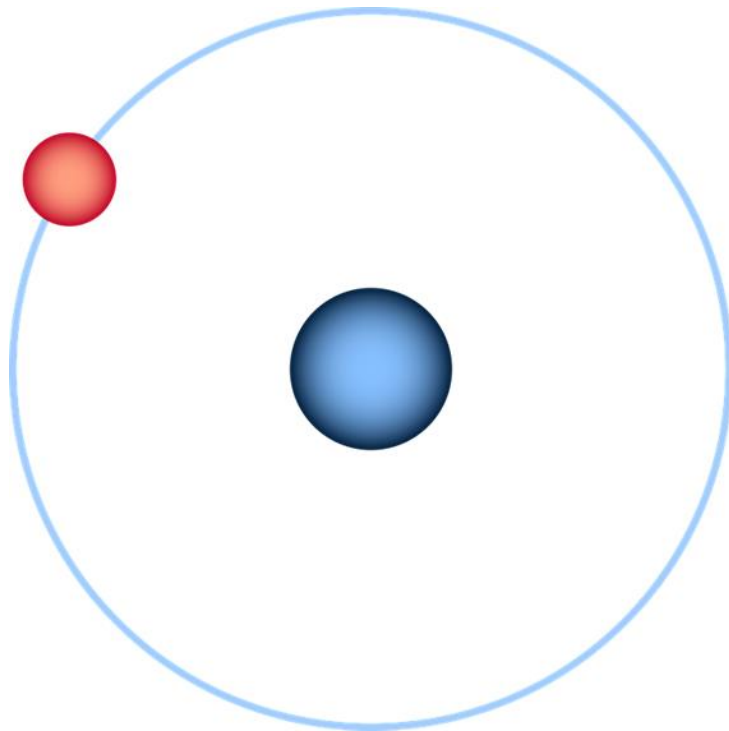


VEHICLES D'HIDROGEN: EL FUTUR DE L'AUTOMOBILISME



ÍNDIX

1. Abstract	3
2. Introducció	4
3. Hipòtesi.....	6
4. Estat de la qüestió	7
5. Piles	13
a. Piles de combustible	13
6. Piles d'Hidrogen	15
a. Obtenció de l'Hidrogen	15
i. Refineria del petroli	15
ii. Biomassa	16
iii. Electròlisi	16
iv. Alumini	20
b. Funcionament de la pila.....	24
7. Funcionament del vehicle.....	26
a. Motor.....	26
b. Sistema de direcció.....	30
c. Funcionament general.....	31
8. Components del vehicle	33
a. Estructura general.....	33
i. Estructura externa	34
ii. Estructura interna	36
b. Rodes	36
c. Llums	39
9. Impacte mediambiental	40
a. Estudi mediambiental de l'emissió d'aigua a l'atmosfera.....	40
b. Sistema de condensació per evitar l'emissió de vapor d'aigua.....	41
10. Antàrtida: condicions i problemàtiques actuals.....	42
11. Part pràctica.....	44

a. Ideació d'un vehicle.....	44
i. Introducció.....	44
ii. Estructura.....	44
iii. Conclusió.....	48
b. Ideació d'un mòdul d'hidrogen.....	49
i. Introducció.....	49
ii. Turbines eòliques.....	50
iii. Mirall paraboloide.....	51
iv. Escalfar aigua amb energia solar.....	51
v. Disseny 3D del mòdul.....	51
vi. Conclusions.....	53
c. Maqueta.....	54
i. Pila d'hidrogen.....	55
ii. Disseny del sistema elèctric i càlculs dels components.....	57
iii. Components utilitzats.....	63
iv. Disseny 3D	67
v. Pressupost.....	68
vi. Procés de construcció.....	69
12. Conclusió.....	76
13. Índex i referències de taules, figures, imatges i gràfics.....	79
14. Webgrafia.....	85
15. Annexos.....	97

1. ABSTRACT

Nosaltres, els éssers humans, estem matant el planeta Terra amb tota la contaminació responsable del canvi climàtic. L'Antàrtida és una de les regions del món més afectades degut al seu magnetisme, que està provocant una disminució del gruix de la seva capa atmosfèrica. Aquest projecte té com a objectiu dissenyar un mitjà de transport alternatiu, no contaminant, pels expedicionaris de l'Antàrtida, a més de construir una maqueta per tal d'entendre el principi de funcionament del vehicle.

We, human beings, are killing the Earth with all our pollution, which responsible for climate change. Antarctica is one of the most affected regions in the globe due to its magnetic condition provoking a lessening in the atmosphere's thickness. This project has the purpose of conceiving an alternative, non-polluting, means of transport for expeditionists in the Antarctica, and, furthermore, building it as a model to understand its working principle.

Nosotros, seres humanos, estamos matando el planeta Tierra con toda la contaminación, responsable del cambio climático. La Antártida es una de las regiones del mundo más afectadas debido a su magnetismo, que está provocando una disminución de su capa atmosférica. Este proyecto tiene como objetivo diseñar un medio de transporte alternativo, no contaminante, para los expedicionarios de la Antártida, además de construir una maqueta para entender cómo funciona el vehículo.

2. INTRODUCCIÓ

Vivim en una societat que està canviant constantment, tant en la forma de fer com en la de viure i pensar. En aquest últim segle hi ha hagut un avenç tecnològic tan important que no ens sorprendria si d'aquí a uns segles el consideressin l'inici d'una nova etapa en la història de l'evolució humana. Tot i això, encara que estiguem submergits enmig d'aquestes ànsies de descobrir, millorar i autosuperar-nos, no podem oblidar el que les últimes revolucions han deixat: la contaminació.

Des de la revolució industrial els nivells de CO₂ a l'atmosfera han pujat vertiginosament, al mateix temps que ho han fet el consum d'energies no renovables i la contaminació marina i terrestre. Per tots aquests motius, en els últims anys s'han desenvolupant noves tecnologies que no només ens ajuden a nosaltres com a éssers humans sinó que també podrien salvar el planeta.

Tenim 17 anys i som conscients que ha d'haver-hi un canvi en la societat, però també sabem que aquesta no renunciarà als luxes i plaers d'avui en dia. És per aquestes raons per les quals hem decidit dur a terme un treball que no ens faci retrocedir en els anys, parlant des d'un punt de vista tecnològic, però que tampoc agreugi la delicada situació que tenim actualment entre mans, el canvi climàtic.

Juntament amb altres factors, el CO₂ que expulsen els cotxes és un dels principals causants de l'agreujament de l'efecte hivernacle.

Actualment, a l'Antàrtida s'hi fan moltes expedicions per estudiar els fenòmens relacionats amb l'efecte hivernacle i el canvi climàtic, sobretot els problemes relacionats amb el forat de la capa d'ozó. Ara bé, aquestes expedicions es fan amb vehicles molt pesants i grans, degut als alts requeriments que té desplaçar-se en un ambient tant hostil, que són propulsats per combustibles fòssils. Aquest fet ens ha fet arribar a la conclusió que anar a estudiar el canvi climàtic mentre s'hi contribueix no és gaire coherent.

Tot i això, no som els únics amb aquesta opinió. El nostre projecte té un precedent força directe. El 2011, ACCIONA va realitzar la primera expedició a l'Antàrtida totalment zero

emissions. Tot i això, la seva forma de desplaçament depenia directament de les condicions del temps, ja que funcionava a partir de l'energia eòlica.

Nosaltres creiem que actualment el futur del món automobilístic rau en els cotxes d'hidrogen. És una tecnologia completament neta, no contamina de cap manera, i és la tecnologia que té més recorregut d'investigació per davant. A més, presenta certs avantatges decisius enfront d'altres tecnologies com ara els cotxes elèctrics convencionals. Si bé és cert que ambdós són zero emissions, el cotxe elèctric amb bateria genera un residu molt difícil de gestionar com són les pròpies bateries. Endemés, aquestes requereixen cert temps per carregar-se. Aquests motius són els que fan que nosaltres apostem per la tecnologia de l'hidrogen.

3. HIPÒTESI

Tal com hem exposat a la introducció, ens importa molt el nostre planeta i creiem que aquest s'hauria de cuidar. Tot i això, som conscients que res millorarà si la població no canvia. És per aquest motiu que hem decidit centrar-nos en l'Antàrtida, una zona del món que, tot i no ser manipulada directament pels humans, és de les regions que més rep les conseqüències de tot el que fem. A més a més, també volíem fer un projecte que es pogués aplicar al dia a dia, ja que encara que ja existeixi creiem que aquest nou mitjà de transport mereix molta més atenció i recursos dels que té avui en dia. Considerem que els vehicles propulsats per piles d'hidrogen són el futur del sector automobilístic, ja que són la tecnologia més neta i amb més recorregut encara per fer. Per tant, englobant tots els aspectes que volíem incloure, vam acordar que la hipòtesi del nostre treball seria la següent:

"És possible construir un vehicle elèctric d'hidrogen que sigui apte per l'Antàrtida".



Imatge 1: Fotografia de l'expedició a l'Antàrtida realitzada per Acciona.

4. ESTAT DE LA QÜESTIÓ

L'espècie humana s'ha caracteritzat al llarg de la seva existència per la transformació exhaustiva que ha realitzat en el medi que l'envolta. Avui dia això no ha canviat i els humans encara som especialistes en explotar tot allò que veiem que pot ser útil per al nostre desenvolupament. Durant les primeres revolucions industrials, el teixit empresarial va créixer dràsticament gràcies als nous sistemes de producció que es van establir. La combustió d'elements fòssils va donar el tret de sortida a una llarga cursa que ha arribat fins als nostres dies, la de l'explotació sistemàtica dels recursos naturals. Clarament, aquesta explotació ha estat la font d'energia fins avui en dia, ja que és barata, accessible i pràctica. Tanmateix, ara que el planeta se'ns està girant en contra per tots els desastres mediambientals que hem estat i estem causant contínuament, s'han de buscar nous recursos energètics, eficients, nets i renovables.

Fa temps que es treballa amb les energies renovables, però aquestes són introduïdes a la societat a ritme de comptagotes i no arriben ni al 50% de la producció energètica en cap país. També s'ha de tenir en compte que darrere de l'explotació de les fonts d'energia no renovables hi ha grans empreses molt ben acomodades amb pactes estatals, per això a les energies renovables els costa veure la llum. La legislació vigent, a càrrec dels estats, els ho posa difícil. Com ja se sap, la tecnologia avança molt més de pressa que no pas ho fa la llei, fet que resulta en que el progrés tecnològic i ecologista es freni.

Les instal·lacions d'energies renovables necessiten estar implementades en xarxa, és a dir, que amb una sola d'aquestes no n'hi ha prou, i és per això que actualment les trobem en forma de parcs eòlics o fotovoltaics. A més a més, aquestes instal·lacions només poden anar a càrrec de grans empreses amb molts accionistes i amb un gran poder adquisitiu, fet que dificulta la proliferació d'aquestes noves tecnologies en els sectors emprenedors amb menys poder capital.

D'altra banda, però, el cotxe elèctric ha entrat amb molta força en el mercat actual. Ara per ara, com ens demostra la demanda d'aquest, les matriculacions augmenten a un ritme impressionant. De cara al futur, el que veiem és com totes les grans multinacionals

automobilístiques estan començant a invertir en el desenvolupament del cotxe elèctric, fet que es va demostrar al saló de l'automòbil de Ginebra del 2019, on la major part dels cotxes en exposició eren elèctrics. És evident que durant aquest segle s'està iniciant un camí amb més consciència i respecte cap al planeta, que ha estat batejat per alguns experts com la quarta revolució industrial; la digital i la de la tecnologia ecològica.

Imatge 2: Saló de l'automòbil de Ginebra 2019

Entre totes les energies renovables que s'estan estudiant, una de les que té més projecció de



futur és l'hidrogen. L'hidrogen és l'element més abundant del nostre planeta i des del principi d'aquest mil·lenni s'ha estat estudiant molt el seu ús en el sector de l'energia. L'ús de l'hidrogen ja va ser implementat durant la segona guerra mundial, sobretot per part dels alemanys, però el seu ús estava enfocat a uns propòsits bastant diferents dels actuals. Actualment existeixen cotxes d'hidrogen, els quals no deixen de ser un cotxe elèctric més, ja que comparteixen els mateixos components i requisits per funcionar, entre ells, l'electricitat. Ara bé, la manera en què aquesta és creada és totalment diferent. L'electricitat d'un cotxe elèctric és proporcionada directament per un sistema de corrent altern al endollar-se a la xarxa elèctrica per carregar les seves bateries. En canvi, el cotxe d'hidrogen genera ell mateix l'electricitat a partir d'uns processos electroquímics que aconsegueixen fusionar l'hidrogen i l'oxigen per tal d'obtenir el corrent elèctric necessari per impulsar el vehicle.

L'objectiu de les tecnologies que funcionen amb hidrogen és el d'obtenir energia 100% neta, renovable i amb zero emissions. Encara que el potenciament d'aquesta tecnologia no hagi

sigut primordial pels països europeus, al continent asiàtic, sobretot al Japó, s'hi ha estat invertint com la tecnologia amb més projecció de futur i és en la qual el país nipó està destinant més recursos. A més a més, també s'està regulant la seva legislació per tal d'aconseguir que el vehicle d'hidrogen sigui una realitat diària en el país, ja sigui en forma de transport públic o bé reduint els impostos a aquells que apostin per la mobilitat sostenible.

Al Japó, les grans empreses automobilístiques com ara Toyota, Hyundai o Honda són les que ens ofereixen els cotxes d'hidrogen amb més autonomia, la qual va entre els 600 i 700 quilòmetres. Tot i la nacionalitat d'aquestes empreses, la gran majoria d'aquests models acaben circulant pels carrers de Califòrnia, ja que és en aquest indret on es registra el major nombre de vehicles impulsats per hidrogen.

Aquest innovador vehicle ens aporta diversos avantatges respecte al vehicle elèctric convencional. Alguns d'aquests són que mentre que els vehicles totalment elèctrics necessiten un temps prolongat per carregar-se, el cotxe d'hidrogen només precisa del mateix temps que es necessitaria per carregar un vehicle de combustió amb gasolina o gasoil. Aquest és un factor primordial per a la implementació d'aquest vehicle, ja que el temps de recàrrega o el fet de no trobar un punt de subministrament d'electricitat fa tirar enrere els compradors quan es plantegen l'opció d'un cotxe elèctric. Emperò, això es pot solucionar amb el cotxe d'hidrogen: si bé al principi de la seva implementació no hi hauria gaires estacions hidrogeneres (com passa ara), sí que és cert que el temps de recàrrega seria molt més reduït i, un cop estandarditzades, ja no suposaria un problema. Les hidrogeneres és on es carregarien els vehicles d'hidrogen i el seu funcionament és idèntic al d'una gasolinera: hi ha un surtidor de gas hidrogen, a una pressió d'uns 350 bars. Avui en dia, a Espanya hi ha solament cinc estacions hidrogeneres: a Albacete, Osca, Saragossa, Ciudad Real i Madrid.



Imatge 3: Cotxe d'hidrogen de Toyota

Actualment, en contraposició a les grans multinacionals automobilístiques asiàtiques que estan apostant per aquest tipus de mobilitat, les europees no ho fan, ja que la demanda d'aquests automòbils en els seus països és molt baixa. Això ha suposat un conflicte en aquest sector, ja que la roda de l'oferta i la demanda evita que s'inverteixi en la implementació d'aquesta tecnologia. Avui en dia a Europa hi ha pocs vehicles d'hidrogen perquè és molt complicat trobar hidrogeneres, però al mateix temps, hi ha poc servei d'hidrogeneres perquè hi ha pocs vehicles que les necessitin, de manera que es forma un bucle. Per sort és bastant fàcil de solucionar aquest problema: s'ha d'encarar un dels dos focus. És aquí on les empreses han de fer un acte de valentia i estudiar quina manera hi ha de fer que el comprador vegi el cotxe d'hidrogen com una opció factible a l'hora de comprar. Si puja el nombre de cotxes que precisen hidrogen, automàticament creixerà la demanda d'hidrogeneres i començaran a aparèixer amb força.



Imatge 4: Hidrogenera

D'altra banda, també s'ha de destacar la presència dels desavantatges que suposa avui en dia realitzar la compra d'un cotxe d'hidrogen, com per exemple el seu cost. La manca de varietat a l'hora de buscar models i marques que ofereixin aquest tipus d'automòbils fa que els preus d'aquests vehicles siguin desorbitats, partint dels setanta mil euros. Això clarament limita aquests vehicles a certes classes socials, de manera que el que aconseguen les grans empreses automobilístiques és que la gent amb menys poder adquisitiu no tingui la possibilitat d'adquirir un vehicle sostenible pel medi ambient.

Aquest tipus de vehicle es classifica com a vehicle totalment verd i que no perjudica el medi, però si tenim en compte tot el procés que es realitza a l'hora de produir l'hidrogen que utilitzen, podria ser que aquesta distinció ecològica la perdéssim. L'hidrogen es pot obtenir de diverses maneres. Una d'elles, i la més comuna, és a partir de la refinaria del petroli i de combustibles fòssils, la qual evidentment, no és neta. No obstant, també es pot crear l'hidrogen a partir d'un procés electroquímic net anomenat electròlisi, a partir del qual, aportant aigua i energia, s'és capaç de separar l'aigua en hidrogen i oxigen. El problema de l'electròlisi és la quantitat d'energia que requereix i que, malauradament, és un cost que no surt rendible. Des del punt de vista de la termodinàmica, l'hidrogen sempre serà menys interessant que les bateries electroquímiques, ja que el procés, des de l'inici de l'obtenció de l'hidrogen fins que es transforma en moviment útil, és menys eficient que les piles de combustible, té menor rendiment. Això és a causa del cost que té aconseguir l'hidrogen de manera neta i sostenible.

Si s'aconseguís trobar una forma de produir massivament hidrogen net a partir del procés de l'electròlisi o d'algun altre procés no contaminant, hauríem trobat la solució al problema. Però si aconseguíssim això i el cotxe d'hidrogen comencés a popularitzar-se, ens trobaríem amb el problema que molts vehicles emetrien aigua en forma de vapor. Avui dia, l'emissió de diòxid de carboni està matant el planeta i l'escalfament global es basa principalment en l'emissió d'aquest gas a l'atmosfera. Però si la mateixa quantitat de vehicles que avui emeten CO₂ emetessin aigua, què passaria?

En aquest futur hipotètic ens enfrontaríem a una situació encara més perjudicial per a l'atmosfera que l'emissió de CO₂: la humidificació del medi. Tenir més humitat a l'atmosfera significa un augment considerable de l'efecte hivernacle o "efecte sauna de vapor" en aquest cas, la qual cosa tindria un efecte encara més nociu.

5. PILES

a. PILES DE COMBUSTIBLE

Les piles de combustible són una tecnologia que converteixen l'energia química en electricitat a partir d'un combustible i d'un oxidant (Annex1). Es basen en el fenomen de l'electròlisi inversa, ja que de la mateixa manera que l'electròlisi requereix electricitat, en fer el procés invers es pot generar corrent elèctric o un flux d'electrons. Aquests processos esmentats s'expliquen en profunditat als apartats 6.a.iii. ELECTRÒLISI i 6.b. FUNCIONAMENT DE LA PILA D'HIDROGEN. Aquestes piles poden ser:

- De combustible alcalina (AFC):

L'electròlit està format per una dissolució aquosa de caràcter bàsic o alcalí. Generalment s'empra KOH com a solut. L'electròlit és una substància conductora, explicada en profunditat en els propers apartats 6.a.iii i 6.b.

- Pila de combustible d'àcid fosfòric (PAFC):

L'electròlit és líquid i està format per una solució d'àcid fosfòric (85-100%) en una matriu de carbur de silici. Els elèctrodes estan formats d'una base de grafit amb un catalitzador de Pt. La temperatura de treball és de 160-200°C i, per a evitar la solidificació de l'electròlit, la pila ha de ser sempre escalfada, ja que l'àcid fosfòric solidifica a 42,5°C.

- Piles de combustible de carbonat fos (MCFC):

L'electròlit està format per una mescla de carbonats alcalins fosos (Li, K i Na) en una matriu de liti-alumini. Els elèctrodes estan fets d'un aliatge de Níquel i Crom (ànode) i Níquel i Liti (càtode). La temperatura de treball és de 600-700 °C.

A diferència de les piles esmentades anteriorment, aquestes necessiten ser alimentades amb aire i diòxid de carboni en el càtode.

Necessiten dos fluxos: un de O₂ i un de CO₂. El principal inconvenient que presenten és que les altes temperatures que assoleix la pila i el caràcter corrosiu (caràcter bàsic) de l'electròlit afecten negativament la seva durabilitat. A més a més, tenen una elevada tolerància a les

impureses gràcies a les altes temperatures del treball i generen des de kW fins a desenes de MW.

- Piles de combustible d'òxids sòlids (SOFC):

L'electròlit està format d'un material ceràmic (òxid de zirconi-itri). Aquesta pila es diferencia de la resta perquè no emprava catalitzador. Això és així perquè es treballa a temperatures molt elevades: 800-1000 °C.

- De membrana polimèrica (PEMFC): *Proton Exchange Membrane Fuel Cell*

Aquestes piles estan sent desenvolupades principalment pel transport. L'electròlit d'aquestes piles està format per una membrana polimèrica.

Les membranes polimèriques tenen la característica que permeten el bescanvi iònic. Com que el combustible utilitzat és l'hidrogen, majoritàriament, els ions són essencialment protons, motiu pel qual també se les anomena d'intercanvi de protons.

Aquesta membrana necessita una hidratació constant d'aigua. A causa de les baixes temperatures de treball, és necessària la presència de catalitzadors com ara Pt.

- Piles de combustible d'ús directe de metanol (DMFC):

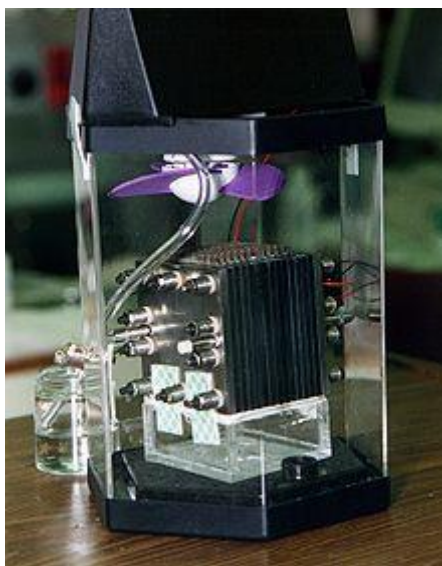
És un tipus de pila derivada de les PEMFC, ja que ambdues utilitzen una membrana polimèrica d'intercanvi iònic com a electròlit. No obstant això, en aquest cas utilitzen metanol en lloc d'H₂. La temperatura de treball és de 50-100 °C.

Hi ha una baixa difusió del metanol a través de la membrana en el pas de l'ànode al càtode, fet que fa disminuir el rendiment i augmentar el consum de combustible. Això fa que aquestes piles tinguin un curt temps de vida útil, una menor eficiència que la resta de piles i que sigui necessària una elevada quantitat de catalitzador.

L'emmagatzematge de metanol no requereix aparells voluminosos ni reformadors extensos com en el cas de l'hidrogen, fet que provoca una reducció de costos respecte a la pila PEMFC amb hidrogen. Cal destacar que amb aquesta pila tenim la possibilitat d'emprar directament metanol líquid a baixes temperatures (90 °C).

6. PILES D'HIDROGEN

Les piles d'hidrogen són les principals PEM, és a dir, que són de tipus de membrana polimèrica. Aquestes piles són les més respectuoses amb el medi ambient, ja que no produeixen cap classe d'emissió ni de residus i és amb la que es propulsarà el nostre vehicle. Les piles d'hidrogen, com bé indica el nom, utilitzen hidrogen com a element fonamental, a partir del qual es genera l'energia elèctrica. Tot i això, hem de tenir en compte d'on aconseguim aquest combustible.



Imatge 5: Fotografia d'una pila d'hidrogen petita

a. OBTENCIÓ DE L'HIDROGEN

L'hidrogen, tot i ser l'element més abundant al planeta, no es troba mai sol com a element aïllat, i és per això que s'ha de pensar en un procés per extreure'l, el qual, per cenyir-nos al nostre principal objectiu, no pot contaminar en cap aspecte.

Actualment, hi ha les següents maneres d'obtenir hidrogen:

i. AMB LA REFINERIA DEL PETROLI

Els jaciments de petroli desprenen gasos, anomenats gas natural. Aquestes substàncies són hidrocarburs, és a dir, que la seva estructura es basa en la combinació d'hidrogen amb

carboni. El gas més utilitzat per aquesta mena de procés d'obtenció d'hidrogen és el metà (CH₄). Hi ha tres processos diferents amb els quals s'obté hidrogen a partir d'hidrocarburs:

- El procés de reformació per oxidació parcial que, com bé indica el nom, converteix les cadenes de carboni i hidrogen en hidrogen a partir de la seva oxidació parcial, és a dir, una combustió. Això fa que es requereixi una aportació inicial de calor i que per tant sigui un procés endotèrmic. Tot i això, d'altra banda, permet treballar en temperatures més baixes que els altres processos. Malgrat això, allibera CO, un gas molt contaminant i tòxic per la salut, en una proporció amb l'hidrogen de 1:1 o 1:2.
- El procés de reformació autotèrmic és un cas on el global d'energia tèrmica és neutre. El principal inconvenient que té és que demana una unitat independent de separació d'oxigen, ja que necessita aportar oxigen pur al reactor. Aquestes màquines són cares i industrialment encara no estan perfeccionades, de manera que és molt difícil que aquest procés tingui sortida comercial.
- La reformació amb vapor és la tècnica més utilitzada industrialment. Tot i això, és el cas que allibera CO en majors quantitats, de manera que, al ser tan nociu, s'ha de cremar abans d'expulsar-se a l'atmosfera i, per tant, acaba alliberant CO₂.

ii. A PARTIR DE LA BIOMASSA

La biomassa l'entendem com a tot el conjunt de matèria orgànica. Això inclou el biogas, al qual se li aplica un procés molt similar al del gas natural, i els organismes.

Hi ha alguns organismes, tot i que molt pocs, com ara algues i microorganismes que amb el seu procés de digestió alliberen hidrogen, el qual s'anomena hidrogen biològic. Com que aquests organismes són tan escassos i n'alliberen en poques quantitats, s'ha arribat a modificar genèticament organismes per tal de que alliberin més hidrogen. Això, evidentment, ha donat peu a un dilema ètic.

iii. ELECTRÒLISI

Anomenem electròlisi al procés que descompon l'aigua a partir d'electricitat per tal de separar els components de l'aigua i obtenir oxigen i hidrogen (O₂ i H₂).

Aquest procés és completament responsable amb el medi ambient i no té conseqüències negatives pels ecosistemes. Tampoc té cap tipus d'emissió en la reacció i els aparells no suposen residus tòxics o perillous pel planeta.

Per tal de separar els elements de l'aigua (hidrogen i oxigen), cal subministrar-hi un corrent elèctric de manera que trenqui els enllaços de l'hidrogen. Tenint en compte que la reacció que té lloc n'és una de transferència d'electrons, podem dir que estem parlant d'una reacció de reducció i oxidació (redox).

Per entendre bé què succeeix, cal comprendre alguns conceptes particulars d'aquestes reaccions. La reducció es dona en l'element que guanya electrons, que, al mateix temps, és oxidant, ja que oxida l'altre element. El segon reactiu és el reductor, és a dir, el que és oxidat, que significa que en la reacció ha perdut electrons. En aquest cas, tal com s'explicarà posteriorment, l'hidrogen és l'element oxidat i, per tant, l'oxigen el reduït i oxidant.

En conseqüència, una reacció redox pot separar-se en dues semireaccions: la semireacció d'oxidació i la de reducció. Cadascuna d'aquestes semireaccions només té en compte l'element en qüestió, és a dir, que la de reducció només mira com es comporta l'element que es redueix (l'oxidant), i la d'oxidació el que s'oxida (el reductor).

Per poder dur a terme l'electròlisi, s'ha de disposar d'una pila o bateria de corrent continu a la qual s'hi uniran dos elèctrodes, un a cada pol. Aquests han de ser bons conductors elèctrics i d'un material suficientment estable com perquè no reaccionin amb l'electròlit, concepte explicat més endavant. Normalment són o bé de platí, encara que és poc emprat per culpa de l'elevat cost econòmic; d'acer inoxidable, que s'utilitza pel NaOH com a electròlit; o bé de grafit, si l'electròlit és NaCl. D'aquí es dedueix que el material dels elèctrodes depengui directament de la substància que es posi com a electròlit. L'elèctrode connectat al pol positiu s'anomena ànode, i el connectat al pol negatiu, càtode.

Com que hi ha d'haver corrent, però l'aigua pura és molt mala conductora elèctrica, es necessita una substància que sigui una bona conductora i permeti el pas dels electrons. Així que per tal d'aconseguir que l'aigua condueixi l'electricitat, s'hi ha de dissoldre un solut. Aquest pot ser un àcid, una base o una sal, ja que totes aquestes substàncies compleixen les condicions buscades donat que s'ionitzen, és a dir, que en una dissolució aquosa es dissocien en ions amb càrregues. La substància que dissolem a l'aigua s'anomena electròlit. Si s'hi posés un solut que en reaccionar generés un altre gas que no fos oxigen pur, no podríem recollir O₂

perquè que sortiria per la banda de l'ànode barrejat amb l'altre producte gasós, si és que s'obtingués oxigen com a producte. Tot i això, l' H_2 sí que seria aprofitable, ja que pel càtode només es generaria hidrogen. És per aquest motiu que se sol utilitzar sosa càustica o hidròxid de sodi (NaOH), ja que els productes serien un solut sòlid, de manera que es quedaria en la dissolució (bàsica), i l'oxigen i l'hidrogen gas, de manera que es podrien recollir ambdós gasos.

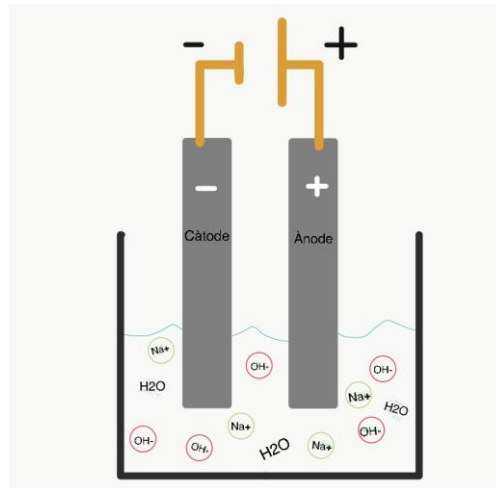


Figura 1: Procés d'electròlisi

Pel que fa al solut o la sosa càustica, els ions d'hidròxid, és a dir anions (OH^-), seran atrets a l'ànode pel principi electroestàtic, que estableix que les càrregues oposades s'atreuen, mentre que les que són iguals es repelen. Així, els cations de sodi carregats positivament (Na^+), seran atrets al càtode.

Tot i això, el que realment interessa és l'aigua. Amb el pas del flux d'electrons, les molècules d' H_2O que entren en contacte amb aquest, trenquen els enllaços d'hidrogen que els unien amb els àtoms.

Al trencar-se els enllaços, queden tres àtoms en forma de ions, dos d'hidrogen com a H^+ , és a dir, protons, i el d'oxigen carregat amb 2 electrons, és a dir, com a O_2^- .

Aleshores, succeeix exactament el mateix que amb els ions de la sal. Els anions són atrets a l'ànode i els cations al càtode. D'aquesta manera, quan els protons van al càtode, és a dir, l'elèctrode carregat positivament, aquest és el que, seguint el sentit del corrent elèctric, allibera els electrons del corrent generat per la bateria a l'electròlit. Quan els electrons

s'uneixen als cations H^+ , aquests completen la seva capa de valència i s'aparellen per formar hidrogen gas, el qual podem recollir.

Els anions, que al mateix temps han estat atrets per l'ànode, són molècules amb una càrrega negativa. Aleshores, com que l'ànode és l'elèctrode amb càrrega positiva, alliberen aquest electró sobrant que torna a la pila inicial a través de l'elèctrode i el cable i, d'aquesta manera, es tanca el circuit elèctric.

La molècula que queda seria "OH", però això és impossible, ja que l'oxigen només té valència -2, és a dir, que ha de tenir sempre dos electrons. Aleshores, el que succeeix és que es trenca l'enllaç però l'electró que pertanyeria a l'hidrogen es queda amb l'oxigen, deixant-lo així com a O sense càrrega. Aquest àtom neutre d'oxigen, per ser estable, s'emparellarà amb un altre per formar oxigen gas, ja que és un gas diatòmic.

El ió H^+ que s'ha format aquí serà atret pel càtode, on succeirà el mateix que amb els altres cations: un electró generat per la pila s'unirà al protó, i aquest àtom d'hidrogen monoatòmic s'unirà a un altre per formar el gas diatòmic.

El principal problema d'aquest procés, tot i ser una font d'hidrogen totalment neta, és que el seu rendiment a gran escala és d'entre el 56% i el 73%, a 25°C. La seva eficiència depèn de la temperatura en què es treballi, la pressió i l'electròlit. Segons aquestes variables l'eficiència s'anirà modificant de la següent manera:

- Reactors electrolítics alcalins, és a dir, que funcionin amb KOH o NaOH: 50-60%
- Reactors fotovoltaics, els quals utilitzen l'energia per iniciar la reacció de la radiació solar, amb una cèl·lula fotovoltaica: 16%. D'aquest procés se'n diu fotoelectròlisi o fotosíntesis artificial.

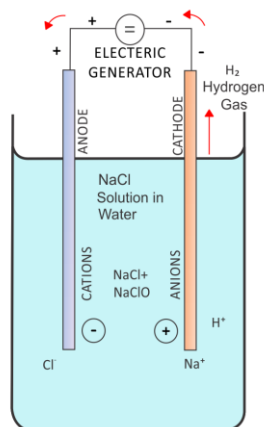


Figura 2: Procés d'electròlisi

iv. ALUMINI

De totes les opcions d'extracció d'hidrogen que s'han plantejat en aquest apartat, aquesta és probablement la menys coneguda, ja que s'obté a partir d'una barreja d'elements de la taula periòdica. Encara que el títol de l'apartat sigui Alumini, aquest no és l'únic element que s'utilitza, ja que per tal d'aconseguir hidrogen l'hem de barrejar amb gal·li, indi, estany i finalment amb aigua. Tot i la diversitat d'elements que es necessiten per fer aquesta reacció, és força senzilla d'entendre.

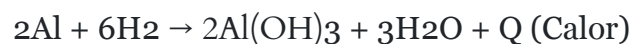
Aquest sistema d'obtenció d'hidrogen és bastant innovador i actualment encara no hi ha cap vehicle terrestre que l'utilitzi, ja que el propòsit d'aquest mètode era aconseguir un sistema de producció d'hidrogen que augmentés l'eficiència i l'autonomia de vehicles subaquàtics, com per exemple els submarins. És per aquest motiu que els mètodes següents no utilitzen oxigen i tenen com a subelement principal l'aigua. A més a més, al ser pensat per un ambient tan hostil com el marí i en una localització amb recursos limitats, els components que formen la bateria i la cèl·lula permeten emmagatzemar el producte de la reacció. Cal afegir que aquest sistema d'obtenció d'hidrogen es pot fer tant a gran com a petita escala, així que és possible tenir un *emergency power pack* que pesa 734g i té una durabilitat de 10h produint hidrogen. Tot i això, també hi ha sistemes que poden donar 84MJ/L, dels quals gairebé el 50% es transforma en calor i la resta en energia potencial en forma d'hidrogen. Cal destacar que amb aquest sistema s'aconsegueix més del doble de volum d'energia que utilitzant un sistema de combustió de dièsel.

Finalment, és important emfatitzar que aquest sistema produeix molt poca contaminació acústica i que redueix el preu de cost de la producció de l'hidrogen.

Per tots els motius que s'han exposat anteriorment, creiem que aquest és el sistema d'obtenció d'hidrogen més adequat per portar a l'Antàrtida, ja que ha estat dissenyat per treballar en climes hostils i extrems, tal com ho és el de la zona on el volem portar. A més a més, com ja s'ha explicat a la introducció, el nostre objectiu és buscar un mitjà de transport que produeixi el menor impacte al seu entorn i aquest sistema de producció d'hidrogen no només utilitza elements molt abundants en el nostre planeta, sinó que a més, en tractar-se d'una reacció exotèrmica, es pot aprofitar aquesta energia calorífica per escalfar els components i la *fuel cell*, la qual ha de treballar en temperatures vora els 20 graus.

Primerament, abans de començar l'explicació de la reacció és important establir les característiques de l'alumini, ja que aquest compon el 98% dels reactius de la reacció. A part de ser l'element més abundant en l'escorça terrestre, l'alumini destaca per la seva lleugeresa (densitat de 2.700 kg/m³), resistència a la corrosió i pel seu baix punt de fusió. La seva resistència a la corrosió és una conseqüència a la capa superficial d'òxid d'alumini (Al₂O₃) que es crea quan aquest element entra en contacte amb l'aire, protegint l'element de l'exterior i evitant, com a conseqüència, la seva corrosió.

Com s'ha mencionat anteriorment, aquest és un mètode bastant experimental i la informació que hi ha és bastant limitada, ja que el comitent d'aquesta investigació va ser l'exèrcit estatunidenc. Tot i això, actualment hi ha diferents models de bateries que funcionen amb aquest sistema i que es basen en la següent reacció invertida:

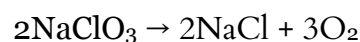
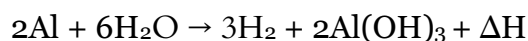


A partir d'aquesta reacció s'han desenvolupat diversos sistemes per tal d'obtenir hidrogen amb aigua i alumini, però tots comparteixen el primer pas que és dissoldre la capa d'òxid d'alumini que té l'element i evita la seva corrosió. És important poder separar aquesta capa, ja que així és possible utilitzar com a alumini les llaunes de refrescos i altres productes, en lloc d'alumini pur, un element costós i difícil d'aconseguir. Per tal d'eliminar aquesta capa, l'alumini ha d'entrar en contacte amb el gal·li, l'indi i l'estany amb unes proporcions d'un 98%

d'alumini i un 2% de la barreja dels altres 3 elements. Aquesta reacció líquida elimina la capa d'òxid d'alumini quan entra en contacte amb el mateix, deixant exposat l'alumini pur. Per tal de diferenciar l'alumini amb capa d'òxid o sense, anomenarem el primer "Alumini" i el segon "Alumini activat", ja que sense la capa és més reactiu.

Com bé s'ha dit al principi d'aquest apartat, l'objectiu inicial d'aquesta tecnologia era millorar l'autonomia dels submarins, per tant, una dels diversos mètodes que s'han desenvolupat en aquest camp inclouen també la producció d'oxigen, ja que per tal de fer funcionar una *fuel cell* d'hidrogen, la bateria que proporcionarà electricitat, es necessita aquest element. Aquest sistema s'anomena *Aluminum-Chlorate Fuel Cell Power System*, ja que a partir de l'alumini s'obté l'hidrogen i amb el clorat de sodi l'oxigen. Encara que aquest sistema inicialment no sembli el més adequat pel nostre vehicle perquè té components que no necessitem, és el que farem servir després de modificar-lo una mica.

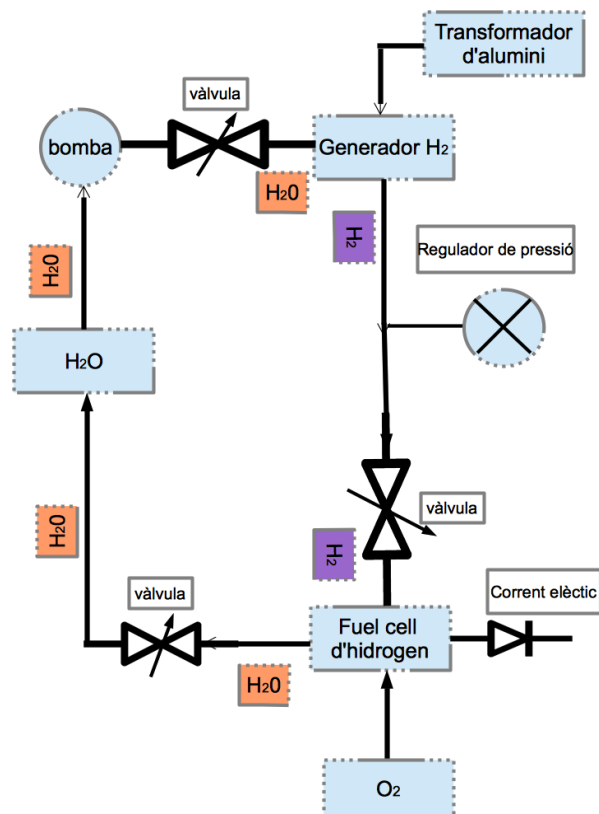
L'*Aluminum-Chlorate Fuel Cell Power System* és un sistema que funciona a partir de dues mitges reaccions, una de les quals és l'encarregada de produir l'hidrogen a partir de la reacció entre l'alumini i l'aigua, com es pot veure en la primera reacció següent, i l'altre s'encarrega de descompondre el clorat de sodi per tal d'obtenir oxigen.



En la primera mitja reacció es duu a terme la producció de l'hidrogen i la transformació de l'alumini en alumini activat. Tot comença quan l'alumini reacciona amb el gal·li, l'indi i l'estany en el transformador d'alumini i el converteixen en alumini activat. Llavors aquest és transferit al generador d'hidrogen, on l'aigua ja hi ha estat afegida anteriorment. Per tal que la reacció entre l'aigua i l'alumini sigui òptima, les proporcions han de ser d'1 a 3 g d'Al per cada 15g d'Al(OH) per cada 50ml d'H₂O, ja que asseguren que la producció d'hidrogen succeeixi en menys de 15 min (en cas de posar 3g d'Al aquesta succeirà en 6 minuts). Un cop aquesta reacció ja ha tingut lloc, el gas és transportat a la *fuel cell*.

Aquesta reacció desprèn energia de dues formes diferents, en calor (un 50%) i en energia potencial en forma d'hidrogen, però malauradament només emmagatzema el segon tipus d'energia, que s'introduirà posteriorment a la *fuel cell* d'hidrogen. Tot i això l'energia calorífica es pot emprar per impulsar un sistema d'acondicionament tèrmic, el qual consisteix en escalfar aigua o un líquid tèrmic que es trobi a l'interior d'un conducte que passi per on es realitza la reacció i fer-lo passar posteriorment pels components, com ara la *fuel cell*, i després per l'habitacle del vehicle per poder mantenir una temperatura adient.

D'altra banda, l'altra mitja reacció sotmetria el clorat de sodi a altes temperatures per tal de separar els seus components i obtenir l'oxigen. Aquesta seria una reacció independent a l'esmentada anteriorment, fet que ens permet eliminar-la del *Aluminum-Chlorate Fuel Cell Power System*, ja que com s'ha mencionat, aquesta part no aporta res en el nostre vehicle, ja que l'oxigen el podem obtenir de l'aire que hi ha a l'exterior del vehicle. És per això, que aquesta serà la part del sistema que modificarem, deixant-lo com el de la imatge següent (Figura 3).



Tal com es pot veure en la Figura 3, el sistema ideal reutilitzaria l'aigua residual de la *fuel cell* i la barrejaria amb l'alumini, completant un cicle tancat (pel que fa a l'aigua, ja que igualment necessitaria recàrregues d'alumini). Però, malauradament, aquest sistema no és 100% eficient i per tant la quantitat d'aigua residual que genera la *fuel cell* és menor a la necessària per fer la reacció. És per això que, encara que el nostre objectiu sigui fer un sistema tancat, ja que així tindria un menor impacte en l'exterior i un major grau d'autonomia, reutilitzarem l'aigua de la *fuel cell* per crear un sistema d'acondicionament tèrmic, la qual finalment serà expulsada a l'exterior. Per tant, s'haurà d'anar reomplint el tanc d'aigua del cotxe així que la reserva se li vagi acabant. En fer un sistema obert en lloc d'un de tancat l'autonomia del vehicle disminueix, ja que no només el fem dependre de l'alumini sinó que també de l'aigua, fets que són un inconvenient en l'Antàrtida, ja que significa que per cada distància hi hauria d'haver una estació on poder recarregar els materials necessaris.

Encara que el sistema que utilitzarem és l'exposat recentment, cal destacar que el mètode més òptim pel nostre vehicle seria l'*Aluminum-Water Primary Battery*, però malauradament avui en dia només serveix per emmagatzemar calor, és a dir, que l'hidrogen és considerat un residu i es llença a l'exterior. Tot i això, creiem convenient mencionar aquest sistema vist que en un futur podria desencadenar en una bateria productora d'hidrogen, si aquest fos el seu objectiu.

b. FUNCIONAMENT DE LA PILA D'HIDROGEN

Les piles d'hidrogen es basen en el fenomen de l'electròlisi inversa. De la mateixa manera que l'electròlisi consisteix en la separació dels elements de l'aigua aplicant electricitat, la inversa es basa en la unió d'hidrogen i oxigen per tal de formar aigua i alliberar electrons que, controlats i fets passar per un cable, generen electricitat.

¹ Sistema presentat en l'article *Aluminum-Water Energy System for Autonomous Undersea Vehicles*, juntament amb un esquema explicatiu del procés

En aquest cas, l'ànode és la banda per on entra l'hidrogen gas i el càtode la de l'oxigen gas. Cada elèctrode compta amb una membrana polimèrica.

L'hidrogen gas entra a pressió a la pila. En entrar en contacte amb la membrana polimèrica de l'ànode, aquesta filtra els protons, que com ja s'ha esmentat prèviament, és possible gràcies a la seva alta conductivitat de protons. En dissociar-se els dos àtoms d'hidrogen, com que en estat elemental tenen un electró cadascun, alliberen dos electrons per cada molècula, ja que és un element diatòmic. Com que l'ànode està connectat a un circuit, aquests són recollits pel cable i el moviment dels electrons per un cable generarà el flux que anomenem electricitat.

Aquests cations hidrogen (H^+), o senzillament protons, circulen a través de l'electròlit fins a l'altra membrana polimèrica.

Al càtode s'hi fa arribar un flux d'oxigen gas. En arribar a la zona del càtode, els electrons que havien passat pel cable provinents de l'ànode, que originalment eren d'àtoms d' H_2 , trenquen els enllaços covalents dobles de les molècules d' O_2 per deixar dos àtoms en forma O_2^- , és a dir, àtoms d'oxigen monoatòmic amb dues càrregues negatives.

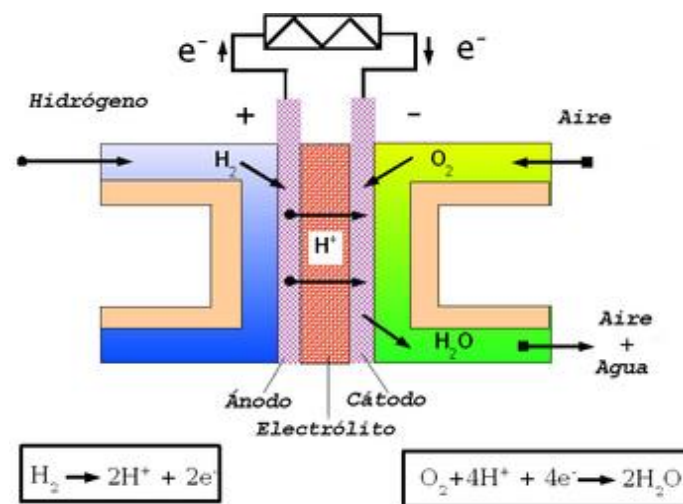


Figura 4: Funcionament Fuel cell

Quan els cations d'hidrogen travessen la membrana polimèrica del càtode, a l'altra banda s'uneixen als anions d'oxigen tot agafant, cada àtom d'hidrogen, un electró per poder formar l'enllaç, formant així les molècules d'aigua.

Reaccions:

- $2 \text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$
 - $2 \text{H}_2 \rightarrow 4 \text{H}^+ + 4\text{e}^-$
 - $\text{O}_2 + 4\text{e}^- \rightarrow 2 \text{O}^{2-}$

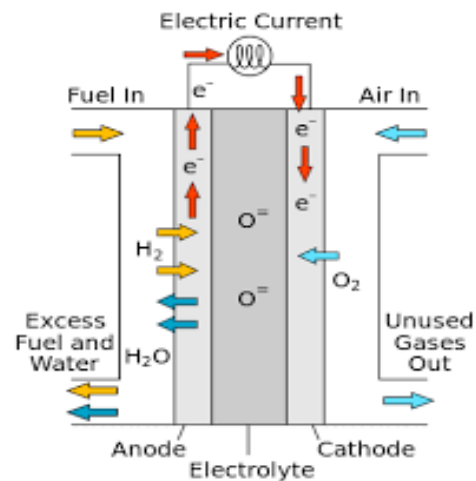


Figura 5: Procés d'electròlisi inversa

7. FUNCIONAMENT DEL VEHICLE

a. MOTOR

El motor d'un cotxe és l'encarregat de transformar l'energia en moviment. Aquest treballa gràcies a altres components que modifiquen la matèria i que per tant són essencials per assegurar la seva òptima funcionalitat.

Actualment al mercat hi ha diferents tipus de motors, però com que el nostre és elèctric només explicarem les parts d'aquest.

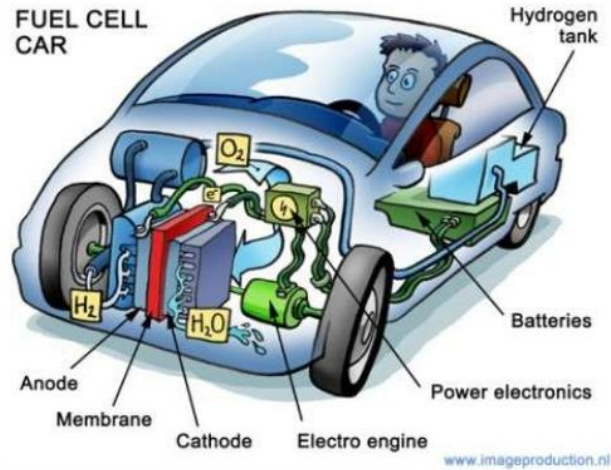


Figura 6: Cotxe d'hidrogen

Com es pot veure en la imatge anterior (Figura 6), el motor funciona a partir d'una pila de combustible, la qual anomenarem *fuel cell* que és l'encarregada de transformar l'hidrogen i l'oxigen en aigua i electricitat. Els dos elements necessaris per fer funcionar aquest sistema s'obtenen a través d'un dipòsit d'hidrogen, que emmagatzemarà l'hidrogen obtingut de la reacció de la *fuel cell* d'alumini que disposa el mateix cotxe, i de l'oxigen que hi ha a l'aire exterior, el qual abans d'entrar en el sistema serà purificat. Pel que fa a l'electricitat i l'aigua que s'obté en aquest procés cal destacar que el primer element serà el residu que produirà el cotxe i s'expulsarà pel tub d'escapament, mentre que el segon, és a dir, l'electricitat entrarà en un procés molt semblant al que fa l'electricitat en els cotxes elèctrics.

Com passa en la majoria de cotxes elèctrics, hi ha més components a part de la bateria i el motor i, encara que en dissenyar un cotxe que funcioni a partir d'hidrogen aconseguim eliminar alguns components, n'hi ha alguns que encara hem d'utilitzar com ara un inversor o un transformador.

La bateria que s'utilitza normalment en els vehicles de transport és una d'ions de liti que emmagatzema l'energia provinent del carregador en forma de corrent continu, sent aquesta l'encarregada d'alimentar tot el cotxe. En cas que el motor funcionés amb un corrent altern hauríem d'afegir un inversor a la sortida d'aquesta perquè la transformés.

A diferència dels vehicles de combustió interna, que funcionen cremant combustible, els que utilitzen un motor elèctric obtenen una energia elèctrica que consumeixen durant el seu

desplaçament. El motor elèctric és l'encarregat de transformar l'energia elèctrica que s'ha emmagatzemat a la bateria i que s'ha obtingut anteriorment a la *fuel cell* en energia mecànica, que serà la que farà moure els eixos que provocaran el posterior moviment de les rodes.

Com ja s'ha mencionat anteriorment, en un sistema perfecte el motor i la bateria d'un vehicle haurien d'estar connectades, sense cap aparell intermediari al mig. Però, malauradament, l'energia elèctrica que la *fuel cell* proporciona no és suficient per fer funcionar els motors del cotxe per si sola, així que entre la cèl·lula i el motor hi ha d'haver un regulador elèctric, que és un sistema compost per un inversor i un transformador. Normalment aquest sistema també té un rectificador, però aquest només és necessari si es vol utilitzar l'energia del motor per recarregar la bateria.

Un inversor és l'aparell encarregat de transformar el corrent continu que s'obté de la *fuel cell* en el corrent altern que es necessita pels motors. Aquest aparell és només necessari en el cas que la *fuel cell* utilitzada sigui de corrent continu, però actualment existeixen models que et proporcionen corrent altern o continu, així que aquest aparell podria deixar de ser útil en cas d'utilitzar la *fuel cell* adequada.

D'altra banda, el transformador és l'encarregat d'ajustar el voltatge. Actualment, la majoria de motors elèctrics acostumen a funcionar amb un voltatge de 600V, un nombre que supera el màxim voltatge que pot arribar una *fuel cell*.

Finalment, abans d'arribar al motor també ens trobem un controlador, que és tot el conjunt dels sistemes que transporten les ordres del conductor al motor. És a dir, que si el conductor desitja accelerar o frenar, aquest aparell serà l'encarregat de fer que el motor funcioni segons aquestes ordres. El desenvolupament dels sistemes electrònics que s'han dut a terme en els últims anys han ajudat en la creació i la perfecció dels cotxes amb motors elèctrics, augmentant la seva seguretat i autonomia, ja que en aquest sistema també entren en joc les noves tecnologies com la frenada d'emergència en cas d'apropar-se molt a un altre vehicle.

Un cop l'electricitat ha passat per tots aquests sistemes, arriba finalment al motor. Els motors elèctrics funcionen a partir d'una rotació electromagnètica que va descobrir Faraday. Aquest mètode es basa en l'atracció o la repulsió que creen dos imants depenen de l'alineació dels

seus pols. En un motor elèctric s'utilitza l'electricitat per crear camps magnètics que s'oposin entre ells, provocant així un moviment del rotor respecte a l'estator, la part estàtica del motor.

El rotor és la part del motor que conté una bobina, la qual crea un camp magnètic longitudinal fix gràcies a imants permanents. Aquest camp magnètic és l'oposat al de l'estator i és per aquest motiu que el rotor el mou dins de l'estator.

El causant del moviment del rotor és l'atracció entre els pols, que crea moviment en la direcció desitjada. Si seguíssim aquesta teoria, arribaríem a la conclusió que en algun punt aquests dos imants s'aliniarien i farien que el rotor es deixés de moure. És per això que per tal d'evitar que el motor deixi de funcionar (que el rotor s'aturi) es connecten les bobines a un col·lector rotatiu, el qual aconseguix que l'estator i el rotor mai estiguin alineats i es segueixin movent.

Encara que la base dels motors elèctrics sempre sigui la mateixa, existeixen diferents models que alteren les seves característiques i el fan més o menys aptes per diferents tipus de vehicles. Això provoca que avui en dia hi hagi una gran varietat de motors i formes de classificar-los, anant des del corrent que utilitzen fins a les característiques d'aquest. És per això que hem decidit estudiar els 5 models més comuns del mercat actual i decidir quin coincideix amb les demandes del nostre cotxe.

	2 rodes	4 rodes	Alta densitat de potència	Condicions climàtiques	DC	AC	Eficiència	Manteniment	Altres
DC Series Motor					X			alt	<ul style="list-style-type: none"> motor de tracció
Brushless Motor	X		X		X		95-98%	baix	<ul style="list-style-type: none"> característiques d'un motor de tracció punt alt d'inici del parell motor
Permanent Magnet Synchronous Motor	X	X	X				88-95,8 %	mitjà	<ul style="list-style-type: none"> característiques d'un motor de tracció

									<ul style="list-style-type: none"> • Molta energia
Three phase AC induction motor	X	X				X	84-94%	baix	<ul style="list-style-type: none"> • baix preu
Switched Reluctance Motor			X	pot suportar altes temperatures	X		+ o - 90%	mitjà	<ul style="list-style-type: none"> • alta velocitat d'acceleració • Fa soroll

Taula 1: Motors elèctrics

El motor més adequat pel nostre vehicle seria el que no té escobretes, ja que a part de reduir pes del motor, també augmenta el rendiment respecte a un motor amb escobretes, ja que el fregament i la calor que desprèn disminueixen i és més silenciós. A més a més s'allarga la seva durabilitat i necessita menys manteniment, factors que creiem necessaris a l'hora de portar un cotxe a l'Antàrtida. Encara que inicialment aquest motor només s'utilitzava en cotxes híbrids, actualment el seu ús s'ha desplaçat als elèctrics. Malauradament, aquest motor només està disponible per vehicles molt lleugers o de només dues rodes, fet que el fa inviable pel nostre projecte, ja que necessitem un motor que pugui ser utilitzat per moure vehicles més pesants. Per aquest motiu, la nostra elecció ha sigut un motor síncron amb imants permanents, ja que a diferència de l'altre motor que també està disponible per moure vehicles de 4 rodes, el seu grau d'eficiència és més alt i té una mida més petita. Tot i això, el motor de 3 fases té un nivell de manteniment més baix, característica que seria útil a l'Antàrtida, però com que el motor síncron té un manteniment dins de la mitjana, tampoc creiem que pugui perjudicar el nostre projecte.

b. SISTEMA DE DIRECCIÓ

El sistema de direcció d'un vehicle és el conjunt d'elements que li permet modificar la seva trajectòria per tal d'aconseguir el rumb desitjat. El sistema de direcció és diferent per cada vehicle, ja que s'adapta a les condicions d'aquest. Podem generalitzar els sistemes en tres grups, encara que hi ha algunes excepcions:

En primer lloc es troben els sistemes de direcció que fan que la roda canviï el seu angle, és a dir la seva orientació, que s'utilitza sobretot en automòbils. En el cas de les motocicletes, en canvi, aquest sistema es basa en la reducció del perímetre de la circumferència de la roda. Finalment, l'últim cas general seria de les cadires de rodes o els transports que utilitzen les rodes-eruga, ja que aquestes giren a partir d'una diferència entre les velocitats de les dues rodes.

En els vehicles on el sistema de direcció es basa en el canvi d'orientació de les rodes, com és en el cas dels cotxes convencionals, el conductor és l'encarregat de canviar l'angle de deriva (l'angle entre el pla de la roda i la seva trajectòria) a través del volant. És important destacar que l'encarregat de fer moure el vehicle és la força que es crea entre la carretera i l'eix que fa girar el vehicle.

Tot i això, per tal d'assegurar la màxima eficàcia d'aquest sistema, les rodes del cotxe han d'estar perfectament alineades i els eixos han de ser paral·lels entre ells. És importat tenir en compte la geometria d'aquests components, ja que són els encarregats d'assegurar l'adherència dels pneumàtics en l'asfalt i que puguin rodar de manera òptima. A més a més, amb una bona posició del vehicle es redueix el desgast de les rodes i millora el seu rendiment. En afavorir el funcionament de les rodes, aquestes requereixen un menor combustible i per tant, no només s'estalvien diners sinó que també redueixen les emissions de CO₂.

El sistema de direcció d'un automòbil varia segons les rodes i les dimensions del mateix.. Com que el nostre objectiu és fer un cotxe per l'Antàrtida, els seus pneumàtics no podran ser els convencionals, sinó que seran els coneguts eruga, ja que són els més adequats per un medi gèlid i ple de neu com és l'Antàrtida. Els vehicles que tenen aquestes rodes no acostumen a portar volants de direcció (el sistema encarregat de variar l'angle de les rodes), sinó que utilitzen un parell de palanques que actuen sobre els frens dels paliers, els quals aturen el moviment d'un costat del cotxe per tal de permetre efectuar el gir. En altres paraules, el cotxe que nosaltres proposem funcionaria a gràcies al tercer sistema de direcció que s'ha explicat anteriorment.

C. FUNCIONAMENT GENERAL

El nostre treball de recerca consisteix en un cotxe d'hidrogen, és a dir un automòbil que en lloc de tenir un motor que crema combustible fòssil té una pila de combustible que transforma l'hidrogen i l'oxigen en aigua i electricitat, en un procés anomenat electròlisi inversa, explicat en profunditat a l'apartat 4.b.Principi de funcionament de la pila. Com que d'aquest procés s'obté electricitat, el motor del vehicle serà elèctric.

Els passos del funcionament d'un cotxe d'hidrogen són:

1. El cotxe es carrega amb hidrogen, que s'emmagatzema al tanc d'hidrogen. Aquest procés és igual que al dels cotxes de gasoil o dièsel actualment, canviant el combustible per un gas.
2. L'hidrogen és transportat a la *fuel cell*, al mateix temps que l'oxigen purificat de l'exterior s'introdueix a la mateixa pila.
3. La *fuel cell* uneix aquests dos elements i els converteix en aigua i electricitat, és a dir, que fa l'electròlisi inversa.
4. L'aigua és expulsada a l'exterior a partir d'un tub d'escapament..
5. Simultàniament amb el punt 4, l'electricitat és conduïda al motor on serà transformada en energia cinètica
6. L'energia cinètica provoca la rotació els eixos de les rodes i les fa moure, provocant el desplaçament del vehicle.

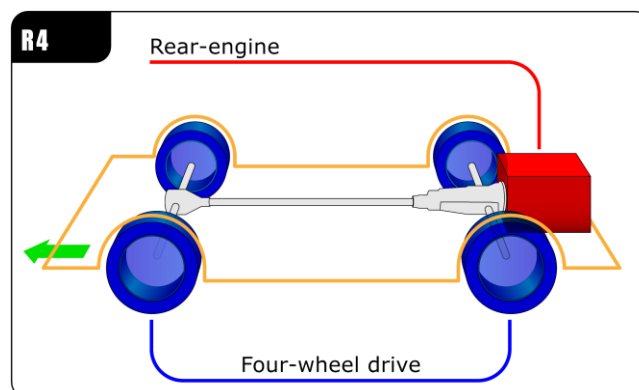


Figura 7: Representació del sistema de transmissió d'un vehicle de tracció a les 4 rodes.

El moviment creat pel motor es transmet a partir d'un sistema d'engranatges i manovelles fins al diferencial, on es distribuirà el moviment a les dues rodes segons les necessitats de cada una. Els cotxes poden ser de tracció de 4 rodes, és a dir, totes les rodes del cotxe reben moviment i se'ls el distribueix segons la necessitat; o de 2 rodes, les quals poden ser les anteriors o les posteriors.

Aquest seria el funcionament estàndard d'un cotxe d'hidrogen, però el nostre vehicle no és un cotxe d'hidrogen convencional, ja que en lloc de rebre el gas des de l'exterior ell mateix el produirà utilitzant una *fuel cell* d'alumini. Amb aquest canvi que nosaltres proposem, els únics materials que s'haurien d'afegir al vehicle serien aigua i alumini, ja que són els dos components que reaccionen i es consumeixen. Aquests materials serien els responsables que el sistema d'alumini funcionés i produís l'hidrogen necessari per fer funcionar la *fuel cell*. A partir d'aquest pas, el vehicle ja funcionaria com un cotxe d'hidrogen qualsevol.

8. COMPONENTS DEL VEHICLE

Un cotxe és un vehicle amb la funció de transportar reduïts grups de persones, entre 2 i 7, i que està format per una estructura en la qual s'hi troben els seients. Aquesta és sostinguda per quatre rodes que actualment es mouen gràcies a un o diversos motors.

En l'actualitat podem categoritzar els cotxes seguint diferents criteris, com ara el d'eficiència energètica o el del tipus de motor. Independentment de la seva categoria, tots els cotxes segueixen unes característiques semblants, com ara la seva estructura, materials o funcionament general.

a. ESTRUCTURA GENERAL

L'estructura externa dels cotxes, exceptuant alguns models, és bastant semblant, ja que el disseny més aerodinàmic i l'interior més còmode són algunes de les característiques que totes les marques busquen, fent així més similars els exteriors dels seus vehicles.

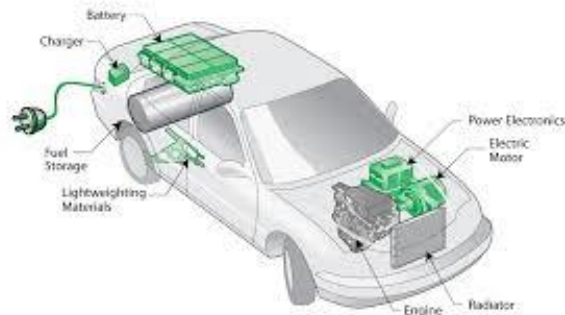


Figura 8: Estructura esquemàtica d'un vehicle elèctric

En la imatge anterior (Figura 8) podem veure la posició dels elements principals i generals d'un cotxe, com ara on són els retrovisors o la calandra. Cal destacar que aquesta imatge és orientativa i per tant la posició d'alguns elements pot variar segons la seva marca o el país on s'ha distribuït: per exemple, en el cas dels cotxes híbrids que tenen dos motors, un se situa a la part davantera del cotxe i l'altre a la part posterior del vehicle.. El conjunt de les parts exteriors del cotxe les classificarem en l'estructura externa, ja que són els components més visibles del cotxe. D'altra banda, totes aquelles que estan sota el capó les anomenarem estructura interna, ja que són les encarregades d'assegurar el funcionament del cotxe.

Encara que la imatge presentada sigui d'un cotxe convencional, el nostre vehicle serà un *snowcat*. Tot i això hem cregut que aquesta representació dels components d'un vehicle era bastant il·lustrativa per fer-se una idea del posicionament dels components i de l'estructura general dels vehicles, ja que en tots la base és la mateixa, sense importar si són un *snowcat*, un cotxe o una furgoneta.

i. ESTRUCTURA EXTERNA

Com ja hem mencionat anteriorment, aquesta categoria inclou tots aquells elements que es veuen a simple vista i que no tenen un impacte directe en el funcionament del cotxe. D'aquesta categoria ens centrarem en els materials que componen aquestes parts, per tal de determinar el seu impacte mediambiental i en el funcionament del cotxe.

El xassís d'un cotxe és l'estructura que sosté la carrosseria i que aporta rigidesa i forma al vehicle, es podria dir que és l'esquelet del cotxe. És l'encarregat de sostenir el pes del vehicle i condiciona la seva dinàmica final. Tal com hem dit, sosté la major part del cotxe, com per exemple les parts mecàniques del motor, la suspensió, el sistema d'escapament i la caixa de direcció. A causa de ser l'element bàsic per sostenir el cotxe, és considerat el component més significatiu d'un automòbil.

Aquesta estructura es pot fabricar a partir de diferents materials, depenent de la rigidesa que es busca, la categoria del vehicle o el pressupost del qual es parteix. Tot i això, els més habituals són l'acer o l'alumini. Les formes que componen l'estructura són formes de tub o de bigues. Cal destacar que en alguns casos el xassís és la mateixa carcassa que recobreix l'element i conseqüentment no és necessari afegir-hi més rigidesa.

Encara que haguem explicat aquest element, cal puntualitzar que cada cop hi ha menys cotxes que duen un xassís en sí, a causa de l'evolució de la indústria.

La carrosseria d'un cotxe és l'estructura que es recolza sobre el bastidor i que conté els passatgers. Aquesta estructura també és l'encarregada de guardar el motor i diverses parts mecàniques del vehicle. Les carrosseries es poden categoritzar en diversos grups, depenen de la seva forma o volum, entre altres.

El material predilecte per fer aquesta estructura és l'acer pel seu preu i disponibilitat. Això sí, tot i ser la majoria de carrosseries d'acer, la qualitat d'aquestes pot variar considerablement a causa del pressupost.

És important analitzar breument els problemes que presenta normalment aquesta estructura, ja que en cas de canviar o modificar el material del que està feta s'haurien de tenir en compte els possibles problemes que comportaria. En primer lloc, a causa del seu material, l'estructura pot patir una oxidació, que normalment succeeix quan el vehicle està mal cuidat o com a conseqüència de la climatologia de la zona. A més a més, l'acer és un material que es deforma en casos de col·lisió. Tot i ser un problema, ja que representa la reparació de l'estructura, aquest darrere inconvenient és també un avantatge perquè amortitza l'impacte i protegeix els passatgers.

Més enllà de la carrosseria o el xassís, ens trobem altres elements que recobreixen el cotxe, com ara les finestres, que tenen com a material principal el vidre o els pneumàtics, que destaquen per les seves llantes d'alumini i l'embolcall de plàstic.

Finalment també s'ha de destacar que a l'interior del cotxe hi trobem elements com la tapisseria dels seients o el volant, entre altres. Gairebé cap dels elements destaca per la seva funcionalitat a l'hora de fer moure el cotxe, però són un element essencial per assegurar l'èxit del vehicle, ja que són aquests elements els encarregats d'oferir la comoditat que el client busca.

Com s'ha mencionat anteriorment, el nostre vehicle serà un *snowcat*, és a dir, un vehicle apte per ser conduït en climes freds gràcies a les seves rodes-erugues. Tot i això, l'estructura explicada anteriorment també és aplicable al nostre vehicle, ja que l'estructura externa d'un vehicle té un impacte gairebé nul a l'hora d'avaluar si un vehicle és o no apte per un clima específic.

ii. ESTRUCTURA INTERNA

Dins d'aquesta categoria hi hauria tots els components que tenen un paper actiu en el funcionament del cotxe, com ara el motor o la bateria. Tots aquests elements acostumen a estar situats sota el capó i/o els seients dels passatgers, segons les seves dimensions o funcions.

Tots els elements que formen part d'aquest grup són els que s'han explicat anteriorment a l'apartat 7 - Funcionament d'un vehicle.

b. RODES

Com ja s'ha mencionat anteriorment, el nostre treball està enfocat per fer un cotxe apte per l'Antàrtida, i per tal d'assolir aquest objectiu, les seves rodes han de tenir la màxima eficiència en aquest ambient. És per aquest motiu que, degut al clima de la zona, hem cregut convenient utilitzar les conegudes rodes-eruga enlloc de les rodes convencionals recobertes amb un pneumàtic.

Com s'ha anat mencionant al llarg del projecte, el nostre objectiu és crear un cotxe que pugui ser conduït per l'Antàrtida, i per tal d'aconseguir-ho, el vehicle ha d'estar adaptat a les baixes temperatures i al terreny. Per aquest motiu, les rodes hi juguen un paper molt important, ja que seran les encarregades de determinar si el vehicle s'adhereix adequadament al terreny i si la fricció que provoca amb el mateix és la desitjada.

Actualment, en un terreny ple de gel i neu com ho és el de l'Antàrtida, es poden utilitzar tant uns pneumàtics adaptats a aquestes condicions com les rodes-erugues. Les erugues s'utilitzen normalment en construccions i terrenys poc adequats per a la conducció, ja que tenen un baix impacte en el terreny i la seva adherència amb el sòl és més elevada que en altres sistemes. Encara que els dos elements siguin efectius hi ha un seguit de diferències que s'han de tenir en compte quan es fa la tria. Per tal de fer-la, hem buscat quina opció ens oferiria la millor tracció, mobilitat i eficiència en el terreny.

Des d'un punt de vista de tracció, els pneumàtics serien una millor elecció si el terreny en qüestió estigués a dins de les condicions climàtiques habituals, però malauradament estem parlant d'un terreny amb un clima extrem, el qual provoca que el terreny estigui ple de neu i, per tant, que els pneumàtics s'enfonsin en aquesta superfície relativament tova. És per aquest motiu, que com el nostre terreny destaca pel gel i la neu, les rodes-erugues són la millor opció, ja que la seva major superfície de contacte permet que la seva tracció sigui més gran a la dels pneumàtics en gairebé qualsevol terreny, independentment de si les seves condicions són favorables o no. A més a més, aquesta millora en la tracció normalment també es pot veure reflectida a la maniobrabilitat del vehicle.

D'altra banda, una de les diferències entre aquests dos elements és l'impacte que tenen en el terra. Mentre que els pneumàtics acostumen a malmetre el terreny a causa de l'alta pressió que les rodes posen a terra (tenen menor superfície de contacte), les rodes-eruga tenen un menor impacte en el terreny, ja que la seva ampla superfície permet que el pes es distribueixi equitativament.

Finalment, si ens fixem en la durabilitat del vehicle, els pneumàtics serien la millor opció, ja que les rodes-erugues es fan malbé després d'estar en constant contacte amb l'asfalt. Tot i això, com que el nostre no ha de circular per cap carretera o autopista hem decidit esbrinar la fiabilitat del producte basant-nos en quin és més probable de durar més si s'usa en l'ambient adequat. Aquest criteri ens ha fet arribar a la conclusió que les rodes-erugues serien la millor opció, ja que els pneumàtics es poden punxar i necessiten més manteniment a causa de la pressió d'aire que s'ha de mantenir a dins d'aquest.

En acabar aquesta recerca, podem concloure que pel projecte que nosaltres volem construir les rodes-erugues són la millor opció, encara que si el terreny on s'utilitzés tingués unes característiques diferents, probablement els pneumàtics serien la més adequada.

Una roda-eruga, o com l'anomenarem d'ara endavant, roda és una part del sistema de tracció d'alguns vehicles que es compon per una cinta metàl·lica articulada que ajuda a millorar l'adherència del vehicle amb el sòl. Encara que actualment hi hagi diversos models i sistemes, tots estan construïts a partir d'una base molt similar i depenent de la posició o disseny d'aquestes les característiques de la roda variaran. Totes les rodes-eruga estan formades per almenys 6 elements (Figura 9), 5 dels quals tenen una forma circular i estan situats a la part interior del sistema: 3 rodes motrius (1-4-5 en la imatge), la davantera, la darrera i la de rodament, que són les encarregades de fer que el sistema es desplaci; un tensor (6); un corró de retorn (3); i finalment l'eruga (2), que seria la cinta que envolta tots els components anteriors.

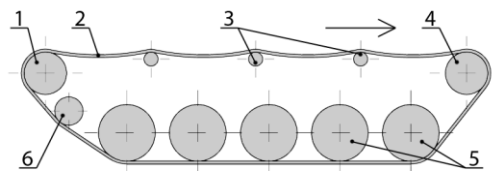


Figura 9: Esquema de la distribució de les articulacions de l'eruga

Actualment existeixen diversos models de rodes-erugues, depenent de les seves característiques i funcionalitat en els terrenys: les podem trobar en dos tipus de sistemes diferents. Pot ser que funcionin amb dos sistemes paral·lels de quatre erugues (com a la imatge 7), donant així més possibilitat de moviment, o bé amb un únic sistema d'erugues paral·leles (igual que a la imatge 6):



Imatge 6: Snowcat amb sistema de dues erugues



Imatge 7: Snowcat amb sistema de quatre erugues

L'opció de posar 4 erugues suposa un gran avantatge respecte l'altre mètode, perquè és més àgil i pot moure's per desnivells més grans i abruptes, ja que al tenir més divisions a la superfície de contacte, s'agafa millor al passar desnivells. Com s'observa en la imatge següent (Imatge 8), la qual és d'un vehicle amb 4 rodes-erugues, es pot apreciar una gran separació entre les rodes que comporten un augment en la mobilitat del conjunt.



Imatge 8: vehicle amb sistema de dues erugues

L'inconvenient d'aquest sistema és que és menys estable que els de només dues erugues i generalment té menys potència.

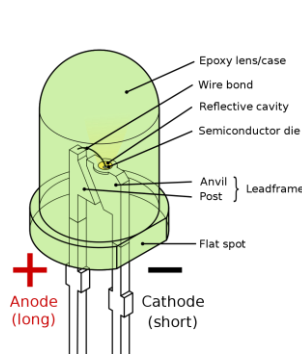
El model d'eruga que més s'adapta a les nostres necessitats és el model EZ màxim, ja que tot i no ser una roda contínua, et proporciona una gran superfície que, a part de reduir la pressió del vehicle a terra, també li permet moure's per sobre la neu. Ho fa de forma similar a uns esquís: en termes de pressió, ambdues tecnologies utilitzen una superfície més ampla per reduir la pressió i no enfonsar-se en la superfície tova. A més a més, aquest model pot treballar òptimament en unes temperatures d'entre -40° i $+54^{\circ}$ C, i el pes recomanat que pot moure és de 1587 kg i el seu pes és d'aproximadament 88 kg.

Aquest model de rodes només és adequat per les rodes posteriors d'un vehicle i és per això que les altres rodes serien les EZ UTV, ja que són les més similars a les EZ màxim i poden ser utilitzades en qualsevol posició del vehicle. La diferència més destacable entre aquests dos models a part de les seves dimensions, ja que l'UTV és considerablement més petita, és el seu pes, ja que tot i poder aguantar el mateix pes, les EZ UTV només pesen 66.5 kg.

c. LLUMS

Com és evident, un vehicle ha de comptar amb un sistema d'il·luminació tant de l'exterior com del seu interior. En aquests temps, l'opció més lògica per crear aquest sistema és fer-ho mitjançant llums leds, ja que consumeixen menys energia i són més luminescents i fiables.

Una llum led és un material semiconductor tancat dins d'una petita lent de plàstic. Quan es fa passar corrent elèctric de baixa tensió per aquest material, es produeix la llum.



LED

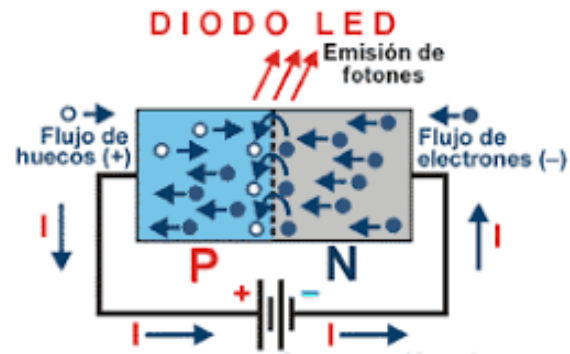


Figura 10: Díode LED

Figura 11: Funcionament

9. IMPACTE MEDIAMBIENTAL

a. ESTUDI MEDIAMBIENTAL DE L'EMISSIÓ D'AIGUA A L'ATMOSFERA

Un terme científic molt sonat aquests temps de distòpia ambiental és el de l'escalfament global, causat per l'emissió excessiva de gasos d'efecte hivernacle. L'efecte hivernacle no és quelcom que haguem creat els humans ni tampoc és una conseqüència del nostre pas per la terra, sinó que és una de les raons principals per les que existeix la vida en aquest planeta. Quan els raigs del Sol arriben a la Terra, xoquen contra l'atmosfera i es produeix tant una refracció com una reflexió: hi ha raigs que penetren fins a l'escorça terrestre i n'hi ha d'altres que es reboten i es perden per l'univers. Aquests raigs, un cop dins l'atmosfera, aporten llum i calor. Els gasos d'efecte hivernacle de l'atmosfera absorbeixen la calor i creen una temperatura mitjana a la Terra d'uns 15 graus centígrads. Sense aquests gasos la vida a la terra seria impossible, ja que la temperatura mitjana seria d'uns -20 graus centígrads. Per tant, aquests són fonamentals, però com tot, res en excés és bo. L'emissió de diòxid de carboni de manera massiva fa que en absorbir la calor, el planeta es vagi escalfant més ja que, a l'haver-hi una concentració més alta d'aquests gasos, els rajos reflectits a la superfície terrestre no poden tornar a sortir cap enfora perquè es queden atrapats en aquests gasos.

El vapor d'aigua, juntament amb el diòxid de carboni (també elemental per a la vida perquè les plantes el necessiten per fer la fotosíntesi) i el metà, són els gasos d'efecte hivernacle més importants. El possible problema que podria desencadenar la massiva emissió de vapor

d'aigua és que s'arribés a tergiversar el clima o es modifiqués d'alguna manera. Això podria fer que els índex d'humitat del planeta canviessin i, amb aquest canvi, els ecosistemes anirien patint conseqüències com pot ser la no adaptació de la flora i la fauna a aquestes noves condicions meteorològiques.

El vapor d'aigua que conté l'atmosfera és el principal gas d'efecte hivernacle natural del planeta, però aquesta humitat pot canviar degut a l'escalfament global i a la vegada influir en la dinàmica d'aquest. Molts grups científics estan pendents de l'evolució del nivell d'humitat de l'aire per la seva influència determinant en la distribució de les precipitacions i dels cicles tropicals, així com tot el que té a veure amb la hidrologia terrestre. Molts ecosistemes i moltes cultures es veuran altament afectades pel canvi de precipitacions ja que les espècies han evolucionat entorn a les condicions d'una zona concreta. També es parla d'un possible desplaçament de climes on els climes freds acabin sent substituïts pels càlids, fet que representa un gran problema ja que es podria perdre molta part de la biodiversitat dels climes freds.

b. SISTEMA DE CONDENSACIÓ PER EVITAR L'EMISSIÓ DE VAPOR D'AIGUA

Aquests estudis s'han de tenir en compte a l'hora de proposar un mitjà de transport el residu del qual sigui vapor d'aigua.

El prototip de mobilitat impulsada per hidrogen que nosaltres plantejem no és zero emissions, emet vapor d'aigua que, en petites quantitats i amb el nombre de vehicles d'aquests tipus que es mouen pels carrers, no presenta cap mena de problema. Tot i això, les complicacions podrien sorgir a base de la implementació en massa d'un vehicle amb aquestes característiques. Per prevenir aquest problema plantejem un sistema de refrigeració de l'aigua perquè aquesta no acabi essent emesa a l'atmosfera. Una subhipòtesi referent a aquest assumpte és: Seria eficaç i/o viable un sistema de refrigeració per a eliminar les emissions de vapor d'aigua?

El terme 'refrigerar' es pot referir simplement a refrigerar-la i deixar-la anar en estat líquid o bé emmagatzemar-la. El problema principal és la font d'energia que refrigera l'aigua: aquesta

contribueix a crear un cost energètic addicional. Un altre problema és el d'emmagatzemar l'aigua, i és que a mesura que el vehicle progressi i faci quilòmetres, el sistema de refrigeració anirà condensant el vapor, i l'aigua creada serà conduïda a un dipòsit. Aquest dipòsit ocuparia un espai físic en el vehicle i també faria que augmentés de pes mesura que circula: el vehicle tindria un pes variable, aniria variant segons els litres d'aigua condensada tingui en el dipòsit. Això planteja que cada vegada que el vehicle augmentés de pes, també estaria augmentant el seu consum d'hidrogen i com a conseqüència, disminuiria l'autonomia del vehicle.

10. ANTÀRTIDA: CONDICIONS CLIMÀTIQUES DE L'ANTÀRTIDA

Com és sabut, l'Antàrtida és l'indret més hostil del planeta: s'hi han enregistrat les temperatures més baixes, els períodes ventosos més llargs i més durs i és un clima extremadament sec.

La temperatura recollida més baixa de la història va ser a l'Antàrtida l'any 1983, de -89.2°C . Tot i això, el 2010 van deduir, mitjançant satèl·lits i la radiació espectral, que va haver-hi una temperatura de -93.2°C . La temperatura més alta registrada a l'Antàrtida va ser a la península Antàrtica (Argentina), i fou de 17.5°C .

A les zones costaneres, la temperatura mitjana al llarg de l'any és de -10°C , mentre que a l'altiplà interior són de vora els -55°C . Als mesos d'estiu, la temperatura és sempre inferior als 0°C , excepte al mes de gener, que pot arribar ser de 3°C amb facilitat.

D'altra banda, la zona interior de l'Antàrtida és considerada un desert ja que ho són totes les zones amb precipitacions inferiors a 250 mm d'aigua a l'any. Aquest continent (segons la zona) té una mitjana de 50mm d'aigua a l'any. Tot i això, la precipitació mitjana en tot el territori és de 166 mm d'aigua a l'any, però això no canvia el fet que sigui un clima extremadament sec.

L'Antàrtida està coberta per una capa de gel, que de mitjana té 1.6 km de gruix. Aquest continent desèrtic conté, paradoxalment, el 90% de gel del món i el 70% de l'aigua dolça, el que equival a uns 30 milions de km^3 de gel.

Si tot el gel de l'Antàrtida es fongués, el nivell del mar augmentaria fins a 60 m. Tot i el canvi climàtic present, la temperatura hauria d'augmentar moltíssim perquè la temperatura mitjana superés el punt de fusió del gel. Actualment, s'ha enregistrat un augment de 0.05°C per dècada a la superfície de l'Antàrtida, i un de 0.1°C per dècada en la capa de gel, durant els darrers 50 anys. A més, les precipitacions han augmentat significativament i avui en dia neva considerablement més que fa un segle, ergo, la humitat també ha augmentat. Tot i això, les precipitacions no són suficients ja que es fon més gel del que hi neva.

Tot i això, hi ha altres factors que també ens haurien de preocupar. La capa d'ozó és la principal protectora del fred a l'Antàrtida: filtra les radiacions emeses pel sol, de manera que hi arriba menys energia i radiacions. Degut a l'emissió de CFCs i altres gasos, que degut als camps magnètics terrestres són duts cap als pols i alteren les reaccions químiques espontànies a la estratosfera, aquesta capa es debilita, deixant passar més radiació, fet que equival a un augment de la temperatura. Això, però, és contrarrestat per l'efecte hivernacle.

La combinació d'aquests dos fenòmens s'ha estudiat que podrien resultar en un augment de la temperatura mitjana de l'Antàrtida d'uns 3°C al llarg d'aquest segle, juntament amb la solidificació d'aigua marina que representaria un augment del 10% del gel antàrtic. Tot i això, a certes zones de la costa com la Península Antàrtica, les temperatures pujarien i hi hauria un desgel més ràpid. En els últims cinc anys s'ha accelerat el desglaç: ha perdut una mitjana de 600 milions de tones de gel al dia a 2012-2017, 219.000 tones de gel cada any. consegüentment, ha augmentat el nivell del mar antàrtic 8 mm en 15 anys.

Les zones de l'est pateixen més l'augment de temperatura i humitat que les de l'oest, i el mar puja la seva temperatura, fet que podria tenir greus conseqüències en l'ecosistema antàrtic. Però aquestes segones zones experimenten més contrastos de temperatura, és a dir, més fred a l'hivern, més calor a l'estiu, juntament amb el congelament marí.

Un factor a tenir en compte a l'hora de considerar com obtindriem l'energia pel nostre cotxe és que a l'estiu hi ha gairebé 24 hores de sol, el sol roça la línia de l'horitzó en el seu punt més baix, i torna a pujar. Al solstici d'estiu, hi ha 24 hores senceres de sol. Pel mateix motiu, a l'hivern sempre és fosc. Cada una d'aquestes dues estacions diferenciades per la llum solar dura 6 mesos.

L'Antàrtida és el lloc més ventós del planeta, si bé el lloc amb vents puntuals més forts sigui Estats Units, aquest és el lloc amb ratxes més fortes de vent en un període de temps més llarg. Aquest pot ser un element de molta ajuda ja que permet generar molta electricitat a partir de l'energia eòlica, i en cas de necessitar fer l'electròlisi per obtenir hidrogen, es podria emprar aquesta electricitat per iniciar el procés.

11. PART PRÀCTICA

a. IDEACIÓ D'UN VEHICLE

i. INTRODUCCIÓ

Al llarg d'aquest treball s'han plantejat la major part dels elements importants si es vol dur un vehicle a l'Antàrtida i tots aquells components que hem modificat i que diferencien el nostre vehicle dels que circulen actualment. Per tant, en aquest apartat aplicarem tot allò que s'ha exposat amb anterioritat per avaluar la viabilitat d'un cotxe amb les característiques que desitgem que tingui. Malauradament, aquest apartat serà teòric, perquè a causa de la manca de diners, coneixements (per tal de construir un vehicle és necessari tenir un títol d'automoció), i d'instal·lacions, se'ns ha fet impossible poder-lo dur a terme a una escala real.

ii. ESTRUCTURA

Com bé s'ha mencionat a l'apartat 8.a.Estructura general, el nostre cotxe tindrà forma d'*snowcat*, ja que creiem que la seva estructura és la més adequada pel terreny de l'Antàrtida i ofereix tant lloc pel transport de persones com pel de mercaderies, fet que el fa molt adient per les necessitats del moment. Els *snowcats* són vehicles que estan dissenyats per treballar en baixes temperatures i condicions extremes.

La característica principal d'aquest estil de vehicle són les rodes, i també són l'element més decisiu per saber si un vehicle seria viable per la conducció en unes condicions determinades o no. És per aquest motiu que creiem convenient que les rodes del vehicle siguin les del model *EZ maxim*, ja que després d'investigació creiem que són les rodes del mercat actual que més s'adapten a les nostres necessitats. A part d'aquest ajustament en l'estructura externa, no hem posat cap altra restricció, ja que no creiem que l'estètica del vehicle afecti la seva funcionalitat o viabilitat en l'Antàrtida. Tot i això, sí que hem especificat algunes de les característiques de les llums de l'*snowcat*, ja que tot i formar part de l'estructura externa, utilitzen una font d'energia.

Per tal de mantenir un sistema sense bateries, utilitzaran la mateixa energia elèctrica que genera la *fuel cell*, en un circuit en paral·lel al dels motors. Aquest circuit estarà format per tres blocs de llums led: els exteriors, que estaran situades al davant i al darrere del vehicle i serviran per il·luminar el seu entorn; els interiors, que il·luminaran l'habitacle principal on estaran situats els passatgers o la mercaderia que s'estigui transportant; i finalment, el bloc que il·luminarà el panell de control de la cabina.

Pel que fa al funcionament del vehicle, estarà format per un sistema encarregat de produir hidrogen que tindrà integrada la *fuel cell* per produir l'electricitat i un altre que serà l'encarregat de transformar l'energia elèctrica en mecànica per tal de moure el vehicle. Com que actualment aquest és un sistema experimental, no podem fer res més que estimar el pes del conjunt, basant-nos en el pes d'una *fuel cell* convencional per vehicles de 4 rodes, el pes de l'hidrogen comprimit i del cablejat i recipients on tots els components estaran emmagatzemats.

Agafem com a model les *fuel cells* d'Horizon, ja que són unes de les cèl·lules més lleugeres del mercat, on podem trobar una *fuel cell* de 6.9 kg (+/-200g) que ens proporciona 1000W. A més a més per tal que funcioni, necessita uns 12L/min d'hidrogen circulant pel sistema, fet que significa que consumeix 0.84kg d'H₂/minut, a una pressió d'entre 0,45 i 0,55 bar. Com que l'hidrogen es va produint dins del mateix vehicle, l'autonomia d'aquest no estarà dictaminada per la quantitat d'hidrogen que pot emmagatzemar, sinó per la que pot produir. Com ja s'ha mencionat anteriorment, la proporció d'alumini consumit per hidrogen produït és d'1g d'Al per 1360ml H₂. Això significa que per tal de produir 0.84kg d'H₂ es necessitaran 8.699 kg d'Al, que arrodonirem a 9. Aquesta reacció triga un màxim de 15 minuts en començar a produir hidrogen, fet que comporta que el vehicle s'hagi d'encendre almenys 15 minuts abans de començar-lo a utilitzar. Això seria un inconvenient bastant notori si fos un vehicle de ciutat, però com que n'és un per l'Antàrtida, creiem que no serà un dels majors inconvenients o desavantatges d'aquest vehicle, ja que fet i fet abans de començar a conduir també s'hauria d'escalfar tot el conjunt del vehicle, acció que també comporta un cert temps.

Un cop el sistema ja ha començat a produir hidrogen, la producció del mateix serà contínua fins que s'acabi l'alumini del dipòsit.

Actualment hi ha una gran varietat de *fuel cells* disponibles al mercat, però la majoria són per electrodomèstics o aparells electrònics que no necessiten gaire energia per treballar. Les piles presentades en la Taula 3, són les més ben valorades del mercat però, tal com s'observa, no són les més eficients per ser utilitzades en un cotxe, ja que la seva potència total és la que s'utilitzaria per fer funcionar un electrodomèstic i no un vehicle. Tot i això, les hem presentat per tal de demostrar que encara que tinguin un baix pes (comparades amb les que s'utilitzarien en un cotxe), la proporció d'alumini que necessiten és molt elevada i, que encara que les mesures del vehicle fossin molt petites, la potència que produiria la pila no seria suficient per moure el conjunt de l'alumini necessari, el cotxe i la mateixa pila i arribar a tenir una autonomia de 24 h.

	Massa	H/min en litres	H/min en kg	Pressió	Alumini consumit per minut	Alumini necessitat (24h d'autonomia)	Pes total del vehicle amb el dipòsit ple	Watts totals que necessita (velocitat = 27m/s i acceleració = 10 m/s ²)
H-1000 XP	6.9 kg	12 L H/min	0.84 kg H/min	0.45-0.55 bar	7.56 kg Al/min	10886.4 kg Al	11845.3 kg	188174.436W
2000W	10kg	26 L H/min	1'84 kg H/min	0.45-0.55 bar	16.56 kg Al/min	23846.4 kg Al	24808.4 kg	394106.242W
H-5000W	30kg	65 L H/min	4.6 kg H/min	0.45-0.55 bar	41.4 kg Al/min	59616 kg Al	60598 kg	962659.828W

Taula 2: Càlculs pràctics

Per tal de construir aquesta taula hem utilitzat les fórmules següents. Primerament, per tal de calcular quan alumini era necessari per minut, s'ha hagut de calcular quants grams d'H₂ consumia la *fuel cell* per minut. Aquesta xifra es pot extreure de la següent fórmula:

- $$\frac{\text{producció en g d'H}_2}{1 \text{ segon}} \times \frac{60 \text{ segons}}{1 \text{ minut}} = \text{producció en g d'H}_2 / \text{min}$$

Un cop obtinguda la quantitat d'hidrogen, només s'ha de transformar en alumini amb la proporció que a partir de 9kg d'Al s'obté 1kg d'H₂, considerant que l'eficiència de la reacció és del 100% i no es perd cap mena d'energia en el procés. Per tant, la óper dur a terme aquest pas seria:

- $$\text{grams d'H}_2 \text{ necessari per minut} \times \frac{9000 \text{ grams d'Al}}{1000 \text{ grams d'H}_2} = \text{consum en g d'Al / min}$$

Després d'haver obtingut tota la informació sobre quin podria ser el pes màxim del vehicle considerant que la reacció és perfecte, s'ha de calcular el pes total del cotxe, ja que a partir d'aquesta dada es podrà estimar el treball que es necessitarà per moure'l. Al pes del motor i l'alumini li hem sumat al vehicle aproximadament 1 tona (952kg), que representaria la massa de tots els altres components. Cal destacar que aquesta dada no és exacta, ja que en un vehicle els components acostumen a pesar més que la xifra utilitzada, però com que estem utilitzant *fuel cells* amb una potència baixa hem cregut més convenient disminuir el més possible el pes que s'afegia al sistema. La fórmula usada per aquest càlcul és la següent:

- $$\text{Potència} = (m \cdot a + p \cdot \mu) \times \frac{x}{(t \times \eta)}$$

Com es pot observar, aquesta fórmula té diversos components, la majoria dels quals els mantindrem sempre igual, per tal d'obtenir una comparació més acurada entre les *fuel cells*. Aquests components series l'acceleració (a), la qual considerarem 10m/s²; la mu (μ), que li donarem un valor de 0,6, ja que és el valor màxim que pot tenir el coeficient de fricció entre la neu i un altre element; i finalment la velocitat, a la qual li atorgarem un valor de 27m/s.

Encara que en la taula no haguem exposat cap *fuel cell* que pugui ser utilitzada per un cotxe, la companyia Ballard en proporciona unes quantes que avui en dia ja s'estan utilitzant en autobusos i altres mitjans de transport de diverses ciutats. Aquestes *fuel cells* poden oferir majoritàriament uns 200kW però també n'hi ha una que ofereixen fins a 320 MW, a més a més, totes inclouen un sistema de refrigeració i d'absorció d'hidrogen, per tal que tot el que s'hagi de fer sigui introduir l'hidrogen a dins del component. Actualment, aquesta companyia està distribuïda per tot Europa, Amèrica del Nord i la Xina i col·labora amb empreses com Volkswagen, amb qui van iniciar una investigació tecnològica el 2015.

iii. CONCLUSIÓ

Actualment, per culpa de l'elevat consum d'hidrogen que gasta una *fuel cell*, el vehicle proposat no seria factible, ja que com més Watts produeixi la *fuel cell*, més hidrogen per segon consumirà, fet que s'acabarà traduït a una despesa d'alumini molt considerable que no serà factible a causa dels Watts que la cèl·lula produeix, que seran menors als necessitats per moure el sistema sencer. Tot i que avui en dia el vehicle que hem dissenyat és ciència-ficció, creiem que en un futur es podria arribar a construir, ja que actualment la tecnologia en el camp de l'automobilisme està avançant a passos de gegant i no seria cap sorpresa si d'aquí a uns anys apareguessin al mercat els primers cotxes sense conductors. A més a més, la companyia Ballard està utilitzant molts recursos en millorar i implementar aquesta tecnologia arreu del món, fet que provocarà que més gent la conegui i que per tant hi hagi més persones interessades el seu desenvolupament. Finalment, ens agradaria destacar que a la universitat del MIT està invertint part dels seus recursos i materials en intentar produir un cotxe d'hidrogen que funcioni amb el sistema presentat al llarg del treball.

b. IDEACIÓ D'UN MÒDUL D'HIDROGEN

i. INTRODUCCIÓ

Encara que defensem que l'obtenció d'hidrogen més òptima pel nostre projecte seria amb el procés a partir de l'alumini, hem cregut convenient buscar una altra alternativa que es podria utilitzar mentre que la investigació sobre l'obtenció d'hidrogen a partir de l'alumini s'acaba de perfeccionar per fer el sistema realista. Aquesta alternativa es basa en la creació d'un mòdul que genera hidrogen a partir de la neu, ja que és un element molt abundant a l'Antàrtida. El mòdul en qüestió té l'avantatge de que es podria implementar immediatament, ja que utilitza principis que ja han estat comprovats i, encara que redueix l'autonomia del vehicle perquè està situat fora d'aquest, és una solució mòbil i sostenible que s'adapta a la perfecció al clima hostil de l'Antàrtida.

La idea és un mòdul portable, situat a totes les bases de l'Antàrtida que utilitzessin aquest model de vehicle i que per tant, necessitessin un sistema que generés hidrogen gas. Per tal d'aconseguir l'hidrogen, ens basarem en el procés de l'electròlisi, el qual ja s'ha explicat en l'apartat 4.a.iii. ELECTRÒLISI d'aquest treball. Com s'ha exposat àmpliament, aquest és un mètode de producció d'hidrogen net que es basa en la fragmentació de la molècula d'aigua a partir d'electricitat.

Encara que les condicions de l'Antàrtida són molt adverses, el seu clima proporciona un element clau per tal de fer funcionar aquest mòdul: el vent. Les fortes i contínues ratxes de vent de l'Antàrtida la fan un lloc ideal per crear un sistema eòlic que proporcioni l'energia elèctrica que requereix el procés de l'electròlisi. Un altre factor climatològic que contribuirà en aquest mòdul és la llum solar dels mesos de l'estiu austral. Cal destacar, que l'estiu austral és més curt que l'hivern i que això provoca que aquest sistema no es pugui utilitzar de manera completa tots els mesos de l'any. Tot i això, no és inconvenient tenint en compte que la majoria d'expedicions es fan en aquesta època.

El mòdul que s'ha dissenyat servirà per proporcionar a l'electrolitzador aigua líquida i electricitat per tal que pugui generar hidrogen en gairebé qualsevol punt de l'Antàrtida. Per tal d'aconseguir l'electricitat, el nostre mòdul tindrà integrada una turbina eòlica que

proporcionarà a l'electrolitzador l'energia necessària per funcionar. D'altra banda, per desfer la neu i transformar-la en aigua líquida, el mòdul utilitzarà un sistema similar al de les antenes parabòliques, però que en lloc de captar les ones electromagnètiques, concentrarà la calor solar en un focus, provocant la fusió de la neu.

S'utilitzen aquestes dues fonts d'energia renovable ja que tant la neu com el vent són dos elements molt abundants en aquest clima, i, encara que s'hagin de modificar una mica les característiques de la neu, creiem que és molt més eficient que haver de buscar directament aigua líquida, ja que aquesta segona opció limita l'autonomia del vehicle.

ii. TURBINES EÒLIQUES

Una turbina eòlica o també aerogenerador és una màquina que permet transformar l'energia del vent en energia elèctrica de forma sostenible. Les turbines eòliques produeixen corrent elèctric a partir d'un generador que converteix l'energia cinètica del vent en energia mecànica, la qual fa girar l'eix central. En aquest eix hi ha un conjunt d'engranatges i rodes dentades que transmeten l'energia mecànica a un generador asíncron o d'inducció, el qual serà l'encarregat de generar corrent.

L'energia per unitat de temps, és a dir la potència, del vent quan passa a través d'una àrea A perpendicular a la direcció del vent s'identifica com:

$$P_{vent} = 1/2 \cdot A\rho v^3 t$$

On $A = \pi R^2$ és l'àrea que recull la passada d'una ala del generador i R és la longitud d'aquesta pala. ρ és la densitat de l'aire, i és igual a $1,225 kg/m^3$; i la v és la velocitat del vent. Per últim, t és el temps que ha passat l'aire pel rotor.

iii. MIRALL PARABOLOIDE

Aquest mirall paraboloide serà l'encarregat d'aconseguir l'energia tèrmica solar, que posteriorment escalfarà la neu fins aconseguir la temperatura adient per a la reacció química.

Aquest mirall tindrà una forma cònica, ja que ofereix unes propietats molt útils per assolir el nostre objectiu. Aquesta forma té un punt focus imaginari que està situat de forma equidistant a qualsevol punt físic de la corba cònica. El focus té la característica que qualsevol ona projectada en perpendicular a la paràbola, rebotarà i anirà a parar al focus. La versió d'una paràbola en tres dimensions és el paraboloide, és per això que aquesta part del mòdul l'anomenem mirall paraboloide. Aquesta forma facilitarà la concentració de raigs solars en un punt, el qual posteriorment escalfarà la neu.

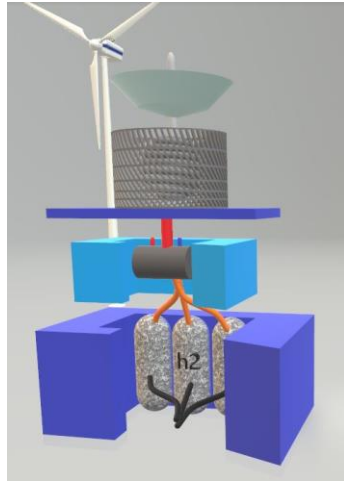
iv. ESCALFAR AIGUA AMB ENERGIA SOLAR

El segon principi en què es basa el mòdul és el de les centrals solars, on s'hi genera energia neta i renovable. En aquestes centrals tota una àrea plena de miralls (heliòstats) enfoquen una torre central, en un punt concret. La calor reflexada pels miralls escalfa un conducte ple d'oli, que fa evaporar aigua. El vapor és el que fa moure les pales del generador elèctric, convertint així la seva energia cinètica en electricitat.

v. DISSENY 3D DEL MÒDUL

La funcionalitat principal d'aquest mòdul és el de carregar el prototip de *snowcat* que hem construït, de manera que la tasca de carregar-lo sigui tan fàcil com tornar-li a posar una bombona d'hidrogen, com si d'una benzinera es tractés. Per aquesta raó, es pot considerar que aquest mòdul és una idea interessant i original.

En aquesta primera imatge podem veure el disseny en 3 dimensions de la idea del mòdul electrolitzador tot sencer, amb tots els elements involucrats.



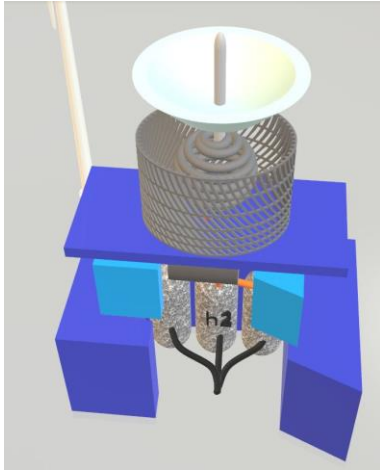
Imatge 9: Disseny 3D del mòdul

Primerament, com es veu a la fotografia, la turbina eòlica o aerogenerador, molt més petit que el dels parcs eòlics; suficient per subministrar la potència necessitada.

La paràbola és la part del mòdul explicada anteriorment: en el recipient cilíndric de sota s'hi posaria la neu, que amb l'oli que la paràbola escalfaria, es fondria. El conducte de sota, que a les imatges es veu de color vermell, és el que condueix l'aigua fins al tanc electrolitzador.

El tanc electrolitzador, gràcies al cablejat intern, rep el voltatge des de l'aerogenerador. Aquest tanc estaria fet d'un material aïllant. Els electrodes d'aquest electrolitzador serien d'un aliatge entre ferro i zinc. Aquest aliatge és idoni ja que no és reactiu, és bon conductor tèrmic i accelera la reacció. Dins del tanc es genera l'hidrogen que és conduït cap a les bombones, col·locades a la part inferior del mòdul.

Les tres bombones cilíndriques són on s'emmagatzemaria l'hidrogen obtingut. La forma és deguda a que un gas emmagatzemat en una bombona amb aquesta forma geomètrica es comporta de forma molt més estable que si es contingues en un recipient diferent.



Imatge 10: Disseny 3D del mòdul

vi. CONCLUSIONS

Malgrat no haver construït aquest mòdul defensem que és l'opció actual més viable per tal de fer possible la circulació de vehicles d'hidrogen a l'Antàrtida. Mitjançant els recursos que el propi medi ens ofereix, aquest mòdul ens permet obtenir hidrogen de forma neta i unir en un sol bloc la producció i la distribució de l'element, ja que també pot funcionar com a hidrogenera. A més a més, les tecnologies que utilitza són aplicables a la major part del món i, encara que s'hi haurien de fer algunes modificacions i potser no seria tan compacte com el dissenyat, en tenir un cicle més net que els mètodes d'obtenció d'hidrogen actuals, si s'utilitzés a escala global comportaria una disminució dels gasos nocius per la capa d'ozó i l'atmosfera. És un concepte nou d'hidrogenera que dóna accessibilitat a l'hidrogen a la major part del món i de forma neta, solucionant així els dos principals problemes del subministrament d'aquest gas per a l'automobilisme: la poca quantitat d'estacions de repostatge i l'extracció del gas de recursos fòssils.

c. MAQUETA

Per la part pràctica del nostre projecte hem dissenyat un *snowcat* ja que té més espai/capacitat per passatgers, materials o el que faci falta, i creiem que és el vehicle amb més urgència d'innovació: és dels més utilitzats, no només en expedicions àrtiques o antàrtiques, sinó que en qualsevol tipus de desplaçament per sobre de superfícies toves com la torba o la neu (ja que també són utilitzats per allisar les pistes d'esquí) i dels quals no n'existeix cap model elèctric: tots funcionen amb energies fòssils.



Imatge 11: *Snowcat* de quatre erugues

Aquests vehicles consten bàsicament d'una gran cabina on viatgen els passatgers, que està dividida en dues o tres parts: la del conductor, la de passatgers i pot ser que dugui un espai reservat per transportar materials, equipatge, eines o altres coses necessàries segons l'expedició.

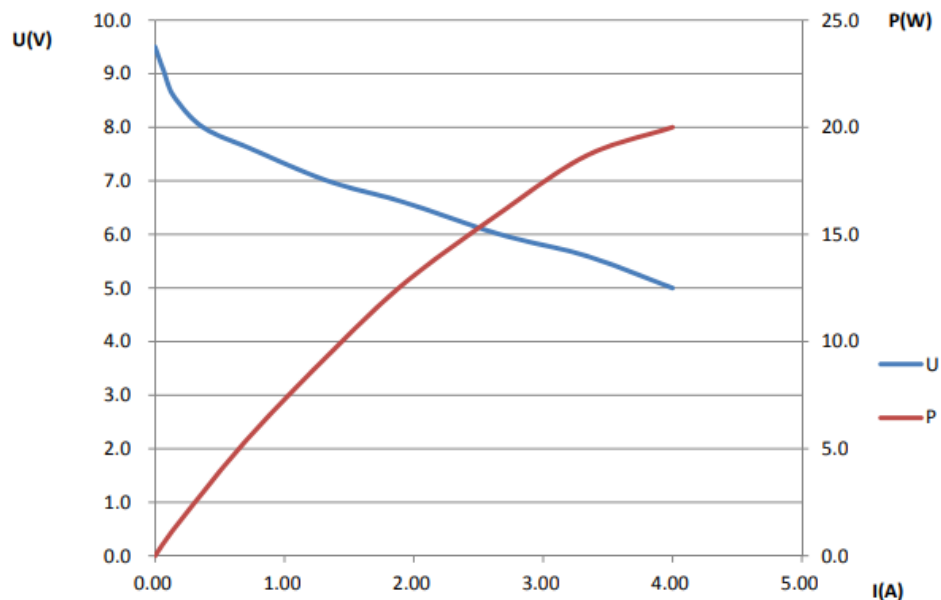
La idea del nostre projecte, com s'exposa a la introducció i objectiu, és donar una alternativa per desplaçar-se per l'Antàrtida sense generar cap tipus de residu ni contaminar. Tot i el disseny que vam pensar per ser dut a terme a la realitat, hem dissenyat i construït un vehicle a escala que pretén simular el que seria en realitat aquest *snowcat*.

A diferència del projecte teòric que s'ha Exposat a IDEACIÓ D'UN VEHICLE, aquesta maqueta no produirà l'hidrogen que consumeixi, sinó que l'obtindrà a partir d'unes bombones d'hidrogen que hauran estat omplertes anteriorment a partir del gas extret d'una màquina d'electròlisis. Cal destacar que aquesta maqueta és una representació del funcionament d'un cotxe d'hidrogen apte per l'Antàrtida, no del cotxe d'hidrogen que nosaltres hem plantejat, ja que en ell s'utilitzen moltes tecnologies que encara estan en desenvolupament a les quals

nosaltres no hi tenim accés. En altres paraules, la nostra maqueta consistirà en un prototip d'un cotxe d'hidrogen que obtingui l'electricitat gràcies a una *fuel cell* i utilitzi rodes-erugues per tal de simular el sistema de direcció i la distribució dels motors d'un cotxe adaptat per l'Antàrtida. Per tal de dirigir aquest vehicle, el centre de control estarà situat en un comandament a distància que permetrà controlar la direcció i la potència dels motors a distància.

i. LA PILA D'HIDROGEN

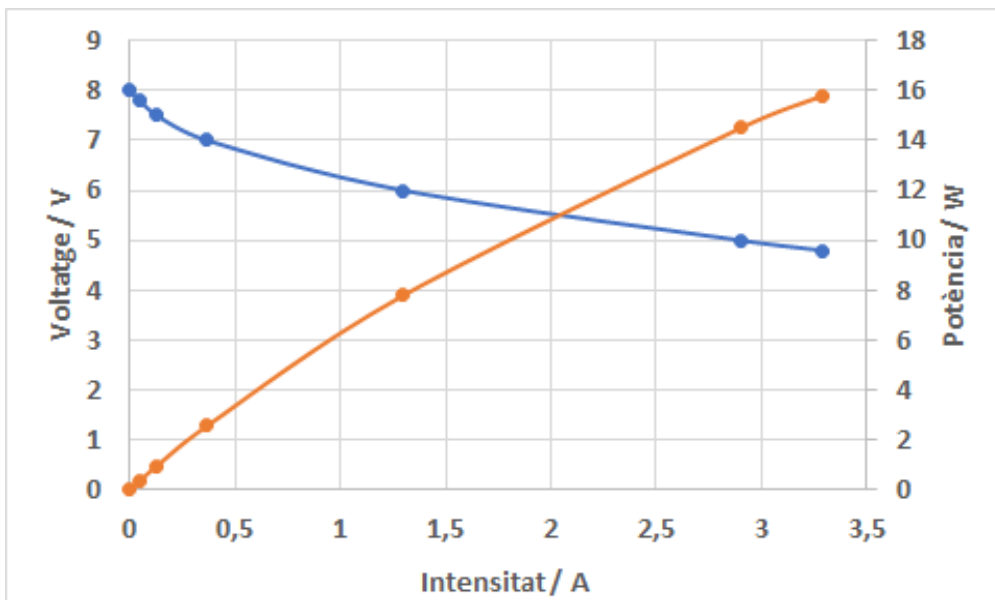
Per a fer això, hem utilitzat una cel·la de combustible d'hidrogen de 10 cel·les. El manual de la pila d'hidrogen ens proporcionava un gràfic amb les corbes de voltatge i potència de l'actuació de la pila si el rendiment fos del 100%. S'ha de tenir en compte que l'ídoni, per la pila, és funcionar a l'encreuament de les dues corbes.



Gràfic 1: Rendiment de la pila

Vam tenir la sort que el laboratori que ens va deixar la pila d'hidrogen ens van ajudar a realitzar un test per veure el rendiment real de la pila i poder dibuixar la corba real de voltatge. Les proves es van fer amb una ampolla d' H_2 nova, amb el ventilador de la pila engegat i consumint de la mateixa pila i es va realitzar el test després de tenir la pila en funcionament durant 30 minuts. El resultat va ser el següent:

Voltatge(V)	Intensitat(A)	Potència(W)
8	0	0
7,8	0,05	0,39
7,5	0,13	0,975
7	0,37	2,59
6	1,3	7,8
5	2,9	14,5
4,8	3,29	15,792



Gràfic 2: Rendiment de la pila

El rendiment que hem utilitzat per calcular-ho és el rendiment de la potència. L'hem calculat dividint la potència real que ens dona la pila (fruit del test explicat prèviament) entre la potència que ens donaria si tingués un rendiment del 100%, és a dir, la potència que la cobra de potència i voltatge del manual de la pila ens deia que havia de tenir. Per tant, utilitzem un rendiment del 72.75%.

Tot i això, com que no disposem de la pila que genera l'Hidrogen a partir de l'alumini, no l'hem pogut incorporar en el nostre model. Tot i això, és important remarcar que aquesta pila al model real de l'*snowcat* és imprescindible: com s'ha explicat, vora el 50% dels productes és energia calorífica. Aquesta energia calorífica s'empraria per escalfar un tub d'aigua que circularia per tot el vehicle, permetent escalfar la *fuel cell* ja que ha de treballar a temperatures superiors a 5°C, i alhora podria servir de sistema de calefacció, necessari per les condicions del pol sud.

ii. DISSENY DEL SISTEMA ELÈCTRIC I CÀLCULS DELS COMPONENTS

La primera idea del circuit elèctric de la maqueta és el següent:

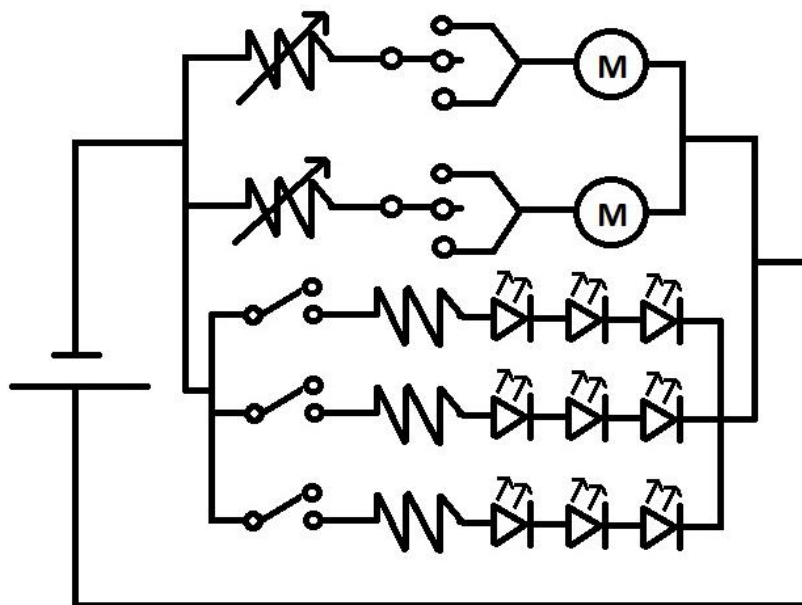


Figura 12: Circuit elèctric del vehicle

El sistema elèctric per fer funcionar el cotxe està dividit en 2 grans parts: la dels motors i la dels leds. Tot i aquesta divisió teòrica, estan els cinc sistemes en paral·lel. Està dissenyat d'aquesta manera, ja que el voltatge de la pila és força baix (7.5V) i els motors, tot i tenir un rang de treball des dels 3V fins els 12V, si els posàvem en sèrie tenien molt poca potència, ja que el voltatge disminuïa. Pel que fa als leds, estan en paral·lel merament per una qüestió pràctica: podrien estar connectats en sèrie perfectament sense la necessitat de posar

resistències, però com que han d'il·luminar l'interior, l'exterior i el comandament del vehicle, quedaven molts cables anant d'un punt a l'altre de manera que era incòmode.

Tal com es veu en l'esquema anterior, davant de cada motor hi ha un potenciòmetre i un commutador de 3 posicions. Tanmateix, no és ben bé cert. Hem posat aquests símbols perquè sigui fàcil d'entendre visualment. En realitat hi ha un driver de corrent, una placa electrònica que el que fa és transformar el corrent continu en polsos elèctrics. El que surt representat al dibuix com un potenciòmetre, en realitat és la primera funció del driver, que canvia la longitud d'aquests polsos elèctrics: manté constant el període entre ells i aconsegueix regular la seva potència variant-ne la durada. Quan està al màxim de potència, els polsos elèctrics són tan llargs que s'uneixen amb els seus contigus; per contra, quan està al mínim, són tan curts que el motor no té temps d'activar-se.

Els tres sistemes de leds senzillament duen un interruptor per cadascun d'ells.

Per calcular la potència que necessita el nostre motor si volem que el cotxe es mogui amb una acceleració determinada, i que sigui coherent, hem elaborat un excel que relaciona la velocitat que volem que porti (després d'accelerar, és a dir, quan va a velocitat constant) i el temps que triga en assolir aquesta velocitat.

El coeficient de fricció utilitzat en els càlculs és l'estàndard que hi ha entre els pneumàtics i l'asfalt, és a dir, de 0,8. És cert que no és el de la neu o gel, però com que la nostra maqueta ha de moure's per aquesta altra superfície, hem agafat aquest valor.

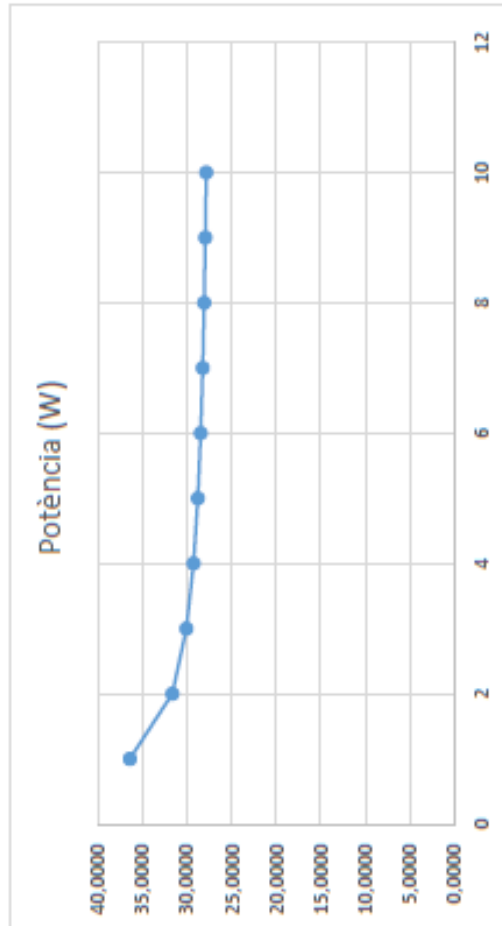
El pes l'hem considerat de 1,8 kg, i l'hem estimat a partir dels components, tot i deixant una mica de marge a favor:

- 1 kg de la pila d'hidrogen
- 250 g dels dos motors.
- 254 g de les erugues per desplaçar-se, en total. 63,5 grams de cada una.
- 100 g de les llums led i cables
- 200 g de la carcassa i estructura en filament 3D

Massa (kg)	1,8
Coef. Fricció	0,8
Rdt	72,75%

Vel.Final (km/h)	T. Accelerant (s)	Potència (W)	Energia (J)
10	1	36,4872	36,4872
10	2	31,7144	63,4288
10	3	30,1235	90,3704
10	4	29,3280	117,3120
10	5	28,8507	144,2535
10	6	28,5325	171,1951
10	7	28,3052	198,1367
10	8	28,13	225,1
10	9	28,0022	252,0199
10	10	27,8961	278,9614

Vel.Final(m/s)	Acceleració(m/s ²)	Δx d'acceleració(m)
2,7778	2,7778	1,3889
2,7778	1,3889	2,7778
2,7778	0,9259	4,1667
2,7778	0,6944	5,5556
2,7778	0,5556	6,9444
2,7778	0,4630	8,3333
2,7778	0,3968	9,7222
2,7778	0,3472	11,1111
2,7778	0,3086	12,5000
2,7778	0,2778	13,8889



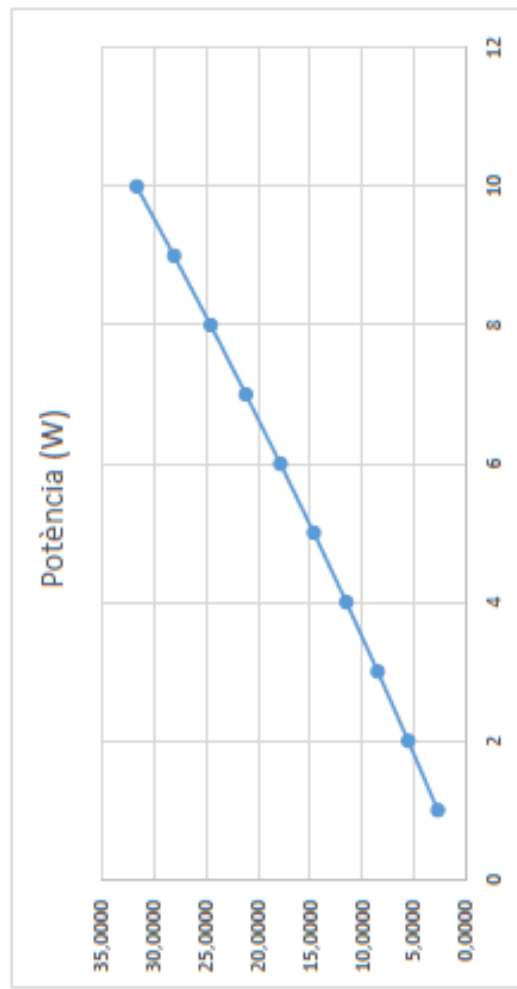
Taula 3, 4 i 5: Càlculs pràctics

Gràfic 3: Potència necessària pel vehicle en relació al temps d'acceleració

Massa (kg)	1,8
Coef. Fricció	0,8
Rdt	72,75%

Vel.Final (km/h)	T.Accelerant(s)	Potència (W)	Energia (J)
1	2	2,7419	5,4838
2	2	5,5792	11,1585
3	2	8,5120	17,0241
4	2	11,5403	23,0806
5	2	14,6640	29,3280
6	2	17,8832	35,7663
7	2	21,1978	42,3956
8	2	24,61	49,2
9	2	28,1134	56,2268
10	2	31,7144	63,4288

Vel.Final(m/s)	Acceleració(m/s ²)	Δx d'acceleració(m)
0,2778	0,1389	0,2778
0,5556	0,2778	0,5556
0,8333	0,4167	0,8333
1,1111	0,5556	1,1111
1,3889	0,6944	1,3889
1,6667	0,8333	1,6667
1,9444	0,9722	1,9444
2,2222	1,1111	2,2222
2,5000	1,2500	2,5000
2,7778	1,3889	2,7778



Gràfic 4: Potència necessària pel vehicle en relació a la velocitat final

En les nostres equacions hi ha tres constants: el pes, el coeficient de fricció i el rendiment. Les dues variables independents són la velocitat final que volíem que tingués el cotxe i el temps que volíem que trigués en assolir-la. La variable independent de la velocitat està en km/h ja se'ns fa molt més fàcil visualitzar una velocitat en km/h que en m/s, tot i que després, el full de càlcul fa la conversió al SI per utilitzar aquella dada. L'acceleració ve determinada per la velocitat final volguda i el temps d'acceleració. Finalment, l'espai d'acceleració és una informació adicional, és a dir, no és rellevant per les equacions però d'aquesta manera ens podíem fer una idea de com seria el període d'acceleració ja que teníem el temps i el recorregut que faria en aquest període, fins arribar a la velocitat constant que volem.

Les taules 4,5,6 i 7,8,9 són els càlculs que hem utilitzat per saber la potència que necessitaríem i l'energia que consumiria el vehicle, per poder saber l'autonomia que tindria amb les bombones d'hidrogen de què disposàvem.

A la Taula 4 els càlculs els vam fer mantenint constant la velocitat, i a la Taula 7 vam mantenir constant el temps. D'aquesta manera vam veure que la potència necessària i l'energia consumida no depenia tant del temps que gastés accelerant, sinó de la velocitat que volíem que portés al final. Aquest fet s'explica més detalladament a les conclusions.

La primera i segona columna (les dues de color blau) són les variables, i corresponen a la velocitat final que hauria de portar i el temps que estaria accelerant, fins a arribar a la velocitat de la primera columna. La tercera i quarta columna (colors groc i verd) són els dos resultats que ens interessaven: la potència que necessitaria per fer aquest trajecte com nosaltres volíem i l'energia que consumiria durant aquest. Les equacions utilitzades per cada columna són:

- Per la potència, hem utilitzat la funció: $=((C1*H6+C1*9,8*C2)*I6)/(C6*C3)$. Aquesta equació surt de l'equació de la definició de potència i de la general de les forces, aplicant el rendiment de la pila.

$$m * a = F_{motriu} - F_{fricció}$$

$$P = W/t = F_{motriu} * x/t \Rightarrow F_{motriu} = P * t/x$$

$$P * t/x - p * \mu = m * a$$

$$P = (m * a + p * \mu) * x/t$$

$$P = (m * a + p * \mu) * x/(t * \eta)$$

[P: Potència en Watts; m: massa en kg; a: acceleració en m/s; p: pes en Newtons; μ : coeficient de fricció dinàmic; x: recorregut en metres; t: temps en segons; η : rendiment]

- Per l'energia, en Joules, hem utilitzat la funció: $=D6 * C6$. Correspon a l'equació de la definició del concepte, és a dir, la potència necessària multiplicada pel temps del procés.

$$P = E/t$$

Les tres columnes que són de color blanc corresponen a dades que necessitem per fer els càlculs ja que apareixen a l'equació de potència, i es calculen a partir de les dues variables independents que introduïm nosaltres. Així, d'aquesta manera, tenim:

- La velocitat final en m/s: $=B6 * 1000/3600$, que bàsicament és la velocitat en km/h que hem introduït nosaltres convertida d'unitats.
- L'acceleració que tindria en aquest trajecte, fins arribar a la velocitat final, en m/s^2 : $=G6/C6$, que és l'equació general de l'acceleració en moviments uniformement accelerats:

$$a = v/t$$

- I finalment, l'última columna, l'espai en metres que recorreria fins assolir la velocitat final desitjada: $=(H6 * C6^2)/2$; que és l'equació general del MRUA (Moviment Rectilini Uniformement Accelerat)

$$\Delta x = a * t^2/2$$

Amb els càlculs fets en aquestes taules, hem estimat que, donada la nostra corba de voltatge de la pila i el que ens interessaria que fes, acabaria anant a 3.75 km/h i estaria 2 segons accelerant. Duria una acceleració de $0,521 \text{ m/s}^2$, i durant el procés d'acceleració recorreria 1,042 m. Això, aproximadament, ens deixaria amb una potència necessària de 10,77 W, consumint 21,54 J d'energia, que és ideal donat que el funcionament idoni de la nostra pila d'hidrogen és als 11W de potència.

iii. COMPONENTS

Hem intentat que el nostre prototip a escala sigui el més semblant al disseny del *snowcat* real. És per això que l'hem construït amb els següents components:

- Erugues: no són com les ideals *EZ-màxim*, però són també erugues individuals, és a dir, que el vehicle es desplaça amb 4 d'aquestes, de manera que pel que fa a el rendiment i utilitat del nostre model és igual que si haguéssim posat les altres.



Imatge 12: Erugues utilitzades en la nostra pràctica

- Motor: Per a poder desplaçar el vehicle, hem utilitzat un motor de trepant. El motiu és que són motors que poden funcionar amb un voltatge baix, amb una potència suficient per moure el vehicle que pesa considerablement degut a la pila d'hidrogen, i tenen la possibilitat de girar en els dos sentits. A més a més, tenen un parell motor molt alt. El moment d'una força o parell motor envers un sòlid es determina respecte

a un punt O (sovint un centre de rotació o el centre de massa del sòlid). Altrament, el parell o moment és el producte vectorial del vector entre el punt O i el punt d'aplicació de la força (o en general, qualsevol punt de la línia d'acció de la força) i el mateix vector força:

$$- \quad \tau = F * r$$

on r és el radi vector entre el punt O i el punt d'aplicació de la força i F és la força que actua sobre el sòlid. Per tant, que tingui un parell motor més alt, tractant-se d'un motor, vol dir que suportarà més força que un altre motor sense que l'eix cedeixi, ja sigui perquè se li aplica una força més gran o perquè el punt d'aplicació és més llunyà i, per tant, farà palanca i acabarà sent també una força més gran. Els nostres motors tenen un parell nominal de 600G/cm, és a dir, 0.59 N/m

- Leds: Els llums del nostre *Snowcat* funcionaran també a partir de l'energia elèctrica generada per la *fuel cell*. Serà un circuit en paral·lel al dels motors.

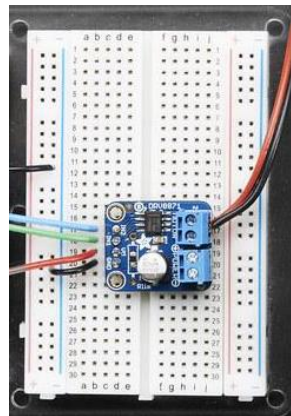
Hi haurà tres blocs de llums led: els exteriors, per il·luminar davant i darrere l'entorn del vehicle; els interiors, per il·luminar l'habitacle principal on aniran els passatgers o materials, eines o el que es necessiti transportar; i per últim, el bloc de leds que il·luminarà el panell de controls de la cabina o centre de comandament.



Imatge 13: Exemple dels leds utilitzats en la nostra pràctica

- Cables: els cables utilitzats per la construcció de la maqueta són de multifilaments de coure i tenen una secció de 1.5 mm, a excepció dels cables que estableixen els ponts per connectar els commutadors, que són cables d'un sol nucli de coure.

- Estany: Per tal de soldar amb efectivitat tots els components utilitzarem l'estany, ja que és un metall amb el punt de fusió molt baix, assequible, lleuger i ideal per aquest ús.
- Resistències: Com que la maqueta utilitza diversos components elèctrics, és recomanable utilitzar resistències, ja que d'aquesta manera podem reduir el voltatge del circuit per tal que tots els components puguin aguantar-lo sense cremar-se. A més a més, els leds són uns elements que es fonen amb facilitat i amb l'ajuda de les resistències assegures una durabilitat més llarga al producte global.
- *Driver DC*: component electrònic per regular la potència.



Imatge 14: Exemple d'un *driver*

- Voltímetre: Com que un cotxe funcional et permet regular la velocitat a la qual va el vehicle, hem decidit utilitzar aquest component per tal de regular el voltatge que es dirigeix als motors, per tal de poder disminuir o augmentar la velocitat a la qual giren que comportarà el relantiment o l'acceleració del vehicle.



Imatge 15: Voltímetre

- Filament/plàstic per la impressora 3D, PLA (*polylactic acid*, àcid polilàctic o poliàcid làctic)



Imatge 16: Bobina de filament de PLA per una impressora 3D

D'altra banda, per tal d'unir i poder construir el cotxe ens han fet falta un seguit d'eines.

- Ordinador: vam utilitzar, bàsicament, l'Sketchup per dissenyar el model 3D de l'estructura del vehicle, i posteriorment vam fer servir el programa Cura per poder imprimir-ho amb la impressora 3D.
- Placa de connexions: a l'hora de dissenyar el circuit, abans d'instal·lar-lo al vehicle, vam provar-lo en una placa de connexions de manera que poguéssim solucionar ràpidament si qualsevulla cosa fallava.
- Pela-cables
- Alicates
- Soldador d'estany i estany
- Clau Allen
- Impressora 3D
- Estris de dibuix (escaires i cartabons)
- Pistola de cola calenta
- Cola blanca
- Cola d'enganxar extra forta
- Serra de marqueteria
- Serra de ferro
- Xerrac
- Paper de vidre

iv. DISSENY 3D

Per tal de tenir una base sòlida per la nostra maqueta, vam decidir dissenyar el xassís en 3D, ja que aquesta tecnologia no només ens oferiria una base que sustentés tots els components, sinó que no ens oferiria un augment de pes considerable. Vam escollir un disseny rectangular amb triangles a l'interior perquè així podríem disminuir el filat, i per tant tenir menys pes i una estructura més econòmica, sense perdre aquella resistència i estabilitat que tant desitjàvem.

Cal destacar que la impressió d'aquest disseny es va fer utilitzant un filat orgànic i biodegradable, ja que creiem que en dur a terme un treball sobre el medi ambient, havíem de ser el més coherent possible i emprar materials que no el malbaratessin.

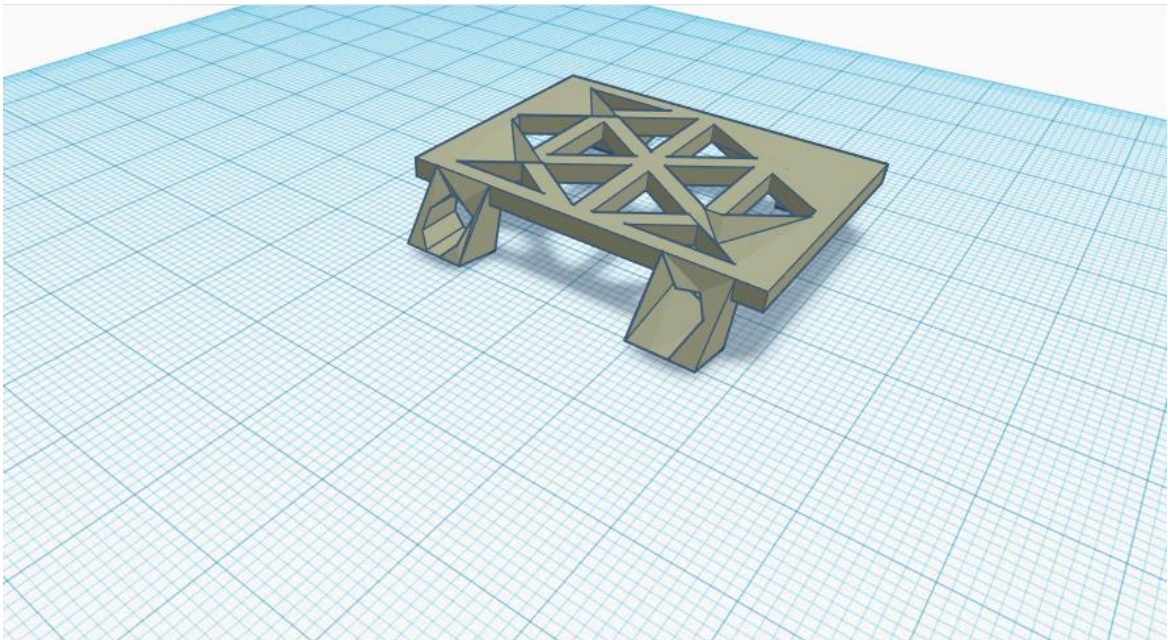


Figura 13: Disseny 3D del xassís

v. PRESSUPOST²

Nom del producte	Botiga o pàgina web d'obtenció	Preu per unitat	Quantitat de producte	Preu final (més d'una unitat)
Cable de coure <i>Electraline</i> multifilaments, secció 1.5mm, 10m, 3 cables	Amazon - Amazon EU	9,64 €	1	
Bobina de cable d'un únic nucli, 5 m	Amazon - BlueXP	5,64 €	1	
Interruptor commutador bipolar - 3 posicions	Amazon - Tuning	6,99 €	3	20,97 €
100 pcs LEDS 5mm	Amazon - ILS	5,90 €	1	
4 Track wheel (<i>rueda de pista de camión RC</i>)	Amazon - Senheeu	12,22 €	1	
Driver DC (placa electrònica)	Amazon - UEETEK	8,99 €	2	17,98 €
Engranatges Mòdul 05	Servei Estació	18,50 €	1	
Plataforma de fusta	Servei Estació	3,40 €	2	6,80 €
<i>EDUSTAK PRO FCSU-33</i> ³	FUELCELL Store	2.208,79 €	1	
Impressió 3D xassís (incloent materials i servei)	Estudi Boloberry	106,00 €	1	

² Aquesta taula no inclou el cost de les eines utilitzades ni dels materials emprats per construir el comandament.

³ Gràcies a la donació temporal de la *fuel cell* de LEITAT, l'obtenció d'aquest producte no va suposar cap cost addicional al nostre projecte.

vi. PROCÉS DE CONSTRUCCIÓ

La maquetació del producte va començar amb l'elecció de la mena de vehicle que imitaríem i el disseny esquemàtic d'aquest, per tal de poder fer una llista dels components, materials, i funcions que el prototip necessitava. Inicialment, a la pluja d'idees, van sorgir diverses propostes pel que fa al disseny del vehicle, com ara fer-lo amb pneumàtics normals o sense l'estructura d'snowcat. Finalment, vam acordar que l'estructura d'snowcat amb rodes-eruga era la que més s'adequava al que havíem exposat durant la major part del treball, i que per tant, havia de ser la base del nostre disseny. A continuació, vam encetar una llista de quins eren els objectius que el vehicle havia de complir, com per exemple fer llums o moure's endavant i enrere. A partir d'aquesta llista es va començar una recerca dels materials que ens serien més útils per tal d'assolir els objectius establerts anteriorment. Com a criteri de selecció d'aquests vam buscar elements que ens proporcionessin allò que nosaltres desitjàvem dins d'un preu raonable, els quals van ser els que es poden trobar a l'apartat 11.c.vi.COMPONENTS exceptuant del driver, que en aquell moment era un commutador de tres posicions i un potenciòmetre. Un cop decidits els materials, vam procedir a encarregar-los, ja que érem conscients que aquests podien trigar diversos dies en arribar. Mentre esperàvem l'arribada dels productes encarregats, vam començar a fer un disseny més acurat del xassís, i a pensar el del comandament i el dels engranatges; un cop decidits els materials, ja podíem fer els dissenys d'una forma més precisa i realista, ja que comptàvem amb les mesures exactes d'aquests i el seu pes.

Després d'haver rebut tots els materials vam comprovar que els dissenys que havíem fet s'adaptessin a aquests i, després de retocar algun detall, com per exemple el filament del xassís o la tapa del comandament, vam procedir a buscar establiments que ens poguessin imprimir els nostres dissenys. Al mateix temps que buscàvem llocs on imprimir el xassís i els engranatges, vam començar a construir un prototip inicial del comandament en cartró, ja que érem conscients que hi cabia la possibilitat de que aquest disseny s'hagués de modificar o adaptar en algun moment del projecte.



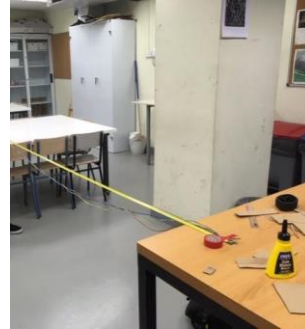
Imatge 17: Construcció del comandament

Un cop construït el prototip, vam iniciar la primera part elèctrica de la maqueta, la qual tenia com a objectiu aconseguir un circuit on tots els components funcionessin de la forma que el nostre vehicle requeria. Vam iniciar aquest procediment comprovant que tots els components funcionessin independentment amb una bateria de 9V. Llavors vam procedir a unir els components entre sí per analitzar el seu comportament i finalment estudiar la viabilitat del disseny que s'havia fet anteriorment⁴. Afortunadament, tot i haver comprovat els components amb una bateria de 9V enlloc de la *fuel cell*, ja que en aquell moment no hi teníem accés, vam arribar a la conclusió que el sistema elèctric que s'havia dissenyat funcionava adequadament. Llavors, un cop comprovats els components i el disseny de tot el circuit, vam procedir a soldar tots aquells components que serien dins del comandament, és a dir, el cablejat que unia els dos potenciómetres amb el corresponent commutador de tres posicions. Més o menys al mateix temps que vam finalitzar el circuit elèctric del comandament, vam trobar un estudi que ens podia imprimir els nostres dissenys 3D ajustant-se al nostre pressupost, i els els vam enviar. Malauradament, a l'hora d'imprimir els engranatges, els treballadors del comerç ens van avisar que aquests no funcionarien pel nostre cotxe, ja que els seus dissenys no eren els adequats pel funcionament que nosaltres els volíem atorgar, així que vam decidir només imprimir el xassís en aquell moment i pensar en una solució alternativa pels engranatges.

⁴ Veure en 11.c.V DISSENY DEL SISTEMA ELÈCTRIC I CÀLCULS DELS COMPONENTS



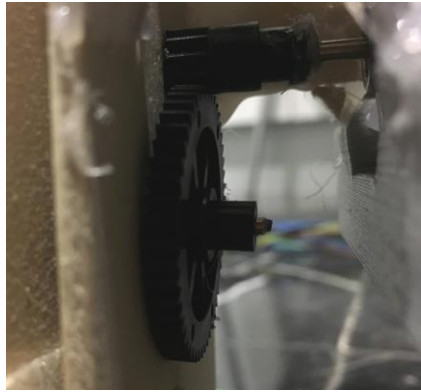
Imatge 18: Dissenyant el sistema elèctric



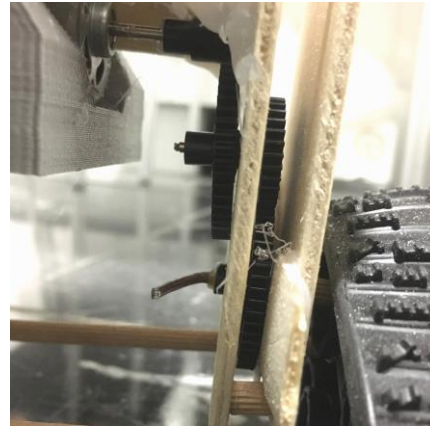
Imatge 19: Tallant els cables

Finalment, un cop obtingut el xassís i en el procés d'escollir quin era el camí més adequat a seguir respecte al problema dels engranatges, vam començar a tallar els cables que unirien el xassís, on hi estarien els motors i la *fuel cell*, amb el comandament i els que enllaçarien els components situats en el xassís entre ells. Llavors, vam enganxar la plataforma al xassís, ja que a causa del disseny d'aquest, la *fuel cell* no es podia situar de forma segura sense la plataforma. Un cop situades la plataforma i la *fuel cell*, vam començar a col·locar els leds que simularien els fars del cotxe i els vam unir al xassís.

Aleshores, vam veure que els motors connectats al corrent giraven a moltes revolucions per minut, massa ràpid pel nostre objectiu. Per tal de solucionar-ho, i veient que el següent pas era col·locar els motors, ja, vam enfrontar-nos a un dels problemes més difícils del projecte: com reduir les revolucions per minuts perquè sigui viable? Per solucionar-ho, vam veure que més que enfocar el tema des d'una vessant de l'electrònica havíem de fer-ho mecànicament: amb un sistema d'engranatges. Vam decidir que en lloc de comprar un sistema que ja existís, compraríem rodes dentades d'engranatges i el dissenyaríem nosaltres mateixos segons les necessitats, ja que els sistemes que vam trobar al mercat portaven un motor inclòs que no aguantava la intensitat de la nostra *fuel cell*. Aquest sistema d'engranatges estaria compost per quatre rodes dentades en cada motor, dues de les quals serien de la mida més gran possible, la tercera seria mitjana i la quarta el més petit possible, per tal de poder-se enganxar a l'eix del motor i a una de les rodes dentades grans. Tot aquest sistema s'aguantaria en la posició desitjada a partir de dues plaques de fusta que evitarien que els engranatges perdessin el contacte entre ells i es mantinguessin en l'eix inicial.



Imatge 20: Engranatge del motor i una roda dentada gran

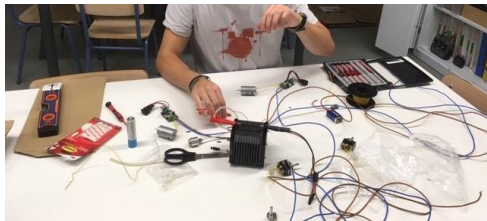


Imatge 21: Sistema d'engranatges amb les fustes

A continuació, un cop reunits finalment tots els components, vam començar a muntar i unir els engranatges entre ells, per comprovar que el sistema ideat funcionés. Un cop establert que aquest era efectiu, vam procedir a unir-lo amb els motors i després amb el xassís. Per tal d'ajuntar aquestes dues peces, inicialment vam utilitzar dues plaques de fusta que unissin els forats del xassís amb els engranatges i vam enganxar els motors amb silicona calenta als corresponents forats. Posteriorment, vam veure que les plaques de fusta que sostenien els engranatges es podrien trencar a causa del pes del vehicle i per això que vam decidir afegir una placa més de fusta a la part superior de cada sistema, posar unes falques en forma de triangle a les juntes amb l'estructura de plàstic i recobrir amb silicona les plaques que ja existien, per tal d'augmentar la resistència d'aquestes. Abans de soldar tots els components, vam tornar a construir el sistema elèctric però aquest cop amb la *fuel cell*, per tal de comprovar que tot funcionés. Aquesta prova ens va confirmar que de moment el sistema d'engranatges que havíem muntat funcionava, però també va provocar que fóssim conscients de que el voltatge que els motors consumien era massa alt i que per tant els leds s'apaguessin quan aquests treballaven a una potència que no fos la mínima. Com a solució per aquest inconvenient, vam reduir el nombre de leds per bloc, és a dir, que en lloc de posar-ne tres, en vam posar dos.

Malauradament, en utilitzar la *fuel cell* de forma continuada durant 5 minuts, els potenciòmetres se'ns van cremar, ja que el flux elèctric de la pila d'hidrogen (*fuel cell*) és diferent del d'una bateria de 9V: el corrent elèctric de la pila d'hidrogen té un voltatge més baix que el de la bateria de 9V (7,5V), però en canvi, la seva intensitat és molt més alta (2,1A).

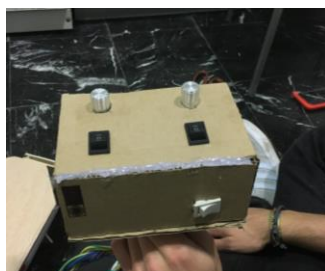
Primerament, per tal d'intentar solucionar aquest problema, vam buscar altres potenciòmetres que poguessin aguantar la intensitat de la pila d'hidrogen, però ens vam trobar amb l'inconvenient que, quan un potenciòmetre aguantava la intensitat requerida, la seva resistència era tan alta que així que obstruíem una mica el pas d'electrons es parava el corrent i, en contraposició, quan un potenciòmetre tenia una resistència que permetia un funcionament correcte (quant al voltatge) es cremava per la intensitat. Aquest fet va comportar que haguéssim de buscar un nou component elèctric que fos més resistent i pogués fer la mateixa funció que el potenciòmetre. Aquest component va acabar sent un driver, el qual no només va substituir el potenciòmetre, sinó que també el commutador de tres posicions, ja que aquest element ja el tenia integrat en l'estructura. Amb aquest driver podíem regular la velocitat de gir amb molta precisió i revertir el sentit de gir dels motors. Després de comprovar que aquest component fos l'adequat, vam redissenyar i reconstruir el comandament, ja que l'anterior havia estat fet a mida pels components antics. Tot seguit, després de tenir el nou comandament, vam procedir a unir tots els components entre ells, començant pels que unien el xassís amb el comandament i acabant pel cablejat interior del vehicle.



Imatge 22: Comprovació dels components amb la *fuel cell*



Imatge 23: Reconstrucció del comandament



Imatge 24 i 25: Comandament final

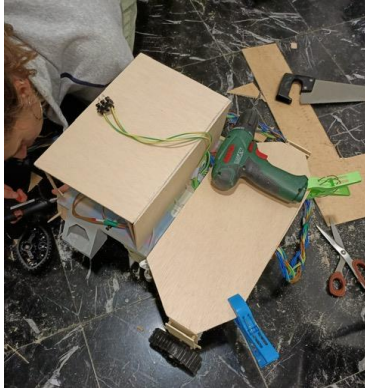
Per tal d'endreçar el cablejat i poder identificar cada parella de cables fàcilment vam crear un sistema de colors (verd-vermell-blanc) que ens permetia saber si era un cable que anava a un motor o a l'altre, a la fuel cell o a l'interruptor. A més a més, per evitar que es trenquessin o que nosaltres sense voler ens entrebanquéssim amb ells, vam decidir trenar tots aquells cables que anaven des del comandament fins a l'estructura general.

Un cop muntat tot el circuit elèctric vam elevar el xassís i vam col·locar les rodes-erugues als eixos dels engranatges, ja que necessitàvem comprovar que els motors poguessin moure-les. Per sort, aquest cop no va sorgir cap inconvenient i tot va funcionar cop havíem previst. Això sí, vam veure que les rodes no tenien una estabilitat fixa i que podria ser convenient unir-les amb dos eixos horitzontals per tal d'evitar que es moguessin de lloc i acabessin caient un cop estiguessin aguantant el pes del xassís. A més a més, per tal d'impedir el moviment d'aquests, vam posar dues plaques de fusta, per on passarien els eixos, a la cara interna dels forats del xassís.

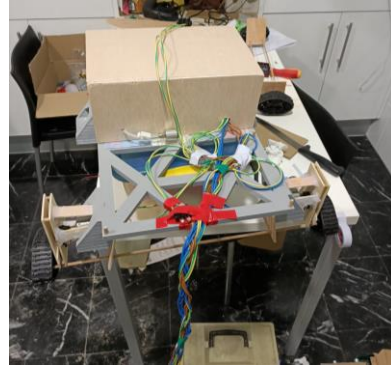


Imatge 26: Sistema d'eixos amb plaques de fusta

Després d'enllaçar les rodes-erugues amb els dos eixos de fusta, vam repetir el mateix procediment amb les davanteres, ja que són les rodes que no porten motor i les que necessiten més aquest sistema per mantenir-se en la mateixa posició respecte al xassís quan el vehicle està en moviment. De manera paral·lela, vam anar enganxant les plataformes de fusta que cobrien la fuel cell i la part posterior del vehicle, les quals les vam sustentar amb petites pilones de fusta enganxades amb silicona calenta. A més a més, la placa de fusta posterior ens va ajudar a cobrir tot el cablejat que venia del comandament.



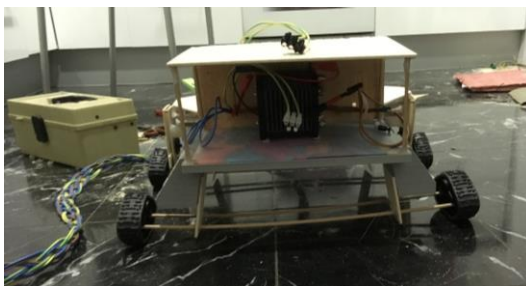
Imatge 27: Unió de les plaques de fusta amb el xassís



Imatge 28: Organització del cablejat

Així doncs, un cop units tots els components vam posar el cotxe a terra i el vam connectar a la *fuel cell* per veure si avançava. Contràriament al que havíem pensat que passaria, les rodes i els eixos van aguantar el pes de l'estructura sense trencar-se, encara que els eixos de les rodes davanteres es van corbar una mica. No obstant això, el pes del conjunt sí que era massa elevat pels motors, fet que va comportar que no poguessin fer girar les rodes i que per tant el vehicle no es desplaçés. A més, degut a la força que un dels motors havia fet, l'eix d'una roda-eruga es va desenganxar del seu engranatge, de manera que no girava ja que l'eix de gir relliscava sobre el plàstic.

Finalment, després d'haver arribat a la conclusió que el nostre vehicle pesava massa per poder-se moure, el vam situar a sobre d'una caixa per no forçar més els eixos i vam acabar d'enganxar una plataforma a la part superior del vehicle per donar-li un aire més acabat



Imatge 29: Curvatura dels eixos



Imatge 30: Vehicle final

12. CONCLUSIÓ

Al llarg de tot aquest treball s'ha anat demostrant que sí que és possible fer un vehicle d'hidrogen apte per l'Antàrtida. Malauradament, però, encara que la nostra hipòtesi resultés ser certa, creiem que el vehicle que nosaltres hem dissenyat i exposat en el treball encara trigarà uns anys en arribar, ja que hem tractat amb una tecnologia experimental: la producció d'hidrogen gas a partir d'alumini, la qual encara no s'ha demostrat que sigui eficaç en un vehicle terrestre. Encara que defensem que aquest vehicle és possible que existeixi en un futur, no creiem que actualment sigui realista parlar d'aquesta tecnologia com a mitjà de transport per l'Antàrtida, tot i que desafortunadament el problema del desglaç del continent i el canvi climàtic necessitin una resposta immediata.

Això sí, encara que el vehicle que nosaltres hem dissenyat no es pugui aplicar actualment a l'Antàrtida, creiem que l'ús de vehicles d'hidrogen que obtinguin el gas d'una estació o des del sistema d'obtenció d'hidrogen alternatiu que s'ha exposat a l'apartat 11.b. IDEACIÓ D'UN MÒDUL D'HIDROGEN, sí que és factible i que s'haurien de començar a implementar el més ràpid possible perquè creiem que és molt contradictori el fet que la majoria d'expedicions que es facin a l'Antàrtida siguin per estudiar el canvi climàtic mentre els seus propis mitjans de transport contribueixen al seu agreujament. Evidentment, l'ús de les *fuel cell* d'hidrogen també té els seus inconvenients, com la baixa autonomia en comparació amb els de gasoil o l'escalfor necessària per fer treballar els components, però creiem que tots aquests es poden solucionar i que, si es posen els avantatges i inconvenients en una balança, els beneficis superen els desavantatges, ja que què pot pesar més que salvar el nostre planeta?

D'altra banda, esperàvem que la maqueta fos un factor que contribuís en confirmar la validesa de la hipòtesi, però malauradament no ha sigut així ja que no hem obtingut els resultats que esperàvem en un inici. Des de l'inici fins al final del muntatge de la maqueta ens hem anat trobant diversos problemes, la majoria dels quals podrien haver estat evitats si s'hagués fet un estudi més profund dels materials i, potser, si aquest ens hagués ajudat a trobar els materials idonis per la maqueta, el nostre projecte hauria funcionat. El motiu principal pel qual el nostre vehicle no avança és el pes. Per tal de construir el cotxe vam utilitzar diversos components que pesaven força, i a l'hora de calcular la potència necessària que necessitarien

els motors vam fer curt quan vam aproximar el pes final del vehicle. Entre tots aquests components pesants, la pila és la que destaca, ja que ella sola és aproximadament un 75% del pes total de la maqueta, fet que comporta que tot el pes estigui concentrat en una banda del cotxe i que, per tant, es desequilibri el cotxe. D'altra banda, aquest problema podria haver estat solucionat amb uns motors més potents que ens permetessin moure tot el pes del vehicle, ja que com més potència tingui un motor, més pes podrà moure, o bé uns motors amb més parell motor. Finalment, un dels altres aspectes a millorar són els engranatges, ja que encara que els que hi ha a la maqueta funcionin, no creiem que siguin els més òptims o efectius. A causa de la fusta que els envolta, els eixos i la incompatibilitat entre materials (com per exemple enganxar plàstic amb ferro), el seu rendiment ha anat baixant deixant-nos a l'estacada.

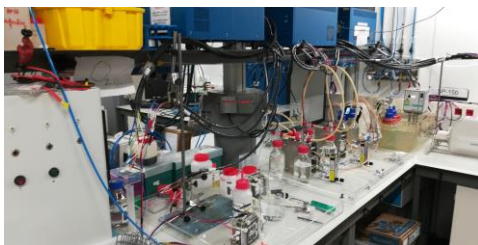
Encara que la maqueta no hagi sortit com esperàvem, no creiem que sigui a causa del sistema que hem utilitzat, sinó del disseny i la distribució que vam fer a l'hora de construir. És a dir, que tot i no haver funcionat, les conclusions que n'extraïem són positives respecte al mètode d'obtenció d'energia emprat, ja que creiem que aquesta mena de vehicles són el futur de l'automobilisme sostenible. La seva competència directa, que serien els cotxes elèctrics que funcionen amb bateria, presenten l'inconvenient de l'autonomia, de la seva curta durabilitat pel fet que quan es fa malbé la bateria s'ha de canviar el cotxe, que generen un residu molt difícil de gestionar com és aquesta pròpia bateria, que requereixen la instal·lació del punt de càrrega i, a més, l'inconvenient que requereix un temps de càrrega considerable. En canvi, tot això se solucionaria amb el cotxe elèctric d'hidrogen.

D'altra banda, creiem que hem aportat el nostre granet de sorra en la lluita pel canvi climàtic: tot i que no sigui possible obtenir hidrogen amb el sistema d'alumini explicat, sí que és viable la implementació del mòdul-hidrogena. És més, defensem que s'hauria de començar a implementar aquest tipus de sistema arreu del món: el nostre disseny funcionaria a qualsevulla part del món, ja que els recursos naturals que aprofita no són específics de l'Antàrtida.

Cal destacar que el resultat d'aquest treball ha estat condicionat pels nostres coneixements, ja que inicialment partíem d'una coneixença molt bàsica que es va haver d'ampliar i

desenvolupar mitjançant contactes i internet. Malgrat els coneixements adquirits durant el projecte, no hem pogut evitar certs problemes que ens han endarrerit en el desenvolupament d'aquest, com per exemple que es cremessin alguns components de la maqueta en els primers dissenys de circuit que vam provar, a causa de l'escàs coneixement d'electrònica. A partir d'aquí vam haver d'indagar molt sobre sistemes elèctrics. Aquests problemes de voltatge i intensitat del corrent elèctric van ser causats pel fet que la pila d'hidrogen que teníem ens proporcionava un corrent amb característiques de tensió i intensitat poc comunes, molt diferents de les piles convencionals de petaca, sobre què teníem més coneixements i en els quals vam basar el circuit elèctric. No va ser fàcil trobar la solució, però ho vam aconseguir gràcies a una extensiva recerca i la posterior ajuda d'en Pau Bosch, que ens van ensenyar que els *drivers* ens podrien ajudar a superar aquest obstacle.

A més, hem gaudit de l'experiència de poder treballar amb enginyers professionals i hem visitat un laboratori important com és el de Leitat, de Terrassa. A continuació hi ha algunes imatges de les visites al laboratori especialitzat en piles i de les trobades amb en Pau Bosch, enginyer que ens ha guiat al llarg del treball i ens ha dedicat molt temps i paciència a ensenyar-nos i ens va permetre veure aquests laboratoris. Endemés, gràcies a en Pau vam poder utilitzar una de les piles d'hidrogen de què disposen a LEITAT. En altres paraules, sense ell aquest projecte no hauria estat possible. Aquesta experiència amb LEITAT ens ha permès tractar per primer cop amb un contracte real, fet, que des d'un punt de vista personal i acadèmic, ha fet aquest treball molt més interdisciplinari i enriquidor del que ja era inicialment.



Imatges 31, 32,
i 33: La nostra visita a LEITAT,
Terrassa, el dia 13 de setembre
de 2019



13. ÍNDEX I REFERÈNCIES DE TAULES, FIGURES, IMATGES I GRÀFICS

Imatges:

1. Imatge 1: *Fotografia de l'expedició a l'Antàrtida realitzada per Acciona*. Pàgina 7
 - MARTÍN TRISTÁN, Rosa, *Vehículo eólico para la exploración y ciencia polar* [en línia] https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Trineo_de_Viento.jpg [20-07-2019]
2. Imatge 2: *Saló de l'automòbil de Ginebra 2019*. Pàgina 9
 - AEPLI, Norbert, *Archivo:2013-03-05 Geneva Motor Show 8064.JPG* [en línia] https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:2013-03-05_Geneva_Motor_Show_8064.JPG [20-07-2019]
3. Imatge 3: *Cotxe d'hidrogen de Toyota*. Pàgina 10
 - OUR WOLRD2.0, *Toyota hydrogen concept car* [en línia] <https://www.flickr.com/photos/ourworld2/11045231216/> [18-08-2019]
4. Imatge 4: *Hidrogenera*. Pàgina 11
 - Ajzh2074, *File:Hidrogenera Zaragoza 4.jpg* [en línia] https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hidrogenera_Zaragoza_4.jpg [15-08-2019]
5. Imatge 5: *Fotografia d'una pila d'hidrogen petita*. Pàgina 15
 - STAHLKOCHER, *File:Fuel cell NASA p48600ac.jpg* [en línia] https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fuel_cell_NASA_p48600ac.jpg [20-08-2019]
6. Imatge 6: *Snowcat amb sistema de dues erugues*. Pàgina 38
 - MELENSDAD DE WIKIPEDIA EN INGLÉS, *Archivo:1989LMC1200.jpg* [en línia] <https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:1989LMC1200.jpg> [24-08-2019]
7. Imatge 7: *Snowcat amb sistema de quatre erugues*. Pàgina 38
 - L.C, Tom, *File:IMG 0315-snocat.jpg* [en línia] https://commons.wikimedia.org/wiki/File:IMG_0315-snocat.jpg [30-08-2019]
8. Imatge 8: *Snowcat amb sistema de dues erugues*. Pàgina 38

- Anònim, *Snow Cold Jeep Vehicle Snowtracks Car Snow Cat* [en línia] <https://www.maxpixel.net/Snow-Cold-Jeep-Vehicle-Snowtracks-Car-Snow-Cat-439459> [30-08-2019]
9. Imatge 9: *Disseny 3D del mòdul*. Pàgina 52
- Autor: Mr. Bean
10. Imatge 10: *Disseny 3D del mòdul*. Pàgina 48
- Autor: Mr. Bean
11. Imatge 11: *Snowcat de quatre erugues*. Pàgina 54
- MELENSDAD DE WIKIPEDIA EN INGLÉS, *Archivo:1967-Tucker-342.jpg* [en línia] <https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:1967-Tucker-342.jpg> [31-08-2019]
12. Imatge 12: *Erugues utilitzades en la nostra pràctica*. Pàgina 63
- Autora: Mr. Bean
13. Imatge 13: *Exemple dels leds utilitzats en la nostra pràctica*. Pàgina 64
- 95C, *Led Lámpara Diodo Electrónica Luz* [en línia] <https://pixabay.com/es/illustrations/led-lámpara-diodo-electrónica-luz-543475/> (30-10-2019)
14. Imatge 14: *Exemple d'un driver*. Pàgina 65
- ADAFRUIT INDUSTRIES, *Adafruit DRV8871 DC Motor Driver Breakout Board - 3.6A Max* [en línia] <https://www.flickr.com/photos/adafruit/28073387812/> [31-10-2019]
15. Imatge 15: *Voltímetre*. Pàgina 65
- 4VOLLVOS, *Multímetro Ohmímetro Voltímetro Medidor Vom Ohm*, [en línia] <https://pixabay.com/es/photos/mult%C3%ADmetro-ohm%C3%ADmetro-volt%C3%ADmetro-523153/> [31-10-2019]
16. Imatge 16: *Bobina de filament per una impresora 3D*. Pàgina 66

- ADAFRUIT INDUSTRIES, *PLA Filament for 3D Printers - 2.85mm Diameter - Magenta* - 1 Kg - MeltInk [en línia]
<https://www.flickr.com/photos/adafruit/40106547222> [31-10-2019]

17. Imatge 17: *Construcció del comandament*. Pàgina 70

- Autor: Mr. Bean

18. Imatge 18: *Dissenyant el sistema elèctric*. Pàgina 71

- Autora: Mr. Bean

19. Imatge 19: *Tallant els cables*. Pàgina 71

- Autora: Mr. Bean

20. Imatge 20: *Engranatge del motor i una roda dentada gran*. Pàgina 72

- Autora: Mr. Bean

21. Imatge 21: *Sistema d'engranatges amb les fustes*. Pàgina 72

- Autora: Mr. Bean

22. Imatge 22: *Comprovació dels components amb la fuel cell*. Pàgina 73

- Autora: Mr. Bean

23. Imatge 23: *Reconstrucció del comandament*. Pàgina 73

- Autora: Mr. Bean

24. Imatges 24 i 25: *Comandament final*. Pàgina 73

- Autora: Mr. Bean

25. Imatge 26: *Sistema d'eixos amb plaques de fusta*. Pàgina 74

- Autora: Mr. Bean

26. Imatge 27: *Unió de les plaques de fusta amb el xassís*. Pàgina 75

- Autora: Mr. Bean

27. Imatge 28: *Organització del cablejat*. Pàgina 75

- Autora: Mr. Bean
28. Imatge 29: *Curvatura dels eixos*. Pàgina 75
- Autora: Mr. Bean
29. Imatge 30: *Vehicle final*. Pàgina 75
- Autora: Mr. Bean
30. Imatges 31,32 i 33: *La nostra visita a LEITAT, Terrassa*. Pàgina 78
- Autors i Autores: Mr. Bean

Figures:

31. Figura 1: *Procés d'electròlisi*. Pàgina 18
- Autor: Mr. Bean
32. Figura 2: *Procés d'electròlisi*. Pàgina 19
- BLUMEN, Sarah, *File:Salt electrolysis.png* [en línia]
https://en.wikipedia.org/wiki/File:Salt_electrolysis.png [05-09-2019]
33. Figura 3: *Basat en el sistema Aluminum-Chlorate Fuel Cell Power System*. Pàgina 23
- Autora: Mr. Bean
34. Figura 4: *Funcionament Fuel cell*. Pàgina 25
- MELENSDAD DE WIKIPEDIA EN INGLÉS, *Archivo:Fuelcell.es2.PNG* [en línia]
<https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Fuelcell.es2.PNG> [05-09-2019]
35. Figura 5: *Procés d'electròlisi inversa*. Pàgina 25
- SAKURAMBO, *Archivo:Solid oxide fuel cell.svg* [en línia]
https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Solid_oxide_fuel_cell.svg [05-09-2019]
36. Figura 6: *Cotxe d'hidrogen*. Pàgina 26

- WELLEMAN, *File:Fuelcell.jpg* [en línia]
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fuelcell.jpg> [31-08-2019]
37. Figura 7: *Representació del sistema de transmissió d'un vehicle de tracció a les 4 rodes.*
Pàgina 32
- MOEBIUSUIBEOM-EN, *File:Automotive diagrams 06 En.png* [en línia]
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Automotive diagrams 06 En.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Automotive_diagrams_06_En.png)
[30-07-2019]
38. Figura 8: *Estructura esquemàtica d'un vehicle elèctric.* Pàgina 33
- HOWARD, Matt, *File:Plug-in hybrid electric vehicle (PHEV) diagram.jpg* [en línia]
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Plug-in hybrid electric vehicle \(PHEV\) diagram.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Plug-in_hybrid_electric_vehicle_(PHEV)_diagram.jpg) [05-09-2019]
39. Figura 9: *Esquema de la distribució de les articulacions de l'eruga.* Pàgina 38
- HEISENBERG-PL, *File:Tracks (diagram).png* [en línia]
[https://ca.wikipedia.org/wiki/Tracció per eruga#/media/Fitxer:Tracks \(diagram\).png](https://ca.wikipedia.org/wiki/Tracció_per_eruga#/media/Fitxer:Tracks_(diagram).png) [31-08-2019]
40. Figura 10: *Díode LED.* Pàgina 39
- INDUCRIVELOAD, *File:LED, 5mm, green (en).svg* [en línia]
[https://en.m.wikipedia.org/wiki/File:LED, 5mm, green \(en\).svg](https://en.m.wikipedia.org/wiki/File:LED,_5mm,_green_(en).svg) [30-10-2019]
41. Figura 11: *Funcionament LED.* Pàgina 39
- WIKIFISICA2018, *File:Ledef.gif* [en línia]
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ledef.gif> [11-10-2019]
42. Figura 12: *Circuit elèctric del vehicle.* Pàgina 57
- Autor: Mr. Bean
43. Figura 13: *Disseny 3D del xassís.* Pàgina 67
- Autor: Mr. Bean

Gràfics:

44. Gràfic 1: *Rendiment de la pila*. Pàgina 55

- FUELCELL Store, EDUSTAK PRO- Build Yourself Fuel Cell Stack Kit-FCSU-33, [en línia] <https://www.fuelcellstore.com/manuals/edustak-pro-10-cell-user-manual-fcsu-33.pdf> (30-10-2019)

45. Gràfic 2: *Rendiment del vehicle*. Pàgina 56

- Autor: Col·laborador de Mr. Bean

46. Gràfic 3: *Potència necessària pel vehicle en velocitat constant*. Pàgina 59

- Autor: Mr. Bean

47. Gràfic 4: *Potència necessària pel vehicle en velocitat no constant*. Pàgina 60

- Autor: Mr. Bean

Taules:

48. Taula 1: *Motors elèctrics*. Pàgina 29

- Autora: Mr. Bean

49. Taula 2: *Càlculs pràctics*. Pàgina 46

- Autor: Mr. Bean

50. Taula 3, 4 i 5: *Càlculs pràctics*. Pàgina 59

- Autor: Mr. Bean

51. Taula 6, 7 i 8: *Càlculs pràctics*. Pàgina 60

- Autor: Mr. Bean

14. WEBGRAFIA

- Parts externes d'un vehicle:

Parts d'un automòbil - projectederecerca [en línia]

<https://sites.google.com/site/projectederecerca27a/parts-dun-automobil> [15-06-2019]

Xassís - Viquipèdia [en línia] <https://ca.wikipedia.org/wiki/Xass%C3%ADs> [15-06-2019]

Definición de carrocería - definición de [en línia] <https://definicion.de/carroceria/> [15-06-2019]

Materiales utilizados en la carrocería del automóvil [en línia]

<https://www.autocasion.com/actualidad/reportajes/materiales-utilizados-en-la-carroceria-del-automovil> [15-06-2019]

Materials d'un cotxe [en línia] <http://tecnologidani.blogspot.com/2010/10/materials-dun-cotxe.html> [16-06-2019]

- Parts internes d'un vehicle:

Partes del motor de un coche: descubre las piezas esenciales - Good Year [en línia]

<http://kilometrosquecuentan.com/partes-motor-coche/> [15-06-2019]

- Motor:

ACHÓN, Jordi, *Els motors* [en línia] <http://www.xtec.cat/aulatec/motor.pdf> [16-06-2019]

SERRANO, Sara, *Motors d'hidrogen* [en línia]

<https://www.slideshare.net/SaraSerrano98/motors-dhidrogen-15794456> [16-06-2019]

CRP del Gironès, *Funcionament d'un cotxe d'hidrogen per pila de combustible* [en línia]

<https://blocs.xtec.cat/cienciaentretots/1-funcionament-dun-cotxe-dhidrogen-per-pila-de-combustible/> [16-06-2019]

Motors d'hidrogen [en línia] <http://motorshidrogen3.blogspot.com> [16-06-2019]

Los coches eléctricos Peugeot - Peugeot [en línea] <https://www.peugeot.es/que-es-un-coche-electrico.html> [16-06-2019]

Partes de un coche -Good Year [en línea] <http://kilometrosquecuentan.com/partes-coche/> [20-06-2019]

VÁZQUEZ, Arturo, *Así funciona el motor de un coche eléctrico- ABC* [en línea] https://www.abc.es/motor/reportajes/abci-funciona-motor-coche-electrico-201702011409_noticia.html [11-08-2019]

MURIAS, Daniel, *Los motores son también clave en el desarrollo del coche eléctrico: no todo es cuestión de baterías* [en línea] <https://www.motorpasion.com/tecnologia/los-motores-son-tambien-clave-en-el-desarrollo-del-coche-electrico-no-todo-es-cuestion-de-baterias> [11-08-2019]

FERNÁNDEZ, David, *Funcionament del motor elèctric* [en línea] <http://treball-funcionament-motor-electric.blogspot.com> [11-08-2019]

Motor eléctrico para coche: ¿Cómo funcionan y qué tipos hay? - Catalana occidente [en línea] <https://www.seguroscatalanaoccidente.com/blog/tipos-funcionamiento-coche-electrico/> [11-08-2019]

Tesla Model 3 - TESLA [en línea] https://www.tesla.com/es_ES/model3 [11-08-2019]

Learn engineering, *Brushless DC motors, how it works?* [en línea] <https://www.youtube.com/watch?v=bCEiOnuODac> [15-08-2019]

What is a blower motor? - Solvit [en línea] <https://solvitnow.com/what-is-a-blower-motor/> [18-08-2019]

FIELDING, Jeremy, *How motors work for beginners* [en línea] https://www.youtube.com/watch?v=onjFFoOC_yk [18-08-2019]

Motors sense escombretes [en línea] <https://www.interempresas.net/Medicio/Empresas-Productes/Producte-Motors-sense-escombretes-83754.html> [1-09-2019]

HARI, Sri, *Types of motors used in electric vehicles* [en línia]

<https://circuitdigest.com/article/different-types-of-motors-used-in-electric-vehicles-ev> [17-09-2019]

Electric Vehicles, *Different types of motors used in electric cars & EVs* [en línia]

<https://www.youtube.com/watch?v=OhiZH7geedQ> [17-09-2019]

Switched reluctance motor for electric vehicles [en línia]

<https://www.emworks.com/application/switched-reluctance-motor-for-electric-vehicles> [17-09-2019]

RICHARDS, Frances, *Motors for efficiency: permanent-magnet, reluctance, and induction motors compared* [en línia]

<https://www.machinedesign.com/motorsdrives/motors-efficiency-permanent-magnet-reluctance-and-induction-motors-compared> [17-09-2019]

MAHDI, Mohammad, *Switched reluctance motor topologies: a comprehensive review* [en línia]

<https://www.intechopen.com/books/switched-reluctance-motor-concept-control-and-applications/switched-reluctance-motor-topologies-a-comprehensive-review> [17-09-2019]

BAZZI, Ali, *AC Induction Characterization* [en línia]

<https://www.love.com/science-education/10150/caracterizacin-motor-de-induccin-ac?language=Spanish> [22-09-2019]

BISTACK, Steve, *AC Induction vs Permanent Magnet Synchronous Motors* [en línia]

<https://empoweringpumps.com/ac-induction-motors-versus-permanent-magnet-synchronous-motors-fuji/> [22-09-2019]

- Roda:

Diccionari de la llengua catalana [en línia] <https://dilc.org/roda/> [7-08-2019]

MUCHONEUMÀTICO, *¿Cuáles son las partes de la rueda de un coche?* [en línia] <https://www.muchoneumatico.com/blog/noticias/cuales-son-las-partes-de-la-rueda-de-un-coche/> [7-08-2019]

FARLEX, *Thefreedictionary* [en línia] <https://www.thefreedictionary.com/car+wheel> [7-08-2019]

CARRIE, Chet, *Parts of a Car Wheel* [en línia] <https://itstillruns.com/parts-car-wheel-7346622.htm> [31-08-2019]

Heavy Equipment Comparison - Wheel VS Tracked [en línia] <https://www.depparts.com/blog/heavy-equipment-comparison-wheel-vs-tracked/#> [31-08-2019]

MATTRACKS, *ATV tracks* [en línia] <http://www.mattracks.co/tracks/atv-sxs/> [31-08-2019]

- Materials:

MERLOS, Josep Lluís, *La fabricació d'un cotxe: l'imperi dels sentits* [en línia] https://www.ara.cat/suplements/diumenge/fabricacio-cotxe-limperi-dels-sentits_0_1812418840.html [16-06-2019]

Diccionari de la llengua catalana [en línia] <https://www.dilc.org/acer/> [16-06-2019]

- Sistema de direcció i transmissió de moviment:

¿En qué consiste el sistema de dirección? [en línia] <https://www.rodes.com/mecanica/sistema-de-direccion-que-es/> [20-06-2019]

Dirección (automóvil) - Wikipedia [en línia] [https://es.wikipedia.org/wiki/Dirección_\(automóvil\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Dirección_(automóvil)) [20-06-2019]

Mecanisme de direcció - Viquipèdia [en línia] https://ca.wikipedia.org/wiki/Mecanisme_de_direcció [20-06-2019]

COLBO, Tallers, *La importància del alineat de direcció de les rodes* [en línia] <http://colbo.net/la-importancia-del-alineat-de-direccio-de-les-rodes/> [20-06-2019]

JOSÉ DOMINGUEZ, Esteban, *Sistemas de transmissió i frenada* [en línia]

https://books.google.es/books?id=6-jEAwAAQBAJ&pg=PA18&lpg=PA18&dq=funcionament+de+les+rodes+erugues&source=bl&ots=clkxrZBkB6&sig=ACfU3U3q_H49hIRZqhgRoQKwbqInIEJ9qA&hl=ca&sa=X&ved=2ahUKewj194LrpfjiAhXsRxUIHfuPDf0Q6AEwCHoECAkQAQ#v=onepage&q=funcionament%20de%20les%20rodes%20erugues&f=false [20-06-2019]

- Llums:

BELÉNDEZ, Augusto, *La unificació electromagnètica* [en línia] <https://metode.cat/revistes-metode/article/la-unificacio-electromagnetica.html> [18-08-2019]

IBÁÑEZ, P, *Sistemas de iluminación avanzados en coches* [en línia] <https://www.xataka.com/automovil/sistemas-de-iluminacion-avanzados-en-coches> [18-08-2019]

ANÒNIM, *Diodo LED* [en línia] <https://www.areatecnologia.com/electronica/como-es-un-led.html> [18-08-2019]

ANÒNIM, *LED* [en línia] <https://es.wikipedia.org/wiki/Led> [18-08-2019]

ANÒNIM, *Mari Carmen Montenegro recibe el premio "Najares" por su aportación en automoción* [en línia] <http://movilidadsosteniblemalaga.com/tecnologia-y-automocion/2988/> [18-08-2019]

GALINDO, Marián, *5 diseños para una iluminación sostenible* [en línia] <https://ecoemas.com/5-disenos-para-una-iluminacion-sostenible/> [18-08-2019]

- Electròlisi i pila d'hidrogen

Electròlisis [en línia] <https://www.ecured.cu/Electròlisis> [15-06-2019]

Electròlisis del agua [en línia]

<https://sites.google.com/site/cienciamateur/quimica/electrolisis-del-agua> [15-06-2019]

Pila de combustible - *Viquipèdia* [en línia]

https://ca.wikipedia.org/wiki/Pila_de_combustible [15-06-2019]

Electròlisi - *Viquipèdia* [en línia] <https://ca.wikipedia.org/wiki/Electr%C3%B2lisi> [15-06-2019]

Aigua - *Viquipèdia* [en línia]

https://ca.wikipedia.org/wiki/Aigua#Propietats_fisicoqu%C3%ADmiques [15-06-2019]

Molécula de agua [en línia]

https://es.wikipedia.org/wiki/Mol%C3%A9cula_de_agua#Caracter%C3%ADsticas_f%C3%ADsicas_y_qu%C3%ADmicas [15-06-2019]

ASENSIO, Juan Antonio; PÉREZ-COLL, Domingo; RUIZMORALES, Juan Carlos; MARRERO-LÓPEZ, David; NÚÑEZ, Pedro; BALLESTEROS, Belén; CANALES-VÁZQUEZ, Jesús, *Pilas de combustible de membrana polimérica* [en línia]

<https://www.raco.cat/index.php/afinidad/article/viewFile/268104/355685> [15-06-2019]

MÉNDEZ, Ángeles, *Electrólisis* [en línia] <https://quimica.laguia2000.com/conceptos-basicos/electrolisis> [15-06-2019]

Electròlisi de l'aigua [en línia]

<https://blocs.xtec.cat/cienciestic/files/2014/05/Pr%C3%A0ctica-Electr%C3%B2lisi.pdf> [15-06-2019]

Que es electrolisis? Quimica para todos - *FuseSchool* [en línia]

https://www.youtube.com/watch?v=7u1lq_Ofzgw [15-06-2019]

Sciencefix, *Water electrolysis* [en línia] https://www.youtube.com/watch?v=HQ9Fhd7P_HA [15-06-2019]

FuseSchool, *Hydrogen and Fuel cells/Chemistry for all* [en línia]

https://www.youtube.com/watch?v=5_IDGna9MBM&list=PLW0gavSzhMIReKGMVfUt6YuNQsO0bqSMV&index=5&t=0s [15-06-2019]

Electròlisi de l'aigua - *Science Bits* - *Youtube* [en línia]

<https://www.youtube.com/watch?v=d9YiX5dY86Y> [15-06-2019]

VÁZQUEZ, Victor, *Experimentació amb electròlisi i construcció d'una cel·la electrolítica* [en línia]

http://www.francescribalta.cat/joomla/images/stories/estudis/batxillerat/recerca/TR_Victor_Vazquez.pdf (19 de juny de 2019)

Descomposició del agua en hidrógeno y oxígeno mediante electrólisis - CienciaBit - Youtube [en línia] <https://m.youtube.com/watch?reload=9&v=wIAU0zReIRY> [20-06-2019]

Instituto LA MAGDALENA, *Electroquímica* [en línia]

<https://fisquiweb.es/Apuntes/Apuntes2Qui/Electroquimica3.pdf> [20-06-2019]

ANÒNIM, *Electroquímica, electrólisis y pilas* [en línia]

https://www.fisicanet.com.ar/monografias/monograficos2/es14_electroquimica.php [20-06-2019]

CARTAGENA, Franciscano, *Electrólisis* [en línia]

<http://www.franciscanoscartagena.net/documentos/fisica-quimica/Electroquimica/ELEC.htm> [20-06-2019]

FIERRO, José Luis, *El hidrógeno: metodologías de producción* [en línia]

http://www.fgcsic.es/lychnos/es/es/articulos/hidrogeno_metodologias_de_produccion [20-06-2019]

DILMEN, Nevit, *Demostración química de la electrólisis del agua* [en línia]

<https://steemit.com/stem-espanol/@leonardo/demostracion-quimica-de-la-electrolisis-del-agua-para-la-obtencion-de-hidrogeno-y-oxigeno-puro-or-area-reacciones-redox-or> [20-06-2019]

Equilibrio químico: Grado de disociación y concentración - Quimitube [en línia]

<http://www.quimitube.com/videos/grado-de-disociacion> [20-06-2019]

FLORES, David, *Electrólisis del agua* [en línia]

<https://sites.google.com/site/cienciamateur/quimica/electrolisis-del-agua> [20-06-2019]

GUERVÓS SÁNCHEZ, María Esther, *Tecnología para el hidrógeno: la pila de combustible* [en línea] <http://estherguervos.galeon.com/31tec.pdf> [20-06-2019]

THOMAS, Sandy, *Fuel Cell and Battery Electric Vehicles Compared* [en línea] https://www.energy.gov/sites/prod/files/2014/03/f9/thomas_fcev_vs_battery_evs.pdf [11-08-2019]

- Alumini:

Reaction of Aluminum with Water to produce Hydrogen - US Department of Energy [en línea] https://www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/pdfs/aluminium_water_hydrogen.pdf [17-09-2019]

PULSONE, Nicholas, *Aluminum as Fuel* [en línea] <https://www.techbriefs.com/component/content/article/tb/techbriefs/energy/28719> [17-09-2019]

PULSONE, Nicholas, *Aluminum-Water Energy System for Autonomous Undersea Vehicles* [en línea] https://www.ll.mit.edu/sites/default/files/page/doc/2018-06/22_2_5_Pulsone.pdf [17-09-2019]

World Aluminum - International Aluminum Institute [en línea] <http://www.world-aluminium.org> [17-09-2019]

Open Water Power - L3Harris [en línea] <https://www.openwaterpower.com/technology/chemistry.htm> [17-09-2019]

ELITZUR, Shani, *Electric Energy storage using Aluminum and water for hydrogen production* [en línea] https://www.researchgate.net/publication/291191524_Electric_energy_storage_using_aluminum_and_water_for_hydrogen_production_on-demand [17-09-2019]

WEYDAHL, Helge, *Fuel Cell Systems for long-endurance Autonomous Underwater Vehicles* [en línea] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319919318658> [12-10-2019]

CHEN, Yu-Kuang, *Rapid hydrogen generation from aluminum–water system by adjusting water ratio to various aluminum/aluminum hydroxide* [en línea] <https://link.springer.com/article/10.1007/s40095-014-0087-3> [12-10-2019]

Hydrogen air fuel cells [en línea] <https://www.fuelcellsetc.com/store/DS/hydrogen-air-flier.pdf> [12-10-2019]

5000W PEM Fuel cell [en línea] <https://www.fuelcellsetc.com/store/fuel-cells-and-accessories/FuelCells/5000-watt-pem-fuel-cell> [12-10-2019]

PISTOIA, Gianfranco, *Fuel cell vehicle* - *Science Direct* [en línea] <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/fuel-cell-vehicle> [12-10-2019]

Hydrogenics power module [en línea] <http://www.hydrogenics.com/wp-content/uploads/HyPM-180-SpecSheet.pdf> [12-10-2019]

Fuel Cell Stacks [en línea] <https://www.ballard.com/fuel-cell-solutions/fuel-cell-power-products/fuel-cell-stacks> [12-10-2019]

- Estat de la qüestió:

PASTRO, Javier, *Mientras el mundo piensa un futuro de coches eléctricos, Japón lo apuesta (casi) todo al coche de hidrógeno* [en línea] <https://www.xataka.com/vehiculos/mundo-piensa-futuro-coches-electricos-japon-apuesta-casi-todo-al-coche-hidrogeno> [20-06-2019]

COSTAS, Javier, *¿Qué pasará cuando los coches de hidrógeno sean asequibles?* [en línea] <https://www.motor.es/noticias/que-pasara-cuando-los-coches-de-hidrogeno-sean-asequibles-201957646.html> [20-06-2019]

TOYOTA, *Hydrogen for all* [en línea] <https://www.toyota-europe.com/hydrogen/> [20-06-2019]

TOYOTA, *What is hydrogen- Youtube* [en línea] <https://www.toyota-europe.com/hydrogen/what-is-hydrogen#/youtube/https%3A%2F%2F>

What is Hydrogen? - Toyota Europe [en línia]

www.youtube.com%2Fembed%2F0PN4XaMcrTQ%3Fcontrols%3D0%26showinfo%3D0%26autoplay%3Dtrue/size=fullscreen => fuel cell [20-06-2019]

CLAVERO, David, *Audi quiere liderar la carrera por el hidrógeno, aunque llegará tarde* [en línia] <https://www.diariomotor.com/tecmovia/2015/02/22/audi-quiere-liderar-la-carrera-por-el-hidrogeno-aunque-llegara-tarde/> [20-06-2019]

AUDI, *The Audi A7 Sportback h-tron quattro - Animation* [en línia] <https://www.audi-mediacycenter.com/en/audimediatv/video/the-audi-a7-sportback-h-tron-quattro-animation-2960> [20-06-2019]

- Estudi mediambiental:

ANÒNIM, *Gas de efecto invernadero* [en línia] https://es.wikipedia.org/wiki/Gas_de_efecto_invernadero [20-06-2019]

IRIBERRI, Ainoa, *Descubren una inimaginable nueva fuente de gases de efecto invernadero* [en línia] <https://omicrono.elespanol.com/2016/09/emision-de-gases-de-efecto-invernadero-presas/> [26-06-2019]

RIVERA, Alicia, *Aumenta la humedad del aire por el cambio climático* [en línia] https://elpais.com/diario/2007/10/12/sociedad/1192140005_850215.html [26-06-2019]

INTAGRI S.C , *Efectos del Exceso de Humedad del Suelo en el Sistema Radical y Absorción de Nitrógeno en el Maíz* [en línia] <https://www.intagri.com/articulos/agua-riego/exceso-humedad-del-suelo-en-sistema-radical> [26-06-2019]

- Informació sobre l'Antàrtida:

ANÒNIM, *Clima de l'Antàrtida* [en línia] https://es.wikipedia.org/wiki/Clima_de_la_Ant%C3%A1rtida [18-06-2019]

ANÒNIM, *Aerogenerador* [en línia] <https://ca.wikipedia.org/wiki/Aerogenerador> [18-06-2019]

MADRIDEJOS, Antonio, *Els vents expliquen l'augment del gel marí a l'Antàrtida* [en línia] <https://www.elperiodico.cat/ca/societat/20151105/els-vents-expliquen-laugment-del-gel-mari-a-lantartida-4649073> [18-06-2019]

ANÒNIM, *Antàrtida* [en línia] <https://es.greenpeace.org/ca/trabajamos-en/oceanos/antartida/> [19-06-2019]

JAUNÉ MIRET, Jofre, *L'Antàrtida també s'escalfa* [en línia] <http://blogs.ccma.cat/eltemps.php?itemid=18906> [19-06-2019]

MARTINEZ, Pol, *El gel de l'Antàrtida es fon però hi neva més que fa un segle* [en línia] <https://catalunyadiari.com/catalunya-meteo/gel-antartida-nevades-segle> [19-06-2019]

PERNAU, Gabriel, *Al pol Sud empès per la força del vent* [en línia] https://www.ara.cat/societat/Al-Sud-empes-forca-vent_0_604139602.html [26-06-2019]

ANÒNIM, *ACCIONA impulsa la primera expedición al Polo Sur, cero emisiones y 100% WindPowered* [en línia] <https://www.accionacom.es/noticias/accionacom-impulsa-la-primer-expedici%C3%B3n-al-polo-sur/> [26-06-2019]

Jupdyke, *Modular continuous Track System* [en línia] <https://hackaday.io/project/6106-modular-continuous-track-system> [26-06-2019]

15. Annex

- Annex 1: Tipus de cel·les de combustible
 - Anònim, *Pila de combustible* [en línia]
https://ca.wikipedia.org/wiki/Pila_de_combustible (28-08-2019)

Tipus	Electròlit	Ions	T (°C)	Catalitzador	Combustible	Oxidant	Eficiència elèctrica (%)
PEMFC	Membrana polimèrica	H ⁺	60-120	Pt	H ₂ , Gas	O ₂ , aire	40-60
AFC	Hidròxid de potassi (KOH)	OH ⁻	60-120	Pt/Pd, Ni	H ₂ , Gas pur	O ₂	60
PAFC	Àcid fosfòric (H ₃ PO ₄)	H ⁺	160-200	Pt	H ₂ , Gas	O ₂ , aire	40-50
MCFC	Carbonat de liti o potassi	CO ₃ ⁻²	600-700	Ni	H ₂ , Gas	O ₂ , aire	45-55
SOFC	Òxids de zirconi	O ⁻²	800-1000	-	H ₂ , Gas	O ₂ , aire	45-60
DMFC	Membrana polimèrica	H ⁺	50-100	Pt, Pt-Ru	Metanol líq.	O ₂ , aire	20-40

- Annex 2: Disseny 3D dels engranatges

