

EL COTXE D'HIDROGEN

REALITAT O FICCIÓ?



“¿Qué es lo que van a quemar en lugar de carbón? Agua, respondió Pencroft. El agua, descompuesta en sus elementos por la electricidad. Sí, amigos míos, creo que algún día se empleará el agua como combustible, que el hidrógeno y oxígeno de los que está formada, usados por separado o de forma conjunta, proporcionarán una fuente inagotable de luz y calor.

El agua será el carbón del futuro.”

Jules Verne,

“L’illa misteriosa” (1874)

DEDICATÒRIA

Per a tots aquells amb la voluntat de fer la Terra
tot un paradís.

I per aquells que ho aconsegueixen,
la meva família.

ÍNDIX DE CONTINGUTS

ABSTRACTE	5
ABSTRACT	6
0. INTRODUCCIÓ	7
1. ELS COMBUSTIBLES FÒSSILS	8
1.1. LA CONTAMINACIÓ.....	9
1.2. ENERGIA NO RENOVABLE	9
1.3. CAL BUSCAR UNA SOLUCIÓ	10
2. L'HIDROGEN	11
2.1. EL REFORMAT	12
2.2. L'OXIDACIÓ PARCIAL.....	12
2.3. EL PROCÉS DE KVAERNER BLACK.....	13
3. L'ELECTRÒLISI	14
4. EL MOTOR D'HIDROGEN	16
4.1. EL MOTOR BASAT EN LA PILA DE COMBUSTIBLE.....	16
4.1.1. LA PILA DE COMBUSTIBLE	16
4.1.2. EL MOTOR ELÈCTRIC	22
4.2. EL MOTOR DE COMBUSTIÓ	24
4.2.1. EL MOTOR DE QUATRE TEMPS	24
4.2.2. EL MOTOR WANKEL	25
5. HISTORIA DEL COTXE D'HIDROGEN	29
6. SITUACIÓ ACTUAL DEL COTXE D'HIDROGEN	32
7. PER QUÈ NO ES DESENVOLUPA EL COTXE D'HIDROGEN?	37
8. PART PRÀCTICA	39
8.1. MUNTATGE DE LA MAQUETA	39
8.2. FUNCIONAMENT I MANTENIMENT	39
8.3. CÀLCUL DE LA VELOCITAT	41
8.4. OBSERVACIONS ELECTRÒLISIS	42
8.4.1. PROCEDIMENT AMB PILES ALCALINES	42
8.4.2. PROCEDIMENT AMB PLACA FOTOVOLTAICA	44
9. CONCLUSIONS	46
BIBLIOGRAFIA	47

ABSTRACTE

Degut al desgast de la Terra per l'ús de combustibles fòssils, s'investiguen combustibles alternatius que redueixin les emissions contaminants. L'apogeu d'aquesta recerca de combustibles alternatius és l'hidrogen i mitjançant la investigació del seu ús portat a un model de cotxe es pot comprovar la seva viabilitat. A través d'aquesta investigació resulta que el cotxe d'hidrogen és factible però actualment presenta alguns inconvenients. Per tant, s'arriba a la conclusió de que desenvolupant aquesta tecnologia i eliminant les dificultats es podria arribar a estendre el model del cotxe d'hidrogen arreu del planeta, fent menys feixucs així els problemes dels combustibles fòssils.

ABSTRACT

Due to the wear and tear of the Earth by the use of fossil fuels, are investigated alternative fuels that reduce polluting emissions. The zenith of this research is the hydrogen and with the study of its use in a car can verify its viability. Through this research it turns out that the hydrogen car is viable but currently has some drawbacks. Therefore, you will reach the conclusion that developing this technology and eliminating the difficulties could come to extend the model of hydrogen car around the world, making less heavy the problems of fossil fuels.

0. INTRODUCCIÓ

Aquesta recerca consta d'un anàlisi teòric-descriptiu, tant del funcionament com de la viabilitat del cotxe d'hidrogen, tot explicant l'hidrogen com a font d'energia, el procés d'electròlisi, els components del cotxe, la seva història i situació actual i el per què no es desenvolupa; i d'una investigació pràctica d'una maqueta de cotxe d'hidrogen, tot comprovant el seu funcionament.

Hidrogen, electròlisi, pila de combustible, motor i combustibles fòssils són els conceptes claus per a realitzar l'anomenada recerca, els quals es van definir en la part teòrica.

Es va començar la investigació sense gaires coneixements del tema, anant així descobrint un món totalment indefinit, sense saber del tot les respectives conclusions.

1. ELS COMBUSTIBLES FÒSSILS

Avui dia, escalfem les nostres cases i oficines amb combustibles fòssils, mantenim en funcionament les nostres fabriques i els nostres sistemes de transport amb combustibles fòssils, il·luminem les nostres ciutats i ens comuniquem a distància amb electricitat generada a partir de combustibles fòssils, cultivem els nostres aliments amb l'ajuda de combustibles fòssils, construïm els nostres edificis amb materials fets de combustibles fòssils, tractem les nostres malalties amb medicaments derivats de combustibles fòssils, emmagatzemem els nostres excedents en contenidors de plàstic i embalatges fets de combustibles fòssils i manufacturem la nostra roba i aparells domèstics amb l'ajuda de productes petroquímics¹.

Tots els avenços comercials, socials i polítics estan connectats, d'alguna manera, amb l'energia generada per la crema de combustibles fòssils. L'era moderna ha sigut possible gràcies a l'explotació del carbó, el petroli i el gas natural². Som dependents de l'energia procedent dels combustibles fòssils i alhora que la utilització d'aquests ha sigut un gran avenç per la humanitat, també ha tingut, té i seguirà tenint unes conseqüències.



¹ RIFKIN Jeremy, *La economía del hidrogeno*, Ed. Paidós, Barcelona, 2002, p. 85

² RIFKIN, op. cit., p. 14

Energia) va reconèixer que al 2006 es va arribar a aquest zenit de producció del petroli, així que la seva producció anirà disminuint al contrari que el seu preu⁵.

1.3. CAL BUSCAR UNA SOLUCIÓ

Evidentment per solucionar els dos anteriors punts s'ha de buscar una altre font d'energia renovable i no contaminant, o almenys tant contaminant.

S'anomena descarbonització a la progressiva substitució dels àtoms de carboni per altres d'hidrogen amb cada nova font d'energia. L'hidrogen és el punt culminant de la descarbonització ja que no conté ningun àtom de carboni, per tant l'hidrogen pot ser la gran salvació per a la continuïtat de la humanitat a la Terra⁶.

⁵ Emilio Santiago Muiño, *Otro mundo es inevitable III: el pico del petróleo*, <http://vocesdepradillo.org/content/otro-mundo-es-inevitable-iii-el-pico-del-petroleo>, (Consulta: 13/8/2014)

⁶ RIFKIN, op. cit., p. 216 - 217

2. L'HIDROGEN

L'hidrogen és l'element més abundant de l'univers, s'estima que constitueix més del 90% dels àtoms i el 75% de la massa total⁷. A temperatura ambient es troba com a un gas diatòmic i inflamable.

Més que una font d'energia, l'hidrogen és un transportador d'energia.

És l'element químic més lleuger i petit i conté una densitat d'energia gravimètrica - basada en la massa - de més del doble que la del gas natural i gairebé el triple que la del petroli. Per això, té aplicacions aeroespacials. En contra, té una baixa densitat volumètrica⁹.

Combustible	Densitat d'energia	
	[kw·h/kg]	[kw·h/l]
Hidrogen (gas – 300 bar)	33	0,7
Hidrogen (líquid - -250°C)	33	2,4
Hidrogen (hidrur metàl·lic)	0,6	3,2
Hidrurs químics	1,5	-
Metanol (líquid)	5,6	4,4
Gas natural (300 bar)	14	3,4
Gas natural (líquid - 160°C)	14	5,8
Petroli (líquid)	13	8,7
Cru	12	-

Taula 1: Densitats dels combustibles⁸

⁷ RIFKIN, op. cit., p. 216

⁸ Fuel Cell Norway Ans, *Hydrogen as the Main Fuel of the future*, 2004, <http://www.fuelcell.no/index.htm>, (Consulta: 25/5/2014)

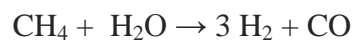
⁹ FCNA, op. cit.

Pot ser extret mitjançant el reformat d'hidrocarburs lleugers, l'oxidació parcial d'hidrocarburs pesats, el procés Kvaerner Black, la fermentació de biomassa o la producció biològica.

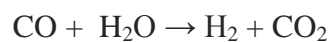
2.1. EL REFORMAT

El reformat és un mètode d'obtenció d'hidrogen a partir d'hidrocarburs, subministrant calor. Pot ser reformat amb vapor o auto tèrmic, el més sovint i eficient és el reformat amb vapor a partir de metà, en el qual es busca separar l'hidrogen del carboni (*SMR: Steam Methane Reforming*):

1. S'escalfa metà amb vapor d'aigua en un reactor catalític, i així es genera una barreja de gasos que conté hidrogen i òxid de carboni.



2. La barreja es processa per obtenir més hidrogen i es separa l'hidrogen d'aquesta.



Il·lustració 1: Planta de reformat de gas natural amb vapor d'aigua¹⁰

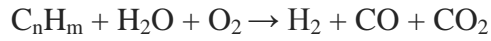
El reformat és avui dia el procés més comú per a l'obtenció d'hidrogen¹¹.

2.2. L'OXIDACIÓ PARCIAL

L'oxidació parcial s'utilitza per formar hidrogen afegint oxigen i vapor d'aigua a un hidrocarbur, finalment s'obté junt amb l'hidrogen monòxid i diòxid de carboni:

¹⁰ FCNA, op. cit.

¹¹ RIFKIN, op.cit., pg. 225

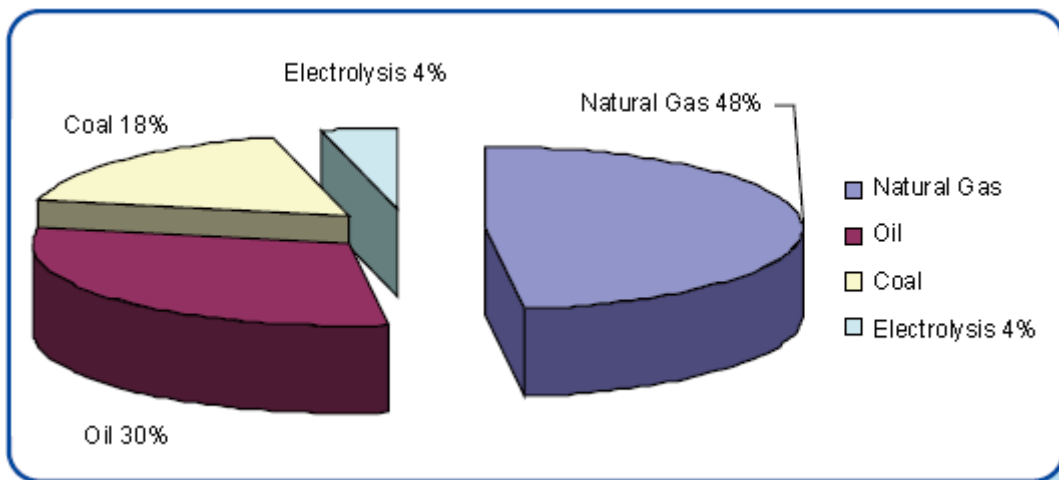


2.3. EL PROCÉS DE KVAERNER BLACK

El procés Kvaerner Black és un mètode de producció de negre de carbó i gas hidrogen a partir d'hidrocarburs com el metà.



Existeix però, un mètode de producció d'hidrogen sense utilitzar combustibles fòssils en el procés: l'electròlisi¹². Tot i així, aquest mètode només representa el 4% de la producció total d'hidrogen¹³.



Il·lustració 2: Producció global d'hidrogen per procés¹⁴ (Coal: carbó; oil: petroli; natural gas: gas natural; electrolysis: electròlisi)

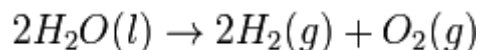
¹² RIFKIN, op.cit., pg. 226

¹³ SPIEGEL Colleen (Horizon), *Renewable Energy Science Education Manual*, Horizon Fuel Cells, EUA, 2010, pg. 63

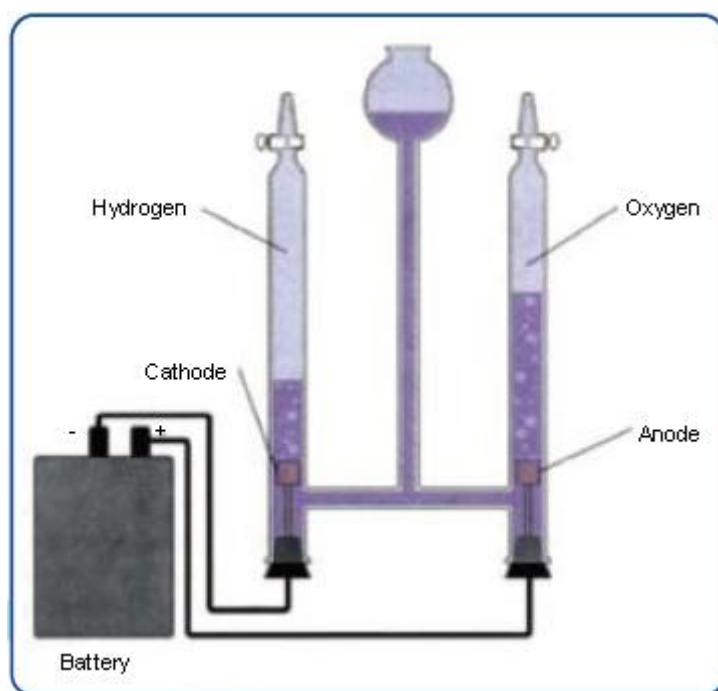
¹⁴ SPIEGEL, op. cit., pg. 63

3. L'ELECTRÒLISI

L'electròlisi és un mètode de separació dels elements que formen un compost aplicant-los electricitat. En el cas de la producció d'hidrogen, apliquem una electròlisi a l'aigua:



Quan apliquem aquesta electròlisi a l'aigua, aquesta es descompon en hidrogen i oxigen. L'hidrogen és atret cap al càtode (elèctrode carregat negativament) degut a la seva càrrega positiva i l'oxigen es atret cap a l'ànode (elèctrode carregat positivament) degut a la seva càrrega negativa¹⁵.



Il·lustració 3: Esquema procés electròlisi¹⁶

L'electricitat pot ser procedent de panells solars o turbines eòliques. L'hidrogen resultant es comprimeix per ser emmagatzemat i utilitzat en piles de combustible.

Aproximadament es necessiten 39 kWh d'electricitat i 8,9 L d'aigua per produir 1 kg d'hidrogen a 25 °C i 1 atm¹⁷.

¹⁵ RIFKIN, op. cit., pg. 227

¹⁶ SPIEGEL, op. cit., pg. 56

¹⁷ SPIEGEL, op. cit., pg. 54

Hi han factors que condicionen el rendiment de l'electròlisi: el disseny en general, els materials utilitzats, la temperatura i la pressió d'operació.



Il·lustració 4: Procés electròlisi industrial¹⁸

Un dels desavantatges de l'electròlisi és el seu elevat cost respecte als altres processos d'obtenció d'hidrogen, com el reformat de gas natural, ja que l'hidrogen produït per una electròlisi és de l'ordre de 4,9-5,6 kWh per cada m³ d'hidrogen produït, el que resulta dos cops més car que el reformat¹⁹. Un altre repte és disposar d'una font d'energia per fer una electròlisi no contaminant. No obstant, a aquest desavantatge el rebat un gran avantatge com és el de ser un procés lliure de pol·lució quan actua amb una energia renovable. A més a més, l'electròlisi permet produir l'hidrogen directament on i quan s'hagi d'utilitzar, sense necessitat de transport ni emmagatzematge.

¹⁸ eMagazine Química, *La Química contribuye a la eficiencia i sostenibilidad*, 2005, <http://www.interempresas.net/Quimica/Articulos/10737-La-quimica-contribuye-a-la-eficiencia-y-la-sostenibilidad.html>, (Consulta: 25/5/2014)

¹⁹ José Luis G. Fierro – Instituto de Catálisis y Petroleoquímica (CSIC), *El hidrógeno: metodologías de producción*, http://www.fgcsic.es/lychnos/es_es/articulos/hidrogeno_metodologias_de_produccion, (Consulta: 25/5/2014)

4. EL MOTOR D'HIDROGEN

Arribat a aquest punt trobem dos principals models de motors que funcionen amb hidrogen: el motor basat en la pila de combustible (motor elèctric) i el motor de combustió.

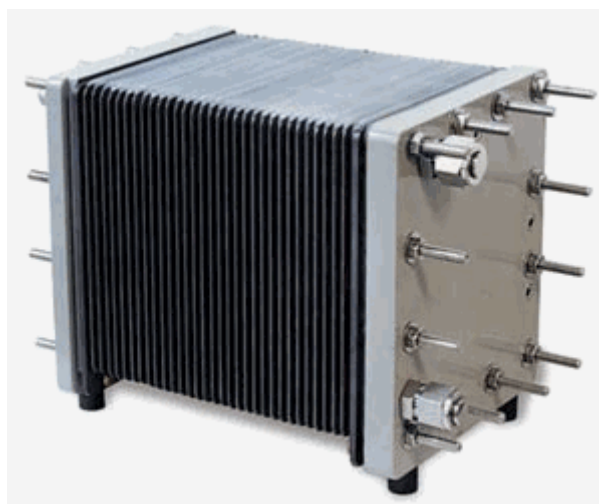
4.1. EL MOTOR BASAT EN LA PILA DE COMBUSTIBLE

4.1.1. LA PILA DE COMBUSTIBLE

La pila de combustible és un generador electroquímic d'energia, és a dir, el treball elèctric es produeix a partir d'una reacció química²⁰.

La pila de combustible es podria assimilar a una bateria, però amb una diferència: les bateries emmagatzemen energia química i la converteixen en electricitat, quan aquesta energia química s'acaba, la bateria es inservible. En canvi, les piles de combustible no emmagatzemen aquesta energia química sinó que creen electricitat a partir de l'energia química d'un combustible que reben de l'exterior²¹.

Està formada per un ànode de càrrega negativa, un càtode de càrrega positiva i un electròlit entre aquests dos, aquest electròlit permet el pas dels protons del ànode fins al càtode on es torna a ajuntar amb els electrons, els quals han passat pel circuit elèctric²².



Il·lustració 5: Pila de combustible²³

²⁰ Centro nacional del hidrogeno, *Pilas de Combustible*, <http://www.cnh2.es/info-h2/pilas-de-combustible/>, (Consulta: 28/8/2014)

²¹ RIFKIN, op. cit., p.234

²² RIFKIN, op. cit., p. 234, 235

TIPUS DE PILES DE COMBUSTIBLE

Els tipus de piles de combustible es classifiquen segons el tipus d'electròlit i la temperatura d'operació:

	PEMFC	AFC	PAFC	SOFC	MCFC	DMFC
Electròlit	Membrana de polímer sòlid	Solució alcalina	Àcid fosfòric	Òxid sòlid	Carbonats fosos	Membrana de polímer sòlid
Temperatura de Treball (°C)	60-80	100-120	200-250	800-1000	600-700	50-120
Combustible	H ₂	H ₂	H ₂	H ₂ CO	H ₂ CO Reformat	Metanol
Aplicacions	Transport Portàtils Residencial	Espacials	Generació elèctrica estacionaria	Generació elèctrica	Generació elèctrica estacionaria	Portàtils

Taula 2: Tipus de piles de combustible²⁴

Com observem a la taula la pila DMFC -Pila de Combustible de Metanol directe- no utilitza hidrogen, per tant no entraria en l'objectiu de la recerca.

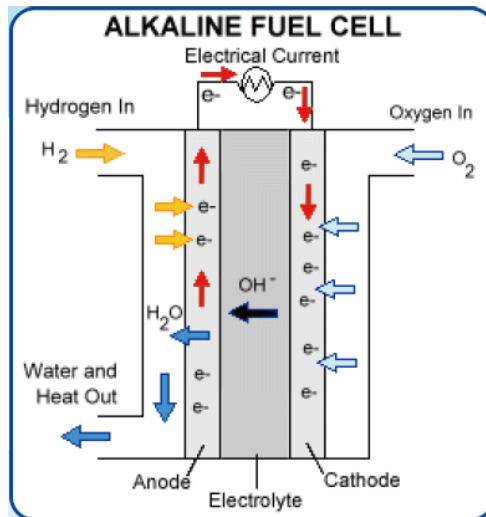
AFC - Pila de Combustible Alcalina

La pila de combustible alcalina té un electròlit format per una solució d'hidròxid de potassi en aigua (KOH), el que fa que l'hidrogen i l'oxigen que s'utilitza han de ser purs ja que el CO₂ degrada el KOH de l'electròlit i pot portar a problemes significants. Per això, malgrat la seva eficiència, només s'utilitza en el sector espacial²⁵.

²³ Eduardo H. D'Elía, *Pilas de Combustibles*, 2003, <http://www.revistaciencias.com/publicaciones/EpZkZFyIVAZxbApUoR.php>, (Consulta: 28/8/2018)

²⁴ Centro nacional del hidrogeno, op.cit.; SPIEGEL Colleen, *Designing and Building Fuel Cells*, Ed. Mc Graw Hill, EUA, 2007, p. 37-38

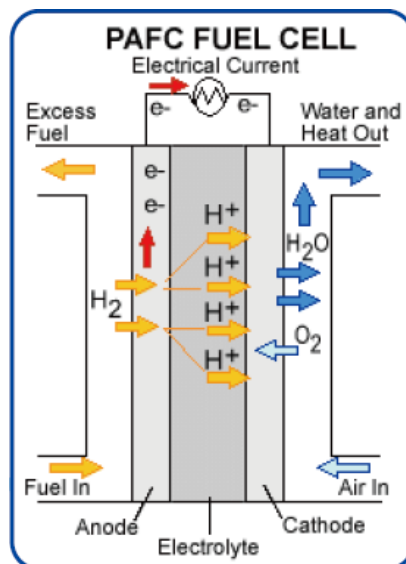
²⁵ SPIEGEL Colleen, *Designing and Building Fuel Cells*, Ed. Mc Graw Hill, EUA, 2007, p.40



Il·lustració 6: Diagrama d'una cel·la de combustible alcalina²⁶

PAFC - Pila de Combustible d'Àcid Fosfòric

La pila de combustible d'àcid fosfòric és una de les piles de combustible més comercialitzada i tecnològicament madura actualment i té una gran eficiència, tot i així es molt pesada i voluminosa, té una baixa densitat de potència i una arrancada lenta, el que dificulta el seu us en el sector automobilístic²⁷.



Il·lustració 7: Diagrama d'una cel·la PA²⁸

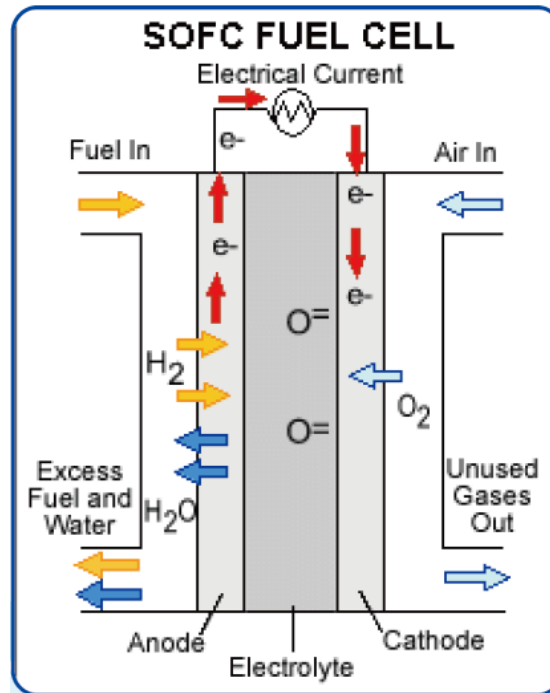
²⁶ SPIEGEL (Horizon), op. cit., pg. 76

²⁷ SPIEGEL, op. cit., p.41

²⁸ SPIEGEL (Horizon), op. cit., pg. 76

SOFC - Pila de Combustible d'Òxid Sòlid

La pila de combustible d'òxid sòlid és actualment la més eficient (~65%) i admet una gran varietat de combustibles, actua a unes altes temperatures el que permet que incorpori un reformador de combustible que agafa la calor de la pila de combustible, però alhora, aquesta temperatura, l'exposa a una gran corrosió²⁹.



Il·lustració 8: Diagrama d'una cel·la SO³⁰

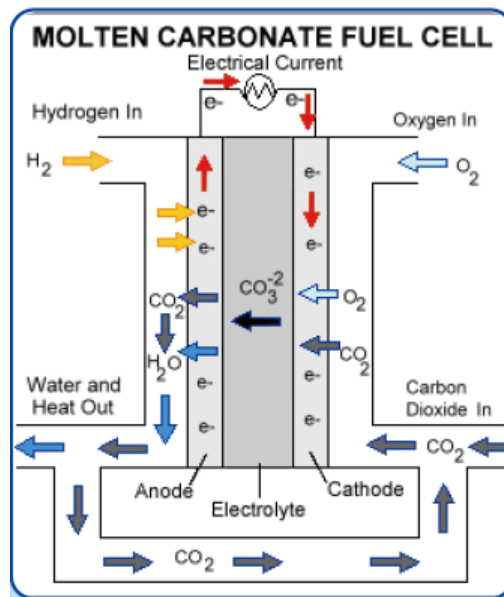
MCFC - Pila de Combustible de Carbonat Fos

La pila de combustible de carbonat fos al treballar a unes altes temperatures admet una gran varietat de combustibles i té una gran eficiència (~50%), però això fa que augmenti la corrosió i la probabilitat d'averia de la pila³¹.

²⁹ SPIEGEL, op. cit., p. 42-43

³⁰ SPIEGEL (Horizon), op. cit., pg. 77

³¹ SPIEGEL, op. cit., p. 43



Il·lustració 9: Diagrama d'una cel·la MC³²

PEMFC - Pila de Combustible de Membrana d'Electròlit Polímer

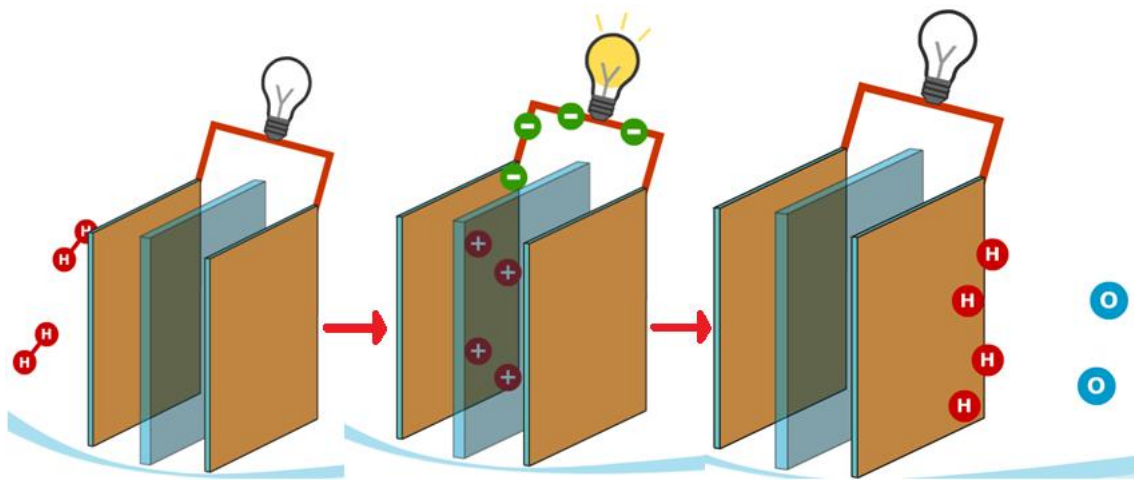
La pila de combustible està formada per un electròlit que en aquest cas funciona com una membrana polimèrica basada en àcids sulfònics perfluorats, el que permet el pas de l'àtom d'hidrogen. Aquesta membrana requereix que estigui sempre hidratada per afavorir el pas del protons, el que limita la temperatura de funcionament per sota dels 100 °C i el que alhora limita la seva eficiència³³.

Quan l'hidrogen s'introdueix en el ànode de la pila es produeix una reacció química que trenca l'àtom d'hidrogen, que es requereix d'una alta puresa³⁴, en un protó i un electró, el protó va cap al càtode a través de l'electròlit i l'electró viatja pel circuit elèctric com a corrent elèctric i acaba al càtode on s'ajunta un altre cop amb el protó d'hidrogen i amb oxigen per formar aigua (veure il·lustració 10).

³² SPIEGEL (Horizon), op. cit., pg. 78

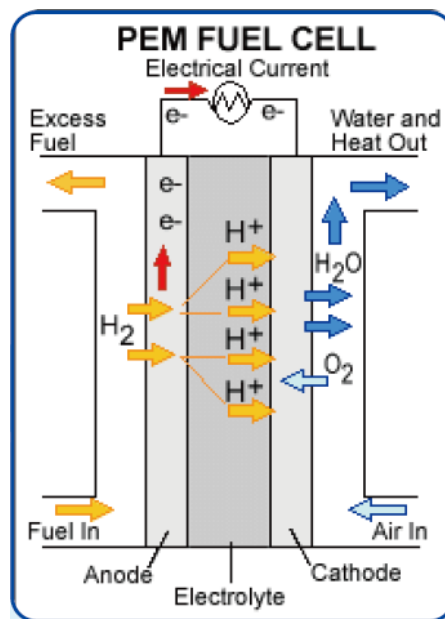
³³ APPICE, *Pilas de combustible poliméricas*, http://www.appice.es/app.php?x=3&x2=2_4, (Consulta: 3/9/2014)

³⁴ APPICE, op. cit.



Il·lustració 10: Procés d'una cel·la PEM³⁵

Al ser aigua l'únic líquid implicat, sofreix poca corrosió³⁶. Treballa a altes densitats de corrent, té una arrancada ràpida i potència variable, el que es adient per aplicacions que necessiten una resposta de funcionament ràpida, proporciona baixos nivells de pes, cost y volum³⁷.



Il·lustració 11: Diagrama d'una cel·la PEM³⁸

³⁵ Horizon Flash Animation, CD, pg.2

³⁶ APPICE, op.cit.

³⁷ SPIEGEL, op. cit., pg. 36-39

³⁸ SPIEGEL (Horizon), op. cit., pg. 75

Com s'observa, la pila de combustible de membrana d'electròlit polímer és la millor opció en aplicacions automobilístiques i per tant la més important per aquesta recerca.

Aquestes piles generen una energia elèctrica, evidentment per moure un automòbil s'ha de convertir en energia mecànica, per això és necessita un motor elèctric.

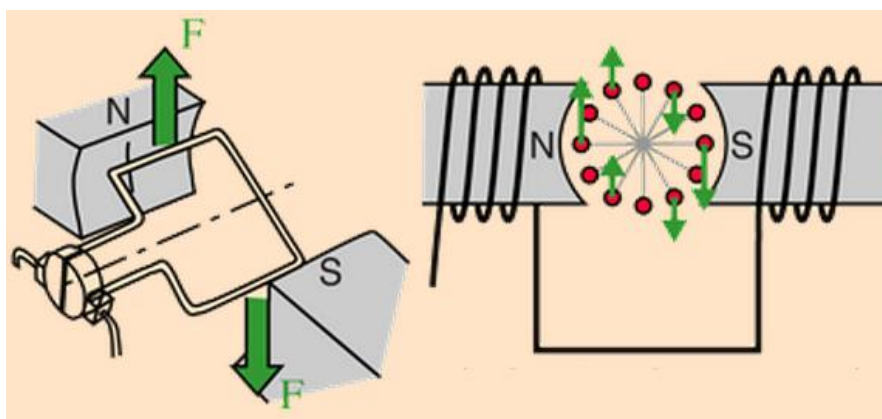
4.1.2. EL MOTOR ELÈCTRIC

Un motor elèctric transforma l'energia elèctrica en energia mecànica mitjançant interaccions electromagnètiques³⁹. Així doncs, un corrent elèctric en un camp magnètic genera una força, acció definida per la llei de Lorentz:

$$F = q(E + v \times B)^{40}$$

On q és la carrega elèctrica, E el camp elèctric, v la velocitat de la partícula i B la densitat del camp magnètic.

Si el circuit que transporta el corrent es doblega creant una bobina de cable, els dos costats del circuit experimenten forces en direccions contràries (veure il·lustració 12), aquest parell de forces genera un par de torsió que fa rotar la bobina⁴¹.



Il·lustració 12: Esquemes del funcionament d'un motor elèctric⁴²

Per fer possible aquest procediment calen els següents elements:

³⁹ Endesa, *El coche eléctrico*, 2012, http://www.endesaeduca.com/Endesa_educa/recursos-interactivos/el-uso-de-la-electricidad/coche-electrico, (Consulta: 3/9/2014)

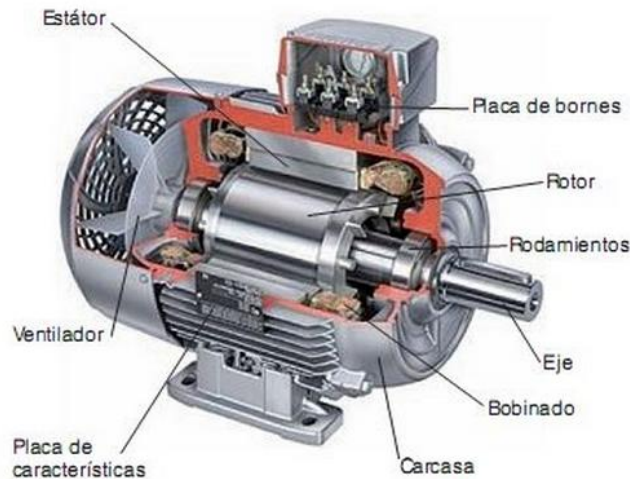
⁴⁰ Llei de la força de Hendrik Antoon Lorentz

⁴¹ Nave R., *How Does an Electric Motor Works?*, 2001, <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/magnetic/mothow.html#c1>, (Consulta: 23/9/2014)

⁴² NAVE, op. cit.

Rotor: és la part mòbil del motor i per tant la fonamental per convertir l'energia elèctrica en mecànica. Està format per un eix, suportat per coixinets i envoltat per bobines.

Estator: és la part fixa del motor, es troba al voltant del rotor fent de base d'aquest perquè es doni la rotació, ja que crea un camp magnètic mitjançant les bobines que conté⁴³.



Il·lustració 13: Motor elèctric⁴⁴

Hi ha dos tipus de motors elèctrics, el de corrent continu (CC) i el de corrent altern (CA).

4.1.2.1. EL MOTOR ELÈCTRIC CC

El rotor rep de la font un corrent continu i un commutador inverteix periòdicament el corrent fent possible que el motor continuï girant⁴⁵.

4.1.2.2. EL MOTOR ELÈCTRIC CA

El rotor rep de la font un corrent induït altern⁴⁶.

⁴³ Mc Graw Hill – J. Joseph, J. Garravé, F. Garófano F. Vila, *Tecnologia Industrial*, 2008, pg. 138

⁴⁴ Pablo Rega, *Motores Eléctricos*, 2011, <https://sites.google.com/site/279motoreselectricos/partes-fundamentales-de-un-motor-electrico>, (Consulta: 23/9/2014)

⁴⁵ M Olmo & R Nave, *Operación del Motor de DC*, 2001, <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/magnetic/motdc.html#c1>, (Consulta: 23/9/2014)

El motor més utilitzat en l'automoció és el de corrent altern, tot i ser més car que el de corrent continu i tenir uns circuits més complexos, els sistemes són més senzills i segurs d'instal·lar.

4.2. EL MOTOR DE COMBUSTIÓ

Un altra alternativa per l'ús d'hidrogen com a combustible és en un motor de combustió, similar als actuals que funcionen amb combustibles fòssils. Com indica el seu nom, aquest motor aconsegueix l'energia mecànica mitjançant la ignició de l'hidrogen dins la cambra de combustió.

Hi ha dos tipus de motors de combustió, més utilitzats, el de quatre temps i el motor Wankel.

4.2.1. EL MOTOR DE QUATRE TEMPS

El disseny del motor de quatre temps és bàsicament el mateix que el d'un motor de gasolina. Segueix el cicle Otto: temps d'admissió, de compressió, d'explosió i d'escapament; governat per vàlvules i realitzat per pistons.

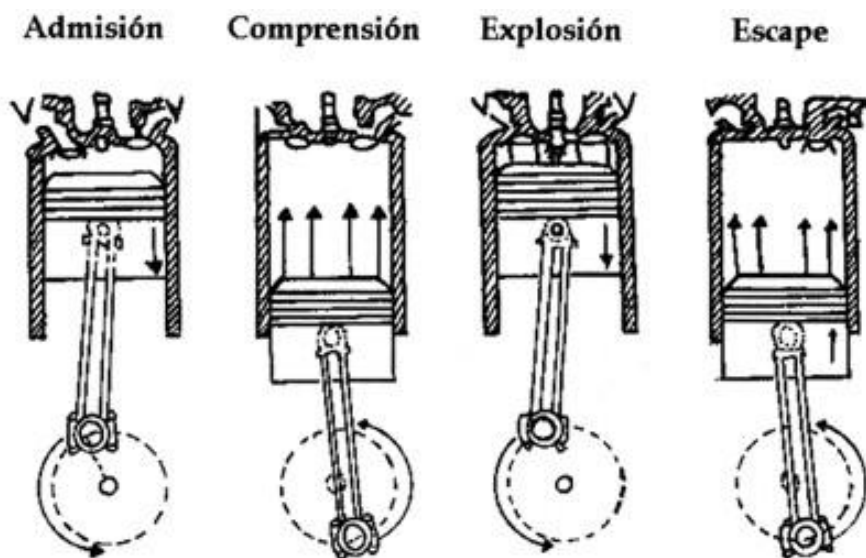


Il·lustració 14: Motor de quatre temps⁴⁷

⁴⁶ M Olmo & R Nave, *Motor de AC*, 2001, <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/magnetic/motorac.html#c1>, (Consulta: 23/9/2014)

⁴⁷ Anònim, *La historia del automóvil*, 2012, <http://ingenieriaautomovilistica.blogspot.com.es/2010/11/el-motor-de-4-tiempos.html>, (Consulta: 11/10/2014)

La vàlvula d'admissió s'obre i deixa passar l'aire provinent de l'exterior prèviament filtrat, i a continuació es tanca. Un cop tancada la vàlvula d'admissió el pistó comença la compressió de l'aire i hi injecta el combustible. Efectuada la injecció, es provoca l'explosió mitjançant una guspira de la bugia. Finalment, s'obren les vàlvules d'escapament i surten els gasos de la combustió⁴⁸.



Il·lustració 15: Esquema cicle Otto⁴⁹

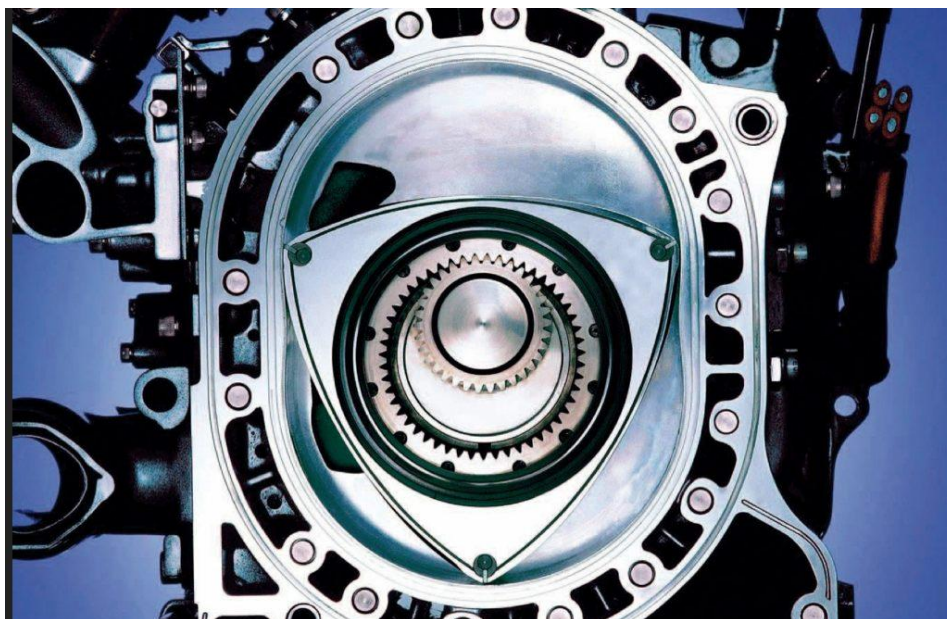
L'alt nombre d'octans de l'hidrogen permet elevar la relació de compressió el que millorarà alhora el rendiment energètic i l'alta velocitat de flama en flux laminar contribueix a reduir les emissions de NOx -monòxids de nitrogen produïts de la reacció de nitrogen i oxigen durant la combustió-. Així doncs, amb aquest tipus de motors es pot arribar a aconseguir un major rendiment energètic que l'equivalent en gasolina i totalment ecològic.

4.2.2. EL MOTOR WANKEL

El motor Wankel és un motor rotatiu que consisteix en un èmbol rotatiu en forma de triangle equilàter amb els costats corbats enfora, situat a l'interior d'una cambra fixa ovalada amb una entrada d'admissió, una sortida d'escapament i una bugia. Cadascun dels vèrtexs té dues barres prismàtiques que assegurin l'estanquitat d'un costat del rotor a l'altre.

⁴⁸ J. JOSEP – MC Graw Hill, op. cit., pg. 42, 43

⁴⁹ Profesor en línea, *Energía química i combustión*, <http://www.profesorenlinea.cl/fisica/Energiaquimicaycombustion.htm>, (Consulta: 10/9/2014)



Il·lustració 16: Motor Wankel⁵⁰

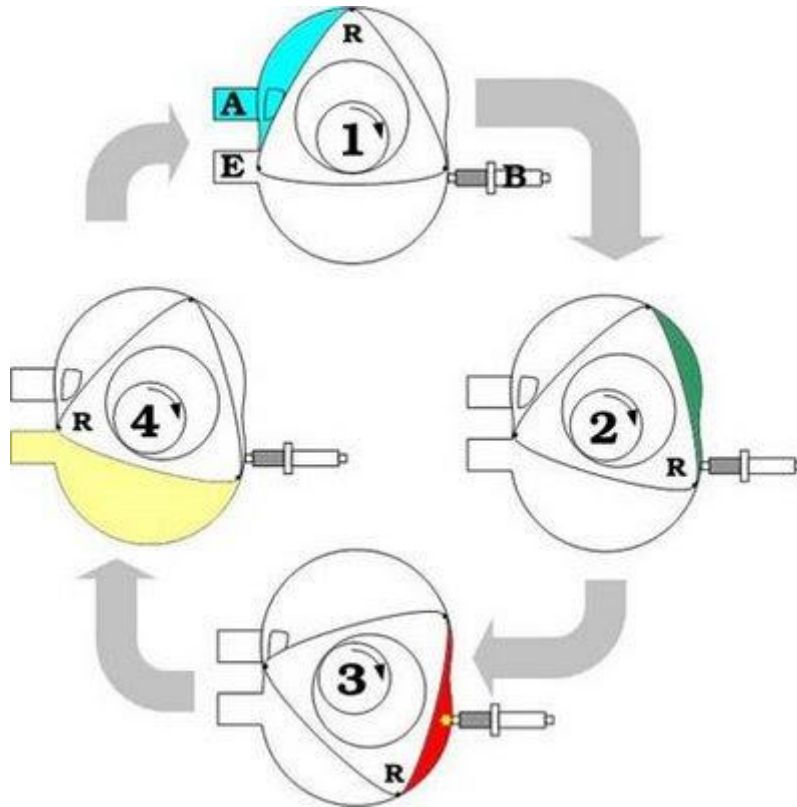
És un motor més petit, lleuger i simple que el de quatre temps i presenta una alta potència en comparació amb la seva grandària⁵¹.

Durant un gir del rotor, es duen a terme tres admissións, tres compressions, tres explosions i tres escapaments. Primerament es duu a terme l'admissió degut a l'augment de volum de la subcambra compresa entre aquest i la paret ovalada. A continuació es comprimeix el combustible i rota cap a la següent subcambra on es troba la bugia que provocarà la guspira i, per tant, l'explosió del combustible, el que farà girar amb força el rotor⁵².

⁵⁰ Luis Ramos, *Hasta luego, motor rotativo Wankel*, 2012, <http://noticias.coches.com/noticias-motor/hasta-luego-motor-rotativo-wankel/53462>, (Consulta: 10/9/2014)

⁵¹ Motor H2, *¿Qué es el motor de hidrogeno?*, 2013, <http://www.motordehidrogeno.net/que-es-el-motor-de-hidrogeno>, (Consulta: 10/9/2014)

⁵² J. JOSEP – MC Graw Hill, op. cit., pg. 49



Il·lustració 17: Esquema funcionament motor Wankel⁵³

Aquest tipus de motor presenta bons resultats al ser empleat amb hidrogen, gràcies a que minimitza les dificultats de combustió que es donen en altres tipus de motors. Primerament, no presenta problemes d'autoencesca ja que la cambra on es dona aquesta té una geometria adequada per la combustió d'hidrogen. A més a més, el motor Wankel, possibilita l'aprofitament de l'alta temperatura d'ignició de l'hidrogen incloent-hi aigua polvoritzada en la mescla d'entrada, la qual al cremar-se l'hidrogen s'evapora i fa augmentar la pressió⁵⁴.

No obstant, el motor Wankel presenta problemes pel que fa al desgast dels seus components, degut al seu funcionament, i com a conseqüència problemes d'estanquitat de les subcambres⁵⁵. A més a més, degut al lubricant necessari per el seu bon

⁵³ Jeronimo Garzon, *El automóvil al desnudo*, 2012, http://jeroitim.blogspot.com.es/2012/10/motores-de-combustion-interna-en_23.html, (Consulta: 10/9/2014)

⁵⁴ MOTOR H2, op. cit.

⁵⁵ J. JOSEP – MC Graw Hill, op. cit., pg. 49

funcionament i desgast que entra amb contacte amb el combustible, emet petites quantitats de CO₂ entre d'altres productes nocius⁵⁶.

En general un cotxe d'hidrogen, ja sigui amb piles de combustible com un motor de combustió, necessita un tanc d'hidrogen, el qual emmagatzema l'hidrogen a 700 bars i -253°C (condicions necessàries per mantenir l'hidrogen en estat líquid).

En el cas d'utilitzar piles de combustible el cotxe necessita els següents components principals:

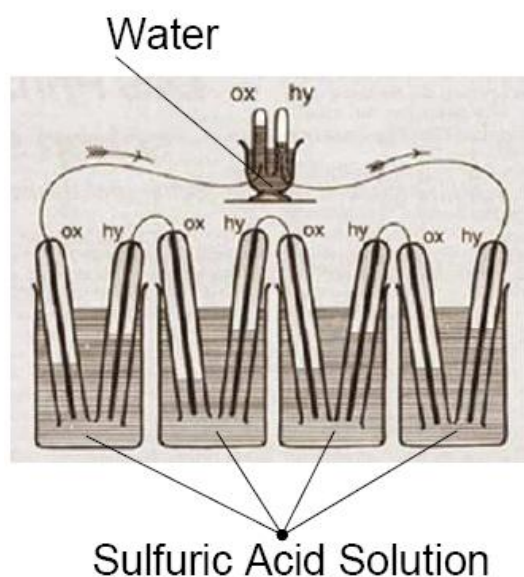
- Bateria: emmagatzema l'electricitat que genera la pila de combustible i la que es genera amb la frenada del vehicle.
- Unitat de control d'energia: sistema electrònic que gestiona la producció i el consum d'energia segons les necessitats.

⁵⁶ MOTOR H2, op. cit.

5. HISTORIA DEL COTXE D'HIDROGEN

Un dels pares del cotxe amb piles de combustible d'hidrogen va ser William Grove.

William Grove va ser un jutge i científic gal·lès a qui se li atribueix la invenció de la pila de combustible senzilla al 1842, la qual produïa electricitat a partir d'hidrogen i oxigen amb aigua com a subproducte. No va ser fins cent anys més tard que Francis Bacon, químic britànic, va mostrar interès en l'idea de Grove i va millorar considerablement aquesta tecnologia, rebent així la patent. En la següent dècada, la companyia aeroespacial estatunidenca Pratt & Whitney va explotar la patent de Bacon, millorant la tecnologia de les piles de combustible per a la NASA, la qual va utilitzar-les en missions com Apollo i Gemini.



Il·lustració 18: Esquema de la pila de combustible de Grove⁵⁷

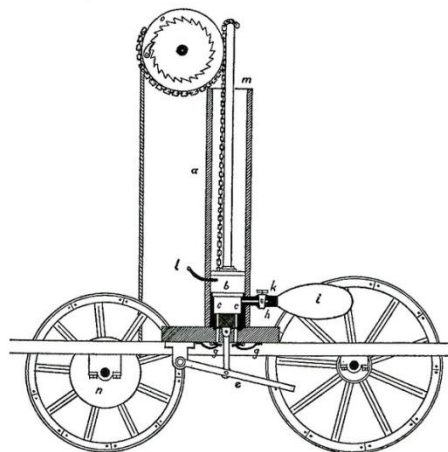
L'esdeveniment més recent és a la dècada dels 90 quan l'equip d'investigació canadenc Ballard Power Systems descobreix una manera d'incrementar la densitat de potència d'hidrogen. Així doncs, avui dia, gràcies als descobriments fets des de Grove, es pot igualar el rendiment de les piles de combustible al d'un automòbil a gasolina utilitzant la tecnologia de pila de combustible amb membrana d'intercanvi protònic de Ballard⁵⁸.

⁵⁷ Anònim – Wikipedia, *William Robert Grove*, http://en.wikipedia.org/wiki/William_Robert_Grove, (Consulta: 10/9/2014)

⁵⁸ OMPI – revista de la OMPI, *Tecnologías ecológicas: Automóviles eléctricos y pilas de hidrogeno*, 2007, http://www.wipo.int/wipo_magazine/es/2007/01/article_0001.html, (Consulta: 10/9/2014)

Pel que fa al vessant del motor elèctric, el seu descobriment és incert i hi ha participat diversos científics⁵⁹. El primer de tots es pot datar al 1828, a Hongria, Ányos Jedlik va inventar un model a petita escala d'un cotxe alimentat per un motor elèctric, que ell va dissenyar. Cal destacar noms com Michael Faraday i Josep Henry, investigadors de l'electromagnetisme; Robert Anderson, inventor del primer vehicle elèctric pur i Sibrandus Stratingh, va dissenyar i construir vehicles elèctrics a escala reduïda, entre d'altres⁶⁰. Tot i l'intent de millorar el vehicle elèctric això no va ser possible degut a la millora més ràpida del vehicle de combustió interna, sent Henry Ford un dels grans impulsors⁶¹. Al final de la dècada dels anys 20, el cotxe elèctric pràcticament va desaparèixer, fins aproximadament l'any 1996 que va tornar a aparèixer de les mans de marques automobilístiques més importants⁶².

El primer en dissenyar un motor de combustió interna es diu que va ser el físic holandès Christian Huygens, però mai va crear-lo. El que sí va inventar un model d'aquest tipus de motor va ser François Isaac de Rivaz (1807), que tot i ser avui dia més popular el motor de combustió interna amb gasolina, el model de Rivaz funcionava amb una mescla d'hidrogen i oxigen. També va dissenyar un cotxe per el seu motor, però el seu disseny no va tindre èxit.



Il·lustració 19: Disseny del cotxe de Rivaz⁶³

⁵⁹ Mary Bellis, *History of Electric Vehicles*, <http://inventors.about.com/od/estartinventions/a/History-Of-Electric-Vehicles.htm>, (Consulta: 10/9/2014)

⁶⁰ Endesa, *El coche eléctrico*, http://www.endesaeduca.com/Endesa_educa/recursos-interactivos/el-uso-de-la-electricidad/coche-electrico

⁶¹ OMPI, op. cit.

⁶² ENDESA, op. cit.

⁶³ Gilles Simond – 24 heures, *1813: l'étincelle de Rivaz*, 2012, <http://www.24heures.ch/vaud-regions/1813-l-etincelle-de-Rivaz/story/31598794>, (Consulta: 10/9/2014)

Des de Rivaz trobem models de motors tant de quatre com de dos temps sense èxit o no gaire funcionals, fins al 1876 que Nikolaus August Otto inventa i patenta un motor de quatre temps conegut com el “cicle Otto”, el mateix que coneixem avui dia.

El que va ser d’una importància vital pel desenvolupament del vehicle va ser Karl Benz que va dissenyar i construir el primer automòbil pràctic per ser impulsat per un motor de combustió interna⁶⁴.

En el cas del motor Wankel (1957), el creador va ser com el propi nom indica, el físic alemany Félix Wankel, però degut a alguns dels seus problemes de funcionament i la poca fiabilitat d’aquest motor encara poc desenvolupat va portar a que tingués poca importància, fins que Mazda es va veure interessat en aquest model de motor (1961) i va començar a millorar-lo. Finalment, Mazda va treure el seu primer cotxe amb motor Wankel (1963), havent resolt alguns dels problemes que presentava, fins el 2002 que va treure l’últim model des de aleshores amb un motor Wankel⁶⁵.

Així doncs es coneixen els antecessors del cotxe d’hidrogen però, i els que hi treballen actualment?

⁶⁴ Mary Bellis, *The History of the Automobile*,

<http://inventors.about.com/library/weekly/aacarsgasa.htm>, (Consulta: 10/9/2014)

⁶⁵ Fernando I. Lizundia – El Mundo, *La verdadera historia del motor Wankel*, 2003,

<http://www.elmundo.es/elmundomotor/2003/10/30/tecnica/1067513211.html>, (Consulta: 10/9/2014)

6. SITUACIÓ ACTUAL DEL COTXE D'HIDROGEN

Tot i el poc desenvolupament i extensió de vehicles moguts amb hidrogen hi han marques i empreses que s'atreveixen a donar un pas endavant, tot i ser moderat, dins del camp de l'hidrogen com a combustible.

THE CO2 COMPANY

THECO₂ és una empresa que es dedica a supplantar als vehicles una motorització i sistemes de combustió menys nocius per al medi ambient, un d'aquests mètodes és a partir de la abans anomenada electròlisi de l'aigua, fent algunes modificacions als motors es poden arribar a estalviar de un 10 fins a un 50% de combustible i reduir notòriament (mes d'un 50%) el producte dels gasos resultants⁶⁶.

MARCA	MODELO	MOTOR	AÑO	ANTES	DESPUÉS	GANANCIA
CHEVROLET	BLAZER	6 Cil. 3.7 l.	1982	480 Km.	608 Km.	+30%
RENAULT	21	GTD	1995	1000 Km.	1250 Km.	+32%
NISSAN	TERRANO	2.7 TD	1995	500 Km.	720 Km.	+26%
LAND ROVER	DISCOVERY	2.5 TD	1996	700 Km.	975 Km.	+42%
FORD	EXPLORER	6 Cil. 4.0 l.	1997	400 Km.	560 Km.	+40%
LINCOLN	TOWN-CAR	8 Cil. 4.6 l.	2001	400 Km.	500 Km.	+26%
RENAULT	TRAFIC	1.9 DCI 80 CV.	2002	1000 Km.	1200 Km.	+30%
PEUGEOT	BOXER	2.0 HDI 86 CV.	2003	550 Km.	720 Km.	+38%
MERCEDES B.	ML	400 CDI	2003	450 Km.	680 Km.	+36%
OPEL	VIVARO	1.9 CDTI	2006	600 Km.	800 Km.	+25%
MITSUBISHI	PAJERO	3.2 DID	2006	570 Km.	720 Km.	+32%
BMW	X5	3.0 D	2006	820 Km.	950 Km.	+25%
PEUGEOT	PARTNER	1.6 HDI 90 CV.	2008	750 Km.	982 Km.	+33%
FORD	C MAX	1.8 TDCI	2008	700 Km.	880 Km.	+27%
TOYOTA	AVENTIS	2.0 D4D DPF	2009	700 Km.	985 Km.	+30%
RENAULT	MEGANE	1.6 16 V	2009	540 Km.	720 Km.	+33%
LAND ROVER	RR SPORT	2.7 l.	2009	670 Km.	784 Km.	+20%

Taula 3: Millora eficiència del combustible⁶⁷

El treball d'aquesta empresa demostra que, al ser impossible un canvi totalment radical i instantani cap a l'economia de l'hidrogen es pot anar fent petits avenços, com en aquest cas, modificar el consum i l'eficiència del actuals models, arribant a tenir un guany de fins un 42% en l'autonomia.

⁶⁶ The CO₂ Systems, *Sistemas de Ahorro de Combustible y Reducción de Emisiones de CO₂*, http://www.the-co-systems.com/THECO_Systems/THECO_Systems_-_Caracteristicas.html, (Consulta: 26/2/2014)

⁶⁷ CO₂ Systems, op. cit.

BMW HYDROGEN 7

BMW també fa una aposta per anar pas segur cap a l'economia del l'hidrogen amb el seu model Hydrogen 7. L'Hydrogen 7 consta d'un motor *bimode* de combustió interna de 12 cilindres, que funciona tant amb hidrogen com amb gasolina convencional. Així doncs, aquest model permet funcionar sense estar pendent de poder proveir hidrogen en cas de falta de subministradors. Té una autonomia de 200 km funcionant amb hidrogen i uns 500 km funcionant amb gasolina, amb un motor de 260 CV i podent consolidar una velocitat màxima de 230 km/h, amb una acceleració de 0 a 100 km/h en 9,5 segons⁶⁸.



Il·lustració 20: BMW Hydrogen 7⁶⁹

Quan funciona amb hidrogen té gairebé com a única emissió vapor d'aigua, i triga a fer la recarrega de combustible en aproximadament 8 min, amb un dipòsit de 170 litres d'hidrogen i un altre convencional on caben 74 litres de gasolina. La recarrega d'hidrogen és similar a la de gasolina, s'efectua mitjançant una mànega que realitza un tancament hermètic i evita pèrdues de pressió i guanys de temperatura⁷⁰.

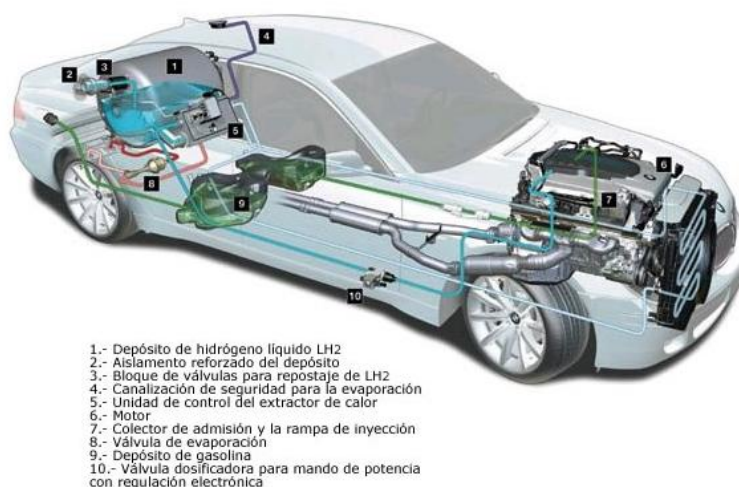
⁶⁸ Juan Manuel Pichardo – km 77, *BMW Hydrogen 7*, 2006,
<http://www.km77.com/marcas/bmw/2007/serie7/hydrogen7/t01.asp>, (Consulta: 12/10/2014)

⁶⁹ Aficionados a la mecànica, *Vehículos de hidrógeno*, 2014,
<http://www.aficionadosalamecanica.net/motores-hidrogeno.htm>, (Consulta: 12/10/2014)

⁷⁰ PICHARDO – km77, op. cit.

Els dotze cilindres del motor poden funcionar independentment amb hidrogen o gasolina, això es pot donar gràcies a una tecnologia que controla i assegura la mateixa potència sense importar quin tipus de combustible estigui disponible al dipòsit⁷¹.

Pel que fa a la seguretat, el cotxe disposa d'uns sensors que alerten a l'usuari de qualsevol irregularitat i a més en el cas d'impacte, disposa de dues vàlvules que permeten la sortida controlada d'hidrogen a l'entorn, tot i així tots els components d'alimentació d'hidrogen al motor són de doble paret per reduir riscos⁷².



Il·lustració 21: Sistema d'alimentació de un BMW Hydrogen⁷³

HONDA FCX CLARITY

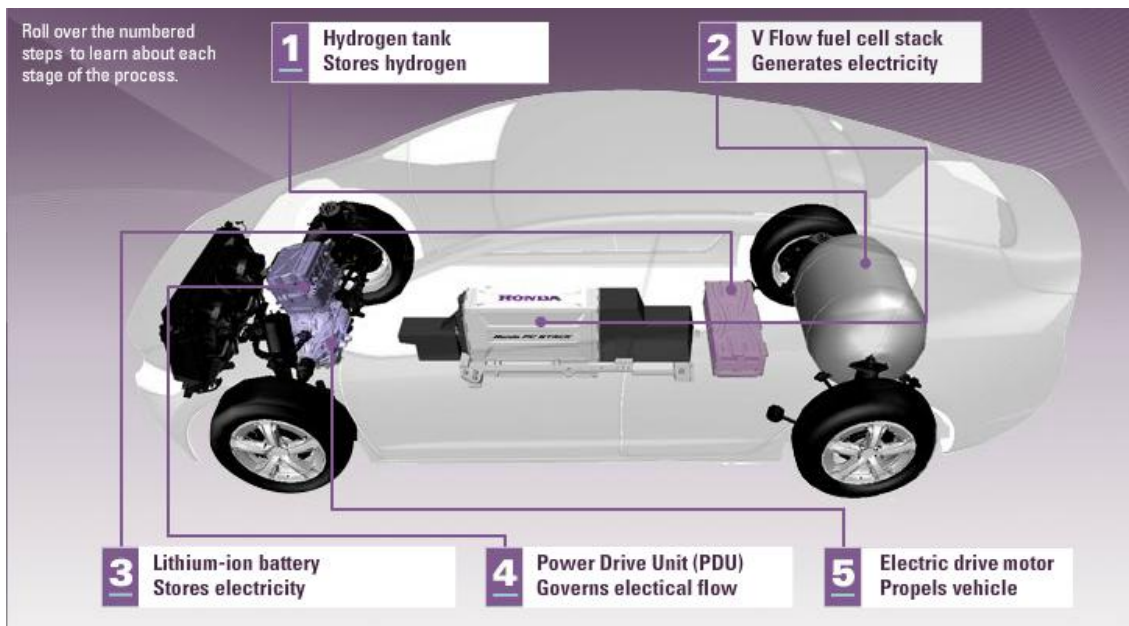
En canvi Honda aposta més pel cotxe amb piles de combustible amb el Honda FCX Clarity. En aquest cas sí que és un cotxe purament d'hidrogen, format per un motor elèctric de 100 kW de potència (136 CV), amb una velocitat màxima de 160 km/h i una acceleració de 0 a 100 km/h en 9,7 segons, alimentat per una pila PEMFC (el component més car) la qual agafa l'hidrogen emmagatzemat en un dipòsit de 171 litres de capacitat, permetent una autonomia de 460 km, i omplert d'uns 4 a 5 minuts⁷⁴.

⁷¹ Aficionados a la mecànica, op. cit.

⁷² Aficionados a la mecànica, op. cit.

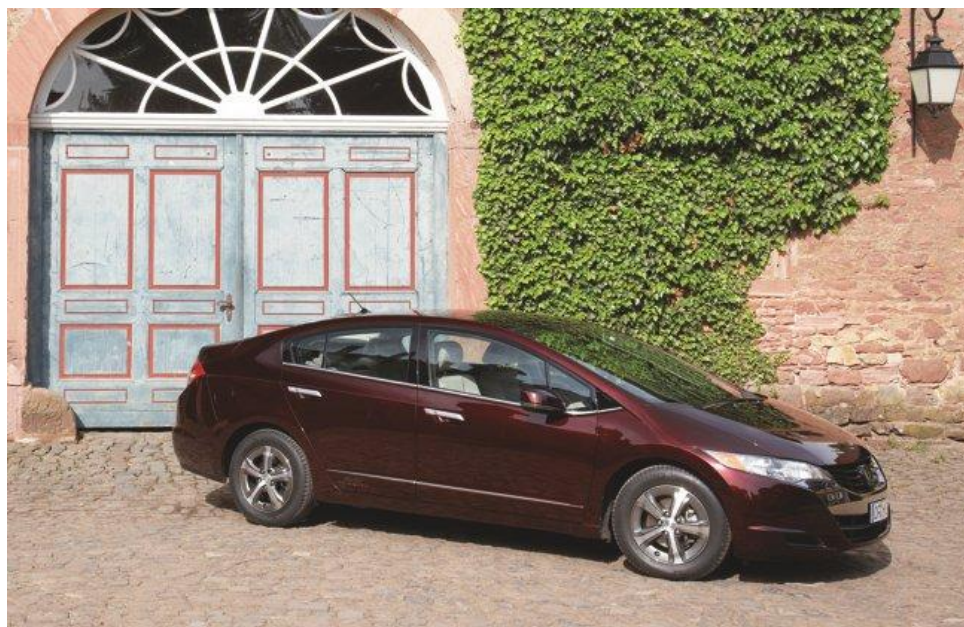
⁷³ Aficionados a la mecànica, op. cit.

⁷⁴ Motor pasión, *Honda FCX Clarity*, 2012, <http://www.motorpasionfuturo.com/coches-hidrogeno/honda-fcx-clarity-1>, (Consulta: 12/10/2014)



Il·lustració 22: Esquema Honda FCX Clarity⁷⁵

Evidentment, aquest model té zero emissions locals. A més a més, segons Honda el consum mitjà equivalent a gasoil del FCX Clarity es de 2,8 l/100 km, per tant és més eficient que un cotxe amb motor de combustió interna de dièsel que en relació estaria entre 4,5 a 5,5 l/100 km.



Il·lustració 23: Honda FCX Clarity⁷⁶

⁷⁵ Honda, *How FCX Clarity FCEV Works*, <http://automobiles.honda.com/fcx-clarity/how-fcx-works.aspx>, (Consulta: 12/10/2014)

⁷⁶ MOTOR PASIÓN, op. cit.

Hi han més marques interessades en el desenvolupament del cotxe d'hidrogen com podria ser Hyundai amb el seu model ix35 FCEV, Toyota o inclús Mazda, entre d'altres, però aquests serien els models portats a la realitat actualment més importants.



Il·lustració 24: Hyundai ix35 FCEV⁷⁷

Veient que aquests cotxes són palpables, funcionen i semblen anar bé, per què no s'acaba de fer una producció mundial, una realitat per a tothom?

⁷⁷ Híbridos y eléctricos, *Hyundai ix35 FCEV, llega la Pila de Combustible de Hidrógeno*, 2013, <http://www.hibridosyelectricos.com/articulo/mercado/hyundai-ix35-fcev-llega-la-pila-de-combustible-de-hidrogeno/20130301124023005018.html>, (Consulta:14/11/2014)

7. PER QUÈ NO ES DESENVOLUPA EL COTXE D'HIDROGEN?

Un dels problemes pel que no es desenvolupa el cotxe d'hidrogen es podria assimilar el problema de l'hidrogen, entre les companyies automobilístiques i les companyies energètiques, amb el dilema de "l'ou i la gallina", entre l'ou i la gallina:

Les companyies automobilístiques no volen fabricar cotxes directament alimentats amb hidrogen per por a que les companyies energètiques no creïn milers d'estacions per reposar aquest hidrogen, i les companyies energètiques tenen por d'invertir en estacions per reposar hidrogen i que no arribin al mercat la suficient quantitat de vehicles que funcionin directament amb hidrogen⁷⁸.

Per què es necessita una transició cap a una societat de l'hidrogen?

Com s'ha esmentat en el primer apartat es basa, principalment, en la necessitat de reduir les emissions que afecten a la contaminació i al clima i la preocupació de l'esgotament de les fonts de combustibles fòssils, que actualment esdevenen el 90% de l'energia consumida en el món. Així doncs, si en un futur l'hidrogen fos utilitzat a gran escala es necessitaria una font per produir-lo i avui dia les energies renovables, com la hidroelèctrica, eòlica, mareomotriu i solar, estan disponibles però no són prou madures o desenvolupades per una producció en massa.



⁷⁸ RIFKIN, op. cit., pg. 254

La distribució des de les plantes de producció fins als consumidors finals representa un altre repte. L'hidrogen ja és utilitzat en la indústria i per tant ja no cal desenvolupar la tecnologia per transportar-lo, existeixen al voltant de 1100 km de conduccions als EEUU, Alemanya i Gran Bretanya, però això és una petita part comparat amb el que s'hauria de fer per satisfer la futura demanda, la infraestructura hauria d'equivaldre al sistema de distribució del gas natural⁷⁹.

Un altre problema són les piles de combustible, caldria disminuir el cost i augmentar l'eficiència, el que es tradueix en: disminuir la carrega de platí, l'espessor de la capa catalítica i optimitzar la dispersió del catalitzador; millorar les prestacions de la membrana polimèrica, en quan a conductivitat iònica i capacitat de retenir aigua; trobar un material alternatiu al grafit per a la placa bipolar d'alta conductivitat elèctrica i tèrmica, resistent a la corrosió, més lleuger i econòmic⁸⁰.

A part un clar problema és el dipòsit o emmagatzematge de l'hidrogen, ja que presenta un gran volum i pes i alguns problemes de seguretat⁸¹.

Definitivament, els principals problemes per al desenvolupament d'aquesta tecnologia són: la falta de la infraestructura de producció, transport i emmagatzemament d'hidrogen; el millorament de la seguretat del funcionament del cotxe; la falta d'acceptació social i política i la carència d'una evolució tecnològica dels principals components.

⁷⁹ Fuel Cell Norway Ans, *Hydrogen as the Main Fuel of the future*, 2004, <http://www.fuelcell.no/index.htm>, (Consulta: 26/5/2014)

⁸⁰ APPICE, op. cit.

⁸¹ Coches hidrógeno, *La revolución del Hidrógeno*, <http://cocheshidrogeno.es/>, (Consulta: 12/9/2014)

8. PART PRÀCTICA

Aquesta part pràctica consta del muntatge d'una maqueta d'un cotxe d'hidrogen de l'empresa *Horizon Fuel Cell*, anotant els diferents components i comprovant i observant el seu funcionament i el seu conseqüent manteniment. A continuació, s'expliquen els experiments duts a terme i els seus resultats.

8.1. MUNTATGE DE LA MAQUETA

Aquesta maqueta està formada per:

- Un xassís
- Una cel·la de combustible PEM
- Un motor elèctric
- Tren d'engranatges
- Sis rodes
- Cablejat i tubs
- LEDs
- Dos dipòsits amb contenidors dintre

8.2. FUNCIONAMENT I MANTENIMENT

El xassís dona l'estructura al cotxe i suporta tots els altres components.

La cel·la de combustible és el cor del cotxe, la que genera tota l'energia. Primerament, és la que s'encarrega de dur a terme l'electròlisi de l'aigua emmagatzemada en els dipòsits, agafant l'energia elèctrica d'unes piles alcalines AA o bé amb energia solar mitjançant una placa fotovoltaica, sigui quina sigui la font d'energia, com a resultat obtindrem hidrogen i oxigen els quals s'emmagatzemaran en els corresponents contenidors dintre dels dipòsits mitjançant els tubs. Un cop feta l'electròlisi, la pila de combustible obté l'energia elèctrica gràcies a la reacció química de l'hidrogen amb l'oxigen prèviament separats. Aquesta electricitat passa a través del cablejat cap a tot el circuit elèctric si l'usuari ho permet manualment, activant un interruptor.

Quan aquesta electricitat passa cap al circuit, activa el motor elèctric i els LEDs, els quals avisen del pas de corrent elèctric pel circuit i per tant del moviment del cotxe. El motor transforma l'energia elèctrica en mecànica i a través d'un tren d'engranatges transmet el moviment a una placa giratòria situada al centre del xassís que conté dues rodes, quan les rodes no giren, ja sigui perquè no estan en contacte amb cap superfície o perquè es troben algun obstacle, gira la placa que fa canviar de direcció el moviment del cotxe. Les altres quatre rodes amb un radi major que les dues anteriors, són independents i estan col·locades a cada extrem del xassís fent possible que el cotxe es mogui.

Finalment, l'hidrogen es consumeix i es torna a formar aigua.

Així doncs per realitzar l'experiment d'obtenir moviment a partir d'hidrogen amb aquesta maqueta caldrà fer els següents passos:

1. Afegir aigua destil·lada als dipòsits, ficar els contenidors dins els dipòsits i els corresponents tubs
2. Connectar la placa fotovoltaica o el porta-piles a la cel·la de combustible i començar l'electròlisi.
3. Un cop que el dipòsit d'hidrogen estigui ple, desconnectar la font d'electricitat (placa fotovoltaica o porta-piles) de la cel·la de combustible i connectar-la al motor.
4. Encendre l'interruptor del cotxe

Per repetir el procés:

5. Treure els taps dels tubs de situats a cada costat de la cel·la de combustible, provocant que l'aigua torni a entrar dintre dels contenidor. Tornar al pas nº 2.

S'han de tindre aquests punts en compte pel manteniment de la maqueta:

- La membrana polimèrica de la cel·la de combustible es una part important per l'intercanvi de protons i necessita estar hidratada, s'ha d'impedir que es sequi.

- La cel·la de combustible té una vida útil de 2 anys⁸², degut al seu desgast.
- L'aigua al cap d'uns quants processos pot ser que tingui impureses i pot arribar a ser perjudicial per la cel·la, per tant es important renovar-la quan convingui.
- Les piles amb les quals es fa l'electròlisi sofreixen un desgast energètic, al cap d'uns quants processos es convenient canviar-les.

8.3. CÀLCUL DE LA VELOCITAT

Realitzem una petita pràctica per calcular la velocitat del cotxe, per això primerament mesurem un seguit de distàncies i temps:

Experiència n°	Distància (m)	Temps (s)	Velocitat (m/s)	Velocitat (km/h)
1	3,80	90	0,042	0,15
2	3,75	60	0,062	0,22
3	1,23	30	0,041	0,15
4	1,26	30	0,042	0,15
<i>Vm</i>			0,047	0,17

Els resultats donats en les experiències d'aquesta taula s'han realitzat amb un volum de 60 ml d'aigua dintre els tancs i per tant amb una massa total de 375g. Cal esmentar que els valors donats no són exactes degut als errors experimentals i que poden variar depenent del terreny i les condicions amb que es faci l'experiència.

La velocitat hauria de ser sempre la mateixa ja que el motor treballa sempre a la mateixa potència, les acceleracions sorgirien en el cas de que hi hagués un desnivell i per tant influís el pes del propi cotxe en la velocitat o en el cas dels últims segons de funcionament en els quals perd velocitat.

Les transformacions utilitzades per calcular:

- La velocitat en m/s a partir de la distància i el temps:

$$V = \frac{\Delta x}{t};$$

⁸² Consell fabricant: HORIZON Fuel Cell, FCJJ-20 - Hydrocar Technical Support

on V és la velocitat, Δx l'increment de posició o distància i t el temps emprat en recórrer aquesta distància.

- La velocitat en km/h a partir de la velocitat en m/s:

$$V\left(\frac{km}{h}\right) = \frac{3600}{1000} \cdot V\left(\frac{m}{s}\right);$$

on V és la velocitat, 1000 el valor per passar de m a km i 3600 el valor per passar de s a h.

A partir d'aquesta pràctica duta a terme, expressada en la taula, concloem que la velocitat del cotxe és de 0,17 km/h.

8.4. OBSERVACIONS ELECTRÒLISIS

Com s'ha esmentat anteriorment, l'electròlisi és un procés important per la maqueta, ja que és el procés d'obtenció de l'hidrogen, i es pot dur a terme mitjançant dos procediments: amb piles alcalines i amb la placa fotovoltaica.

8.4.1. PROCEDIMENT AMB PILES ALCALINES

Experiència nº	V aigua (ml)	Tº aigua (ºC)	temps electròlisi (min)	t funcionament (min)
1	60	Ambient (≈24)	3:41.759	1:30.651
2	60	Ambient (≈24)	3:43.664	1:35.567
3	60	Ambient (≈24)	3:58.969	2:26:508
4	60	Ambient (≈24)	3:10.672	1:46.608
5	60	Ambient (≈24)	3:20.521	1:40.537
t mitjà			3:34	1:55

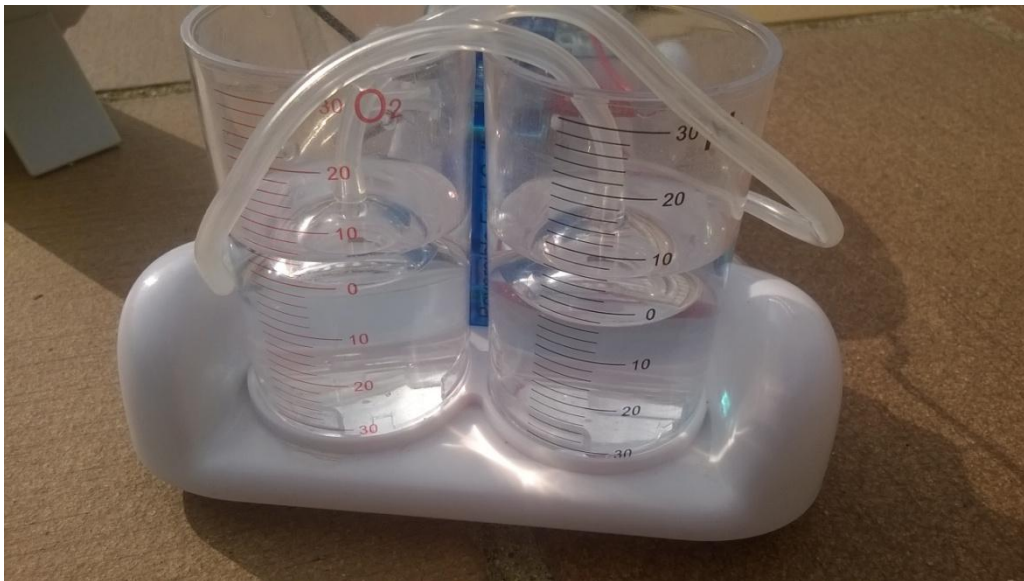
Amb aquestes dades es pot observar com l'electròlisi en les experiències ha donat un temps mitjà de 3:34 minuts i ha estat en funcionament 1:55 minuts, tenint el temps en funcionament mitjà, la velocitat mitjana abans calculada i partint d'aquesta transformació:

$$d = t \cdot V;$$

podem obtenir l'autonomia del cotxe:

Autonomia mitjana
5,41 m

Lògicament el valor de l'autonomia no és molt gran i s'allunya dels cotxes actuals, ja que es tracta d'una maqueta, i a més a més els cotxes no carregen el sistema necessari per a fer l'electròlisi ni, en comparació escalar, una pila de combustible tan gran. Tot això genera que un motor tant petit amb una quantitat limitada de combustible no tingui una gran velocitat ni una gran autonomia.



Ara bé, una altre qüestió per comprovar es com afecta la temperatura al procés de l'electròlisi.

Primerament, s'observa els resultats de la electròlisi amb temperatures inferiors a la temperatura ambient.

Experiència n°	V aigua (ml)	T° aigua (°C)	temps electròlisi (min)	t funcionament (min)
<i>1</i>	60	8,3	4:27.672	1:12.725
<i>2</i>	60	5	4:22.936	1:49.281
<i>3</i>	60	7,8	4:44.835	1:22.192
<i>4</i>	60	9	4:43.417	1:20.258

I a continuació, el mateix però amb temperatures major a la temperatura ambient.

Experiència n°	V aigua (ml)	T° aigua (°C)	temps electròlisi (min)	t funcionament
<i>1</i>	60	35	2:44.776	1:42.77
<i>2</i>	60	45	2:55.032	1:46.165
<i>3</i>	60	50	2:33.708	1:47.573
<i>4</i>	60	55	2:47.983	2:07.295

Com cabia esperar, la temperatura sí que afecta a l'electròlisi, ja que no deixa de ser una reacció química en la qual la temperatura afecta al moviment de les partícules, a més a més, a més temperatura l'electròlit presenta més conductivitat i millora l'eficiència elèctrica⁸³. Així doncs, amb una temperatures baixes l'electròlisi es dóna més a poc a poc, i a altes temperatures es dóna més ràpidament.

8.4.2. PROCEDIMENT AMB PLACA FOTOVOLTAICA

Exper iència n°	V aigua (ml)	T° aigua (°C)	T° ambient (°C)	Observacions	t electròlisi (min)	t funcionament (min)
<i>1</i>	60	23,9	23	Sol	16:44.131	1:41.528
<i>2</i>	60	22,3	20	Sol	15:26.440	1:23.506

⁸³ SPIEGEL, op. cit., pg. 60

3	60	24	20	Sol	19:25.809	1:40.284
4	60	25	18	Sol amb núvols	20:45.946	2:10.962
5	60	24	16	Ennuvolat	49:03.164	1:09.479
t mitjà (1,2,3)					17:63	1:35

En el cas del procediment amb la placa fotovoltaica el temps mitjà de l'electròlisi de les tres primeres experiències és 17:63 min i el temps mitjà de funcionament és de 1:35 min. En el cas de les experiències nº 4 i 5, no estan incloses al temps mitjà ja que com s'indica en la taula estan fetes en condicions diferents.

La experiència nº 5 és un cas en el qual els raigs de sol no impactaven directament a la placa fotovoltaica i per tant és un bon exemple dels possibles problemes que pot trobar l'energia solar.



Com es pot veure i comparar, el procediment amb piles alcalines és molt més ràpid i eficaç que el procediment amb la placa fotovoltaica, sobre tot quan aquest actua a altes temperatures (t mitjana alc.: 3:34 min / t mitjana placa: 17:63 min). No obstant això, a l'utilitzar la placa fotovoltaica s'utilitza una energia renovable com a font i per tant ajuda a complir el propòsit o objectiu del cotxe d'hidrogen.

9. CONCLUSIONS

A partir de tota la informació recopilada i la part practica realitzada, les conclusions es poden deduir, igual que la resposta a la pregunta:

El cotxe d'hidrogen: realitat o ficció?

Òbviament el cotxe d'hidrogen no és ni de lluny un element d'una novel·la de ciència-ficció, tot el contrari, és una gran realitat, ja que l'actual existència d'aquest ho confirma. Aquesta idea és recolzada, en la meva recerca, per l'anàlisi dels actuals models de cotxe d'hidrogen i la part pràctica realitzada.

Tot i els possibles errors experimentals produïts durant les experiències, aquesta part pràctica és d'una gran ajuda per demostrar que el cotxe d'hidrogen és un objectiu tangible, un petit exemple del que podria arribar a ser un gran avenç per a la humanitat.

No obstant, és una realitat que avui dia no es troba estesa arreu del món i no predomina sobre els altres models de cotxes que funcionen amb combustibles fòssils. En l'apartat número set, es poden veure els problemes que ho fan possible i a partir d'aquests es pot concloure que el cotxe d'hidrogen passarà a ser una realitat propera i quotidiana, i no una realitat llunyana amb una petita producció, quan es creï o millori: la infraestructura de producció, transport i emmagatzemament d'hidrogen, la seguretat del funcionament del cotxe, l'acceptació social i política i l'evolució tecnològica dels principals components.

Aquest canvi és difícil de determinar la rapidesa amb la que es durà a terme. Personalment, coincidint amb algunes de les fonts consultades, crec que això únicament dependrà de la nostra consciència, especialment de la gent que pot fer possible aquesta transformació, envers a la necessitat d'aquest gran canvi.

- Eduardo H. D'Elía , *Pilas de Combustibles*, 2003,
<http://www.revistaciencias.com/publicaciones/EpZkZFylVAZxbApUoR.php>,
(Consulta: 28/8/2018)
- APPICE, *Pilas de combustible poliméricas*,
http://www.appice.es/app.php?x=3&x2=2_4, (Consulta: 3/9/2014)
- Endesa, *El coche eléctrico*, 2012,
http://www.endesaeduca.com/Endesa_educa/recursos-interactivos/el-uso-de-la-electricidad/coche-electrico, (Consulta: 3/9/2014)
- Nave R., *How Does an Electric Motor Works?*, 2001, <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/magnetic/mothow.html#c1>, (Consulta: 23/9/2014)
- Pablo Rega, *Motores Eléctricos*, 2011,
<https://sites.google.com/site/279motoreselectricos/partes-fundamentales-de-un-motor-electrico>, (Consulta: 23/9/2014)
- M Olmo & R Nave, *Operación del Motor de DC*, 2001, <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/magnetic/motdc.html#c1>, (Consulta: 23/9/2014)
- M Olmo & R Nave, *Motor de AC*, 2001, <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/magnetic/motorac.html#c1>, (Consulta: 23/9/2014)
- Anònim, *La historia del automóvil*, 2012,
<http://ingeneriaautomovilistica.blogspot.com.es/2010/11/el-motor-de-4-tiempos.html>, (Consulta: 11/10/2014)
- Profesor en línea, *Energía química i combustión*,
<http://www.profesorenlinea.cl/fisica/Energiaquimicaycombustion.htm>,
(Consulta: 10/9/2014)
- Luis Ramos, *Hasta luego, motor rotativo Wankel*, 2012,
<http://noticias coches.com/noticias-motor/hasta-luego-motor-rotativo-wankel/53462>, (Consulta: 10/9/2014)
- Motor H2, *¿Qué es el motor de hidrogeno?*,
2013, <http://www.motordehidrogeno.net/que-es-el-motor-de-hidrogeno>,
(Consulta: 10/9/2014)
- Jeronimo Garzon, *El automóvil al desnudo*, 2012,
http://jeroitim.blogspot.com.es/2012/10/motores-de-combustion-interna-en_23.html, (Consulta: 10/9/2014)

- Anònim – Wikipedia, *William Robert Grove*,
http://en.wikipedia.org/wiki/William_Robert_Grove, (Consulta: 10/9/2014)
- OMPI – revista de la OMPI, *Tecnologías ecológicas: Automóviles eléctricos y pilas de hidrogeno*, 2007,
http://www.wipo.int/wipo_magazine/es/2007/01/article_0001.html, (Consulta: 10/9/2014)
- Mary Bellis, *History of Electric Vehicles*,
<http://inventors.about.com/od/estartinventions/a/History-Of-Electric-Vehicles.htm>, (Consulta: 10/9/2014)
- Endesa, *El coche eléctrico*,
http://www.endesaeduca.com/Endesa_educarecursos-interactivos/el-uso-de-la-electricidad/coche-electrico
- Gilles Simond – 24 heures, *1813: l'étincelle de Rivaz*, 2012,
<http://www.24heures.ch/vaud-regions/1813-l-etincelle-de-Rivaz/story/31598794>, (Consulta: 10/9/2014)
- Mary Bellis, *The History of the Automobile*,
<http://inventors.about.com/library/weekly/aacarsgasa.htm>, (Consulta: 10/9/2014)
- Fernando I. Lizundia – El Mundo, *La verdadera historia del motor Wankel*, 2003,
<http://www.elmundo.es/elmundomotor/2003/10/30/tecnica/1067513211.html>,
(Consulta: 10/9/2014)
- The CO₂ Systems, *Sistemas de Ahorro de Combustible y Reducción de Emisiones de CO₂*, http://www.theco-systems.com/THECO_Systems/THECO_Systems_-_Caracteristicas.html,
(Consulta: 26/2/2014)
- Juan Manuel Pichardo – km 77, *BMW Hydrogen 7*, 2006,
<http://www.km77.com/marcas/bmw/2007/serie7/hydrogen7/t01.asp>, (Consulta: 12/10/2014)
- Aficionados a la mecánica, *Vehículos de hidrógeno*, 2014,
<http://www.aficionadosalamecanica.net/motores-hidrogeno.htm>, (Consulta: 12/10/2014)

- Motor pasión, *Honda FCX Clarity*, 2012, <http://www.motorpasionfuturo.com/coches-hidrogeno/honda-fcx-clarity-1>, (Consulta: 12/10/2014)
- Honda, *How FCX Clarity FCEV Works*, <http://automobiles.honda.com/fcx-clarity/how-fcx-works.aspx>, (Consulta: 12/10/2014)
- Fuel Cell Norway Ans, *Hydrogen as the Main Fuel of the future*, 2004, <http://www.fuelcell.no/index.htm>, (Consulta: 26/5/2014))
- Coches hidrógeno, *La revolución del Hidrógeno*, <http://cocheshidrogeno.es/>, (Consulta: 12/9/2014)
- Híbridos y eléctricos, *Hyundai ix35 FCEV, llega la Pila de Combustible de Hidrógeno*, 2013, <http://www.hibridosyelectricos.com/articulo/mercado/hyundai-ix35-fcev-llega-la-pila-de-combustible-de-hidrogeno/20130301124023005018.html>, (Consulta: 14/11/2014)