de combustible

4.4.1. Informació general

Les piles de combustible (FC, fuel cells) són generadors electroquímics que converteixen l'energia química emmagatzemada en enllaços químics (H₂, metà, metanol, hidrocarburs) en electricitat i calor. El concepte de pila de combustible data de la meitat del segle XIX, però és en aquesta última dècada quan s'ha dut a terme una intensa activitat amb l'objectiu d'incrementar la flexibilitat de generació d'electricitat i de proporcionar sistemes simples i eficients de generació d'electricitat distribuïda.

Un dels factors que més ha afavorit el desenvolupament de les piles de combustible ha sigut l'impacte ambiental que tenen els combustibles fòssils en la generació d'energia elèctrica i en l'automoció. Aquest tipus de generadors pot ajudar a reduir la dependència dels combustibles fòssils i a disminuir les emissions contaminants a l'atmosfera.

La reacció que es produeix en una pila d'hidrogen és la següent:



4.4.2. Breu història de les piles d'hidrogen

1839: Sir William Grove⁴ (físic) va fer públic un experiment en el que demostrava que era possible combinar oxigen i hidrogen per tal de produir aigua i corrent elèctric. L'experiment consistia en unir quatre piles electroquímiques en les que hi constaven un elèctrode amb hidrogen i un altre amb oxigen, separats per un electròlit. El que va comprovar Grove era que la reacció d'oxidació de l'hidrogen en l'elèctrode negatiu combinada amb la reacció de reducció de l'oxigen en l'elèctrode positiu hi generava corrent elèctric. No obstant, els principis bàsics de funcionament de la pila combustible d'hidrogen ja els havia descobert el professor suís Christian Friedrich l'any 1838.

1839 – 1959: Es va dur a terme una investigació en la que s'examinava i s'analitzava la viabilitat de les piles de combustió de carbó. Cal tenir en compte que el carbó era l'únic

⁴ Sir William Grove (1811 – 1896): advocat de Londres amb aficions del camp de l'enginyeria que va desenvolupar els primers prototipus de laboratori del que ell anomenava "bateria de gas" (avui en dia anomenat pila combustible).



combustible del qual es disposava. Durant aquest període de temps, un gran nombre de científics importants com ho eren Grove, Jaques, Mond, Haber, Ostwald, Nernst o Baur van aportar una quantitat considerable de coneixements bàsics referents a les piles de combustible.

1889: Aquesta any es considera de gran importància, ja que va ser l'any en el qual es va introduir el terme '*Piles de combustible*'(en anglès: fuel cells).

1959 – 2004: Desde 1959 i fins a l'actualitat s'ha dut a terme una gran investigació pel desenvolupament de les diferents piles de combustible, entre les quals es troben les piles d'hidrogen. Aquesta investigació continuarà fins a aconseguir la seva viabilitat tecnològica i econòmica.

Algunes de les aplicacions inicials més importants que hi ha hagut en aquest període són:

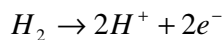
- *Missions espacials Apol·lo:* en la tecnologia aeroespacial al igual que en els submarins, el seu ús ja ha sigut provat durant varies dècades, no obstant els últims deu anys han permès l'ampliació d'aquesta tecnologia, tant en les seves aplicacions com en el seu rendiment. També aquí es tracta com en altres noves fonts d'energia d'augmentar la capacitat i disminuir el preu per permetre la seva sortida massiva al mercat i la seva fabricació en sèrie.
- En la *missió Gèminis* (1962–1966), concretament s'utilitza la pila corresponent a les sigles PEMFC (Proton exchange membrane fuel cell).

4.4.3. Estructura i funcionament

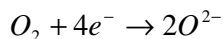
Aquests dispositius són piles galvàniques en les que l'energia lliure de la reacció química es converteix en electricitat. L'estructura bàsica de les piles de combustible és molt semblant: consisteix de dos elèctrodes, separats per un electròlit i connectats en un circuit extern. Els elèctrodes estan exposats a les corrents gasoses o líquides amb l'objectiu de subministrar el combustible i l'oxidant de forma efectiva (hidrogen i aire). Una condició indispensable dels elèctrodes és que siguin permeables als gasos i líquids, per tant han de ser de naturalesa porosa. Aquesta particularitat exigeix la optimització de l'estructura de l'elèctrode per qualsevol aplicació pràctica. A més, l'electròlit ha de ser lo més impermeable



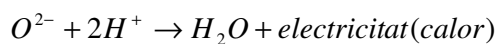
possible als gasos i líquids. En les piles de combustible d'electròlit polimèric (PEMFC, proton exchange membrane fuel cells) l'hidrogen s'oxida a l'ànode i els protons resultants de l'oxidació es transporten a través de la membrana polimèrica cap al càtode. El procés bàsic és:



Anàlogament, en el càtode es produeix la reacció de reducció de l'O₂ conforme a l'equació:



Els electrons circulen per un circuit extern una vegada s'han iniciat els dos processos electroquímics anteriors. Els ions O²⁻ es recombinen amb els ions H⁺ per formar aigua:



Per comparar les piles de combustible amb altres sistemes de transformació d'energia, com els motors de combustió interna, ha de realitzar-se un anàlisi de l'eficiència de cadascun dels processos. Un motor de combustió converteix l'energia química en mecànica, que a la seva vegada pot transformar-se en energia elèctrica mitjançant un generador. La combustió d'un hidrocarbur va acompanyada per un augment de la temperatura, degut a que les reaccions de combustió són molt exotèrmiques i els productes de la reacció són gasos. L'augment de calor produeix l'expansió dels gasos de combustió, que pot produir un treball mecànic mitjançant el moviment dels pistons en l'interior dels cilindres on té lloc la combustió. L'eficiència màxima d'aquest sistema ve donada per l'eficiència de Carnot (Eq. 4.4.3.1):

$$\eta_{MAXIM} = \frac{T1 - T2}{T1} \quad (\text{Eq. 4.4.3.1})$$

On T1 i T2 són les temperatures (°K) per l'operació de la màquina tèrmica. En general, aquestes eficiències són pròximes al 30% en els motors Diesel d'automoció i superiors (≈50%) pels sistemes més eficients, per exemple turbines de vapor.

En una pila de combustible, que no està sotmesa al cicle de Carnot, idealment l'energia lliure de la reacció pot convertir-se completament en electricitat ($\eta_{MAXIM}=100\%$). En la pràctica, no obstant, els sobrepotencials de l'elèctrode determinen



eficiències inferiors al 100%. S'ha de tenir en compte també que les reaccions electroquímiques mencionades són exotèrmiques per lo qual la utilització conjunta d'electricitat i calor (cogeneració) implica una eficiència neta més gran. El concepte de cogeneració resulta particularment atractiu, en termes energètics, per les aplicacions estacionàries, com en àrees residencials, on el calor (calefacció, aigua sanitària) i l'electricitat s'aprofiten simultàniament.

En la següent figura (Fig. 4.4.3.1) es pot observar l'estructura i el funcionament d'una pila d'hidrogen. Aquesta pila de combustible és del tipus PEM (electròlit de membrana polimèrica).

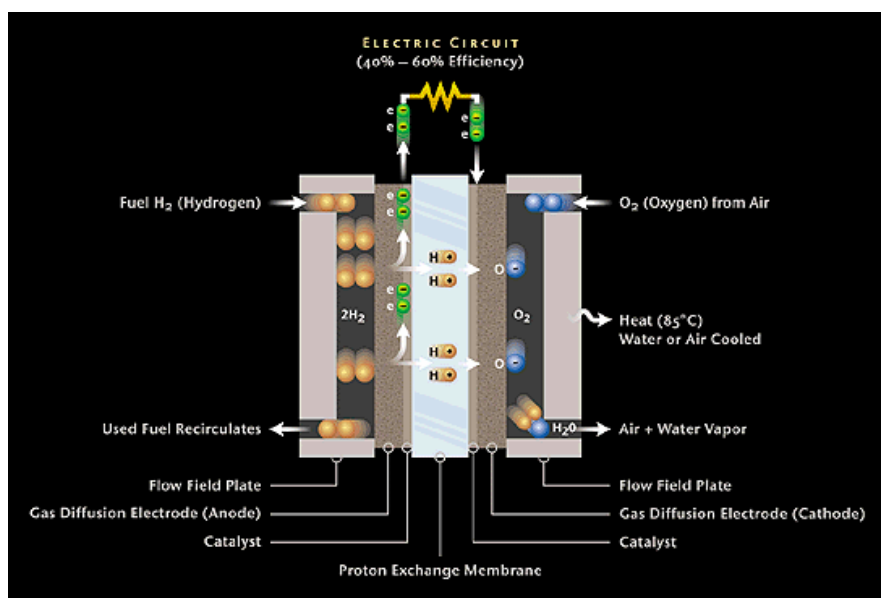


Fig. 4.4.3.1. Estructura interior d'una pila d'hidrogen (PEM) (font: companyia Ballard)

En la imatge es pot observar:

- la direcció dels electrons (e^-)
- l'entrada d'hidrogen (H_2)
- l'entrada d'oxigen (O_2)
- l'ànode (material porós)
- el cànode (material porós)
- l'electròlit (membrana polimèrica)
- sortida d'aigua (H_2O) i aire



- direcció dels protons (H^+)

4.4.4. Tipus de piles de combustible

En tota pila de combustible que utilitza l'hidrogen com a combustible la reacció global és la mateixa, però el criteri que les diferencia i classifica és el fet que la reacció parcial (la que es du a terme al càtode i ànode) pot ser diferent. Les piles de combustible es classifiquen pel tipus d'electròlit que utilitzen. També s'agrupen en funció de la temperatura d'operació: baixa i alta temperatura. Les de baixa temperatura són: les alcalines (A), les d'electròlit polimèric (PEM) i les d'àcid fosfòric (PA). Les de temperatura elevada funcionen en l'interval de 600-950°C, entre les que estan les de carbonats fosos (MC) i les d'electròlit d'òxid sòlids (SO).

Es poden diferenciar els següents tipus de piles de combustible [Ref.3]:

- d'àcid fosfòric (PAFC)
- de membrana polimèrica (PEMFC)
- de carbonats fosos (MCFC)
- d'òxid sòlid (SOFC)
- alcalina (AFC)
- de metanol directe (DMFC)
- regeneratives
- de zinc-aire (ZAFC)
- de ceràmic protònic (PCFC)

En la següent taula (Taula 4.4.4.1) es poden observar els usos, aplicacions i característiques dels principals tipus de piles de combustible.



Tipus	Electròlit	Temperatura	Aplicacions	Avantatges	Inconvenients
Polimèriques (PEM)	Nafion ⁵	60 – 100°C	Transport Equips Portàtils Electricitat	Baixa temperatura, arrancada ràpida, electròlit sòlid.	Catalitzadors cars.
Alcalines (AFC)	KOH Hidròxid potàssic	90 – 100°C	Militars Espacials Automoció	Millors prestacions de corrent, ràpida reacció al càtode.	Es necessita eliminar el CO ₂ de l'aire.
D'àcid fosfòric (PAFC)	H ₃ PO ₄ Àcid fosfòric	175 – 200°C	Sistemes estacionaris	Eficaç un 85%, té la possibilitat d'utilitzar H ₂ impur com a combustible.	Corrent i potència baixes, pes i tamany elevat.
De carbonat fos (MCFC)	Carbonats : Li (liti) Na (sodi) K (potassi)	600 – 1000°C	Sistemes estacionaris	Avantatges que comporten el fet de treballar a altes temperatures.	Augment de la corrosió.
D'òxid sòlid (SOFC)	O ₂	800 – 1000°C	Sistemes estacionaris Automoció	L'electròlit sòlid redueix la corrosió, catalitzadors barats.	Les altes temperatures faciliten la ruptura dels components.
De metanol (DMFC)	Nafion	60 – 100°C	Transport Equips Portàtils Electricitat	Combustible líquid.	

Taula 4.4.4.1. Tipus de piles de combustibles

⁵ Una varietat important de piles d'hidrogen són les de tipus PEM (instal·lades en vehicles). En aquest tipus de pila no hi ha electròlit líquid. Al seu lloc hi ha una membrana de material polimèric que permet el pas dels protons. Aquesta membrana acostuma a ser de plàstic transparent i és coneguda com a NAFION.
Nafion : Polifluoroestirè entrecreuat i sulfonat.



Tipus de pila de combustible	Rendiment
Alcalina (AFC)	60%
Carbonat fos (MCFC)	45-60%
Àcid fosfòric (PAFC)	40-45%
Polimèriques (PEMFC)	35-45%
Òxid sòlid (SOFC)	50-65%

Taula 4.4.4.2. Taula de rendiments de les principals piles de combustible

Per més informació sobre les característiques de cada tipus de pila de combustible, consultar a l'Annex H.

4.4.5. Aplicacions de les piles d'hidrogen

Algunes de les aplicacions més interessants són:

- Substituir els motors dels vehicles.
- Generar electricitat en grans centrals, substituint a les actuals centrals.
- Cogeneració domèstica de calor i electricitat.
- Aplicacions espacials (transbordadors de la NASA)
- Aplicacions militars (principalment submarins)
- Telèfons mòbils.

Les principals aplicacions que fins el moment s'estan experimentant amb piles d'hidrogen es poden classificar en els següents tres grups:

1.- Aplicacions en el sector del transport

En els darrers anys s'ha realitzat una gran inversió en I+D en el camp de l'automoció en l'estudi d'aquestes piles. De fet, totes les marques importants d'automòbils ja disposen d'un model amb pila de combustible. La gran majoria de models utilitzen la pila d'hidrogen del tipus PEM (Proton Exchange Membrane). La velocitat màxima a la que poden circular aquesta classe de vehicles està al voltant de 150 km/h, velocitat gens despreciable considerant que el límit de velocitat per autopista a Catalunya és de 120km/h.



Una exemple d'aplicació és l'anomenat projecte C.U.T.E. Des de setembre de 2003, TMB (Transports Metropolitans de Barcelona) disposa de tres models d'autobusos propulsats per piles d'hidrogen.

A continuació en les següents figures es poden observar diferents aplicacions:



Fig. 4.4.5.1. Mountainbikes amb piles d'hidrogen (font: Fuel Cell 2000)



Fig. 4.4.5.2. Model de Mercedes-Benz, NECAR3 (font: Fuel Cell 2000)

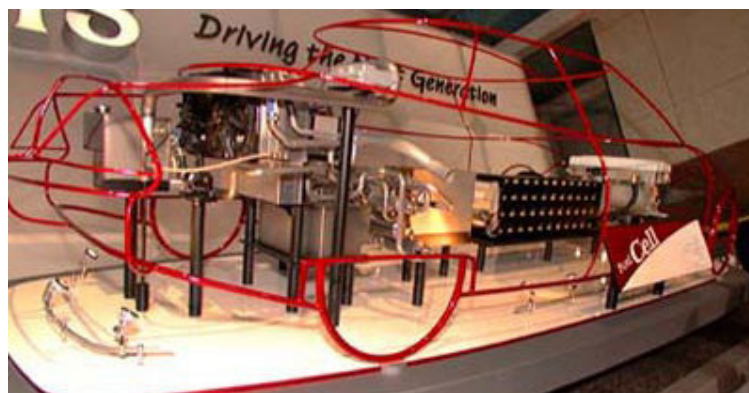


Fig. 4.4.5.3. Elements d'un vehicle amb piles d'hidrogen (font: Fuel Cells 2000)





Fig. 4.4.5.4. Scooter propulsat per hidrogen (font: Fuel Cells 2000)

2.-Aplicacions portàtils

Actualment ja es poden trobar al mercat piles d'hidrogen portàtils. Aquestes piles solen ser del tipus PEMFC o del tipus DMFC (amb metanol com a combustible).

Exemples d'aplicacions portàtils poden ser: telèfons mòbils, càmeres de vídeo, ordinadors portàtils, generadors portàtils,...

En les següents imatges es pot observar el model portàtil AIRGEN de l'empresa Ballard (el qual proporciona una potència de 1000W) i diverses aplicacions.

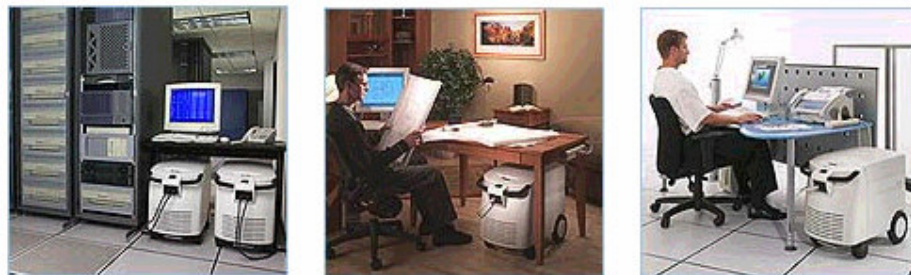


Fig. 4.4.5.5. Model AIRGEN de Ballard (font: Ballard)



Fig. 4.4.5.6. Càmera de vídeo amb pila de combustible (font: Fuel Cells 2000)





Fig. 4.4.5.7. Sistema per alimentar un ordinador portàtil (font: Fuel Cells 2000)

3.-Aplicacions estacionàries

Existeixen dues classes d'aplicacions estàtiques: els macrosistemes i els sistemes residencials.

Macrosistemes: consisteix en la utilització de grans sistemes de piles de combustible en hospitals, oficines d'informàtica, blocs de cases,...per tal de subministrar electricitat en cas d'una possible absència del corrent elèctric de la xarxa i per tal de complementar el corrent elèctric també de la xarxa en hores punta.



Fig. 4.4.5.8. Exemple n°1 de pila estacionària (font: Fuel Cells 2000)



Fig. 4.4.5.9. Exemple n°2 de pila estacionària (font: Fuel Cells 2000)





Fig. 4.4.5.10. Exemple n°3 de pila estacionària (font: Fuel Cells 2000)

Sistemes residencials: consisteix en l'ús domèstic de piles d'hidrogen principalment del tipus PEM amb una potència reduïda (varis kW). S'utilitzen tant per electricitat com per la calefacció de l'habitatge.



Fig. 4.4.5.11. Dos tipus diferents de piles de combustible per a ús domèstic (font: Fuel Cells 2000)



Fig. 4.4.5.12. Un altre exemple de pila, d'ús en un habitatge (font: Fuel Cells 2000)



4.4.6. Avantatges i inconvenients de la pila d'hidrogen

AVANTATGES:

- Són silencioses.
- Funcionen ininterrompudament.
- El preu de l'energia que es produeix és molt pròxim al de l'energia que es genera mitjançant altres procediments. S'espera que el futur cost d'aquestes piles sigui baix, permetent una disponibilitat d'aquests elements en un termini mitjà.
- No tenen emissions contaminants, únicament aigua (H₂O).
- Presenten una densitat d'energia i potència molt elevada.
- Són simples i modulars.
- Ofereix moltes aplicacions diferents substituint a les bateries o a generadors d'energia: aplicacions de baixa potència (telèfons mòbils, ordinadors portàtils,...) i aplicacions d'alta potència (vehicles elèctrics, aplicacions estacionàries,...)

INCONVENIENTS:

- El cost ecològic de la producció del combustible hidrogen és molt elevat.
- El cost de la fabricació de piles d'hidrogen és molt elevat.
- Alguns científics de l'Institut Tecnològic de Califòrnia adverteixen que l'ús generalitzat de l'hidrogen podria perjudicar la capa d'ozó que ens protegeix de la radiació ultravioleta. La capa d'ozó podria arribar a perdre un 8% de la seva densitat.

Comparació amb un motor de combustió

En la següent taula (Taula 4.4.6.1) estan indicades les principals diferències entre les dues tecnologies.

Pila de combustible	Motor de combustió
Silenciós	Sorollós
Rendiment elèctric del 40-50% Rendiment global 70-80%	Rendiment del 16%
No emissions contaminants	Emissions de CO ₂ , CO,...
Tecnologia immadura	Tecnologia madura

Taula 4.4.6.1. Diferències entre una pila de combustible i un motor tèrmic



Comparació amb les bateries

Les principals avantatges que ofereixen les piles de combustible respecte les bateries són:

- major densitat d'energia

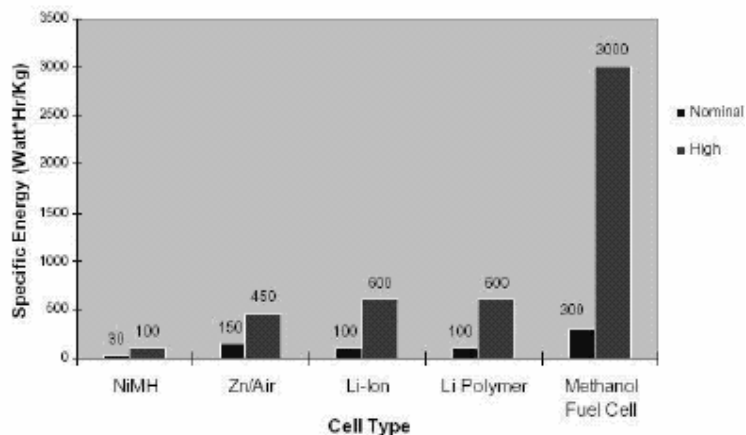


Fig. 4.4.6.1. Diferència de densitat energètica entre les piles de combustible i les bateries elèctriques

- mediambientalment menys agressives
- càrrega immediata
- potencialment més barates

4.5. L'hidrogen al sector de l'automoció

Fins ara, els vehicles que funcionen amb hidrogen han sigut utilitzats únicament en programes pilot. Tot i així, la gran majoria d'empreses a nivell mundial estan invertint una gran quantitat de diners per tal de promocionar el desenvolupament del sistema de piles de combustible d'hidrogen. Hill Ford (director de la companyia Ford) prediu que d'aquí a 25 anys, l'hidrogen s'haurà convertit en la font d'energia més important en el transport. Un dels principals problemes existents és el fet que el cost d'un vehicle d'hidrogen és tant elevat que s'hauria de reduir fins a 60 vegades per tal de ser compatible a la nostra societat.

Les companyies Ford, Honda, Daimler Chrysler, Hyundai, Toyota, Nissan i Renault utilitzen prototipus de vehicles d'hidrogen amb piles de combustible. A més, Ford i Honda pretenen també utilitzar un sistema d'extracció d'hidrogen mitjançant el procés d'electròlisi.

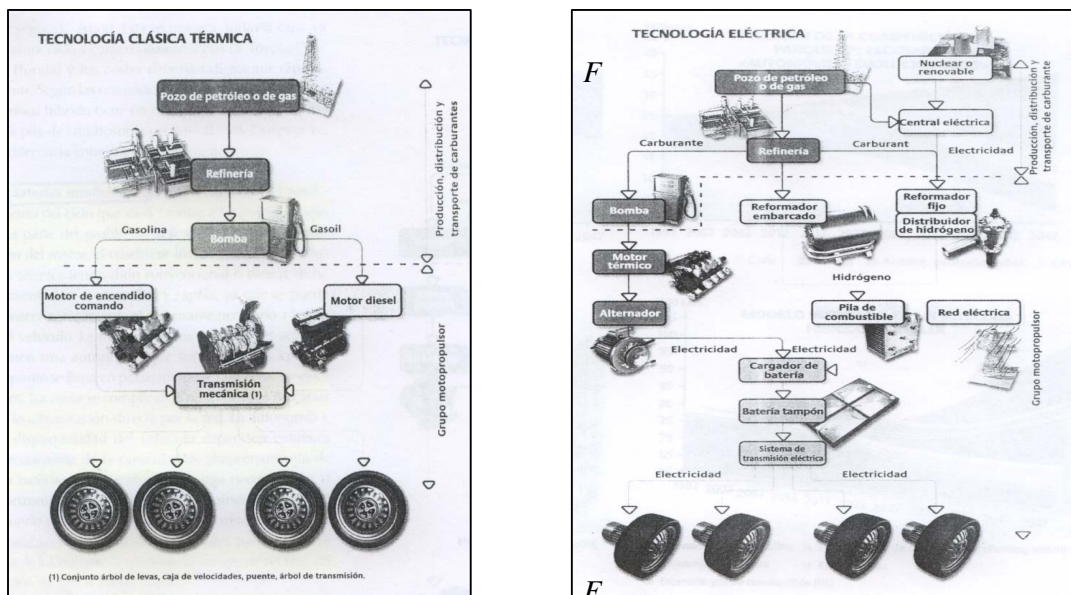


Possibilitats i alternatives

Actualment pràcticament tots els vehicles que circulen per les carreteres utilitzen un motor tèrmic convencional. No obstant hi ha alternatives a aquests vehicles com poden ser els vehicles anomenats híbrids. Aquests vehicles combinen l'ús de combustibles fòssils pel motor tèrmic i l'energia elèctrica pel motor elèctric. El principi de funcionament d'aquest tipus de vehicle és simple. El que es fa és convertir l'energia de les frenades en energia elèctrica, aquesta energia és emmagatzemada en bateries i llavors és utilitzada pel motor elèctric per propulsar el vehicle. S'utilitza el motor elèctric bàsicament per conducció en ciutat.

Aquests vehicles híbrids redueixen el consum de gasoil o gasolina, no obstant són més cars fet que provoca que no puguin competir amb els actuals. Ja que els usuaris no compraran un vehicle que gastí una mica menys però que és bastant més car. Actualment varies empreses ja comercialitzen vehicles d'aquest tipus, per exemple el model Prius de Toyota. Una altra alternativa als motors tèrmics són els vehicles que s'han comentat anteriorment, vehicles que utilitzen piles de combustible amb hidrogen. Aquests s'espera que siguin el futur de l'automoció.

A continuació en la següent figura (Fig. 4.5.1) es pot observar la diferència tecnològica entre un vehicle tèrmic o elèctric.



ig. 4.5.1. Tecnologia tèrmica i elèctrica en el sector de l'automòbil (font: Censolar)



Comparació entre la tecnologia elèctrica i la tecnologia tèrmica:

- El motor elèctric ofereix un major rendiment respecte al motor tèrmic.
- El motor elèctric té la capacitat de recuperar part de l'energia de frenada.
- El rendiment d'un motor per gasolina és del 25%, el d'un motor diesel és del 30% i el d'un motor elèctric entre el 90 % - 95%.
- El rendiment global d'un combustible emmagatzemat en el mateix vehicle és del 20% - 25% per la tecnologia tèrmica, i de 85% - 90% per la tecnologia elèctrica.
- Les bateries dels vehicles elèctrics actuals presenten una sèrie d'inconvenients: una densitat de càrrega baixa, la càrrega de la bateria no és immediata sinó que pot durar moltes hores, la seva vida útil és curta entre 5 i 10 anys, els seus productes són contaminants. Degut a aquests inconvenients el motor elèctric actual no pot competir amb el propulsat per combustibles fòssils.

Tecnologies	Rendiment de producció del combustible [%]	Rendiment mitjà del grup propulsor [%]	Rendiment global [%]
<i>Gasolina</i>	80 – 85	20	17 - 16
<i>Diesel</i>	85 – 90	25	21 – 23
<i>Hidrogen (electròlisi)</i>	15 – 25	37 – 52	5.5 – 13
<i>Hidrogen (metanol)</i>	48 – 60	37 – 52	18 – 31
<i>Hidrogen (metà)</i>	40 – 60	37 – 52	15 – 31

Taula 4.5.1. Rendiment de les diferents tecnologies per propulsar un vehicle

És molt important tenir en compte els valors exposats a la Taula 4.5.1 en tot moment per tal de valorar a consciència totes les possibilitats de l'hidrogen en el sector de l'automòbil. Pels anys 2010 – 2015 possiblement els progressos de la tecnologia ja permetin la comercialització d'alguns vehicles d'hidrogen. Fet que suposaria:

- Disminució del consum de combustibles fòssils.



- Reducció de les emissions de diòxid de carboni a l'aire.

No obstant és necessari fer una comparació del que científics i tecnòlegs que treballen amb el tema anomenen “escenaris principals”. És a dir, les diverses etapes que la tecnologia ha de seguir per tal d'arribar als usuaris:

- Una primera etapa és l'anomenada “etapa bàsica”: una societat formada, en gran majoria, per vehicles gasolina i diesel, però que va incorporant a poc a poc els avenços de la tecnologia en el camp dels combustibles.
- Una segona etapa és l'anomenada “escenari de vehicles evolucionats”: una societat que l'any 2050 ja disposarà d'un 50% de vehicles amb combustible hidrogen.

