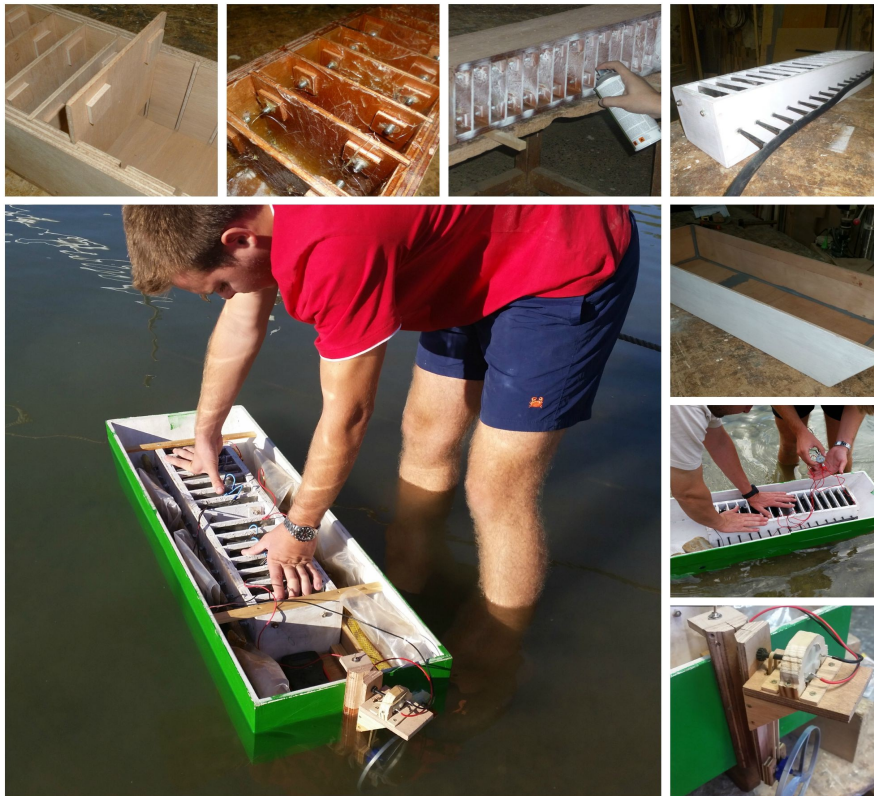


Disseny i construcció d'una pila voltaica.

Adaptació a un prototip de vaixell



Pseudònim:

Barrina

Promoció 2014-2016

Índex de continguts

Abstract.....	2
Introducció	3
Cronologia.....	4
Pila Voltaica.....	4
La pila Daniell	5
La cel·la Leclanché.....	5
La bateria de plom i àcid.....	6
Funcionament de la pila adaptada al prototip.....	7
Experiments Previs.....	8
· Alumini i carbó actiu	8
· Alumini i Acer inoxidable.....	9
· Zinc i Acer inoxidable.....	9
Anàlisi i plantejament de dissenys.....	11
Esbossos sobre dissenys per a la pila	11
Primer esbós.....	11
Segon esbós.....	12
Tercer esbós.....	14
Disseny de l'estructura del vaixell.....	15
Part experimental, Construcció	19
· Construcció de la pila voltaica.....	19
· Construcció de l'estructura del vaixell.....	21
Propostes de millora.....	25
· Circuit reductor.....	25
· Substitució dels elèctrodes de zinc.....	30
· Ús d'altres aïllants per a la pila.....	31
Resultats.....	32
Conclusió: Aplicació del projecte en vaixells reals.....	33
Valoració personal.....	35
Agraïments.....	35
Bibliografia.....	36
Webgrafia.....	36

Abstract

Nowadays, most of the vehicles use fossil fuels as energy source. This non-renewable energy source needs replacement by other more sustainable alternatives that come from renewable sources and which are also respectful to the environment.

This paper explains the design and creation of a voltaic cell using low-cost materials and their incorporation to the engine of a ship. Experiments were done in order to find efficient electrodes that can be adapted to a ship prototype's voltaic cell. The function of the electrodes was to generate a voltage reacting between them using sea water as electrolyte. The conductivity of the saline media allowed the current generation and the electrode interaction. The difference of potential created was used to feed a small electric engine, which was used to move the entire ship prototype. The main objective of the paper was to create a self-sufficient ship which works thanks to a cell capable of creating voltage using a renewable source, the sea water, in a non-pollutant way.

For the experiments, different types of metals were tried and the voltage given was recorded. The metals corrosion was also compared in order to find the less reactive electrodes which gave the higher voltage, Zinc and Stainless Steel were the metals which provided a better performance to the voltaic cell. For the design of the cell, some sketches were made after choosing the electrodes and checking its performance. After comparing the sketches, the most suitable and adaptable to a boat was chosen and constructed.

Introducció

La gran majoria d'automòbils que avui dia trobem en circulació usen com a font d'energia els combustibles fòssils. Aquesta font d'energia, destinada a ser exhaurida, necessita alternatives provinents de fonts renovables i respectuoses amb el medi ambient que permetran que els combustibles no tornin a generar preocupacions d'ara endavant.

En aquest treball es parla sobre la creació d'una pila voltaica i el seu disseny emprant materials de cost relativament reduït. S'intentà combinar metalls assequibles i adaptables a un prototip de vaixell. Es va generar voltatge emprant la combinació de planxes de metalls utilitzant l'aigua del mar com a medi salí que permet la seva interacció. Aquesta aigua del mar canalitzada origina l'aparició d'una diferència de potencial entre les planxes que alimentarà un motor el qual serveix per fer moure el prototip de vaixell.

El principal objectiu és, doncs, construir un aparell autosuficient amb materials de baix cost i/o reciclats. Aquest enginy utilitzaria una font d'energia "il·limitada" creant, així, un vaixell totalment auto-suficient. Alhora, vull ajudar a la preservació del medi creant un aparell totalment respectuós amb l'ecosistema i que empri fonts d'energia no renovables i/o que tinguin un impacte negatiu en la natura.

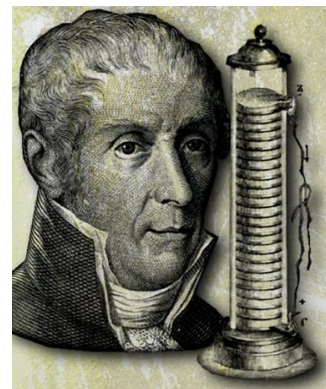
La pila és un aparell que transforma l'energia química d'una reacció en energia elèctrica, és a dir, electricitat. La gran majoria de piles estan basades en les anomenades reaccions d'oxidació-reducció i, gràcies a aquestes reaccions, es podrà generar voltatge a partir de l'aigua del mar a fi d'alimentar un motor elèctric. A l'apartat "Funcionament de la pila del prototip" s'explicarà amb detall el principi d'operació de la pila construïda en el treball.

Val a dir que la pràctica totalitat de vaixells actuals usen com a font d'energia el vent o combustibles fòssils. Els vaixells a vela depenen d'un factor incontrolable i, per tant, el seu correcte funcionament depèn de factors externs que no són controlables. El vaixells a motor, per altra banda, depenen de combustibles que s'exhaureixen i que comporten una despesa econòmica rellevant. Així doncs, es pot observar a primera vista que els vaixells actuals tenen uns desavantatges destacats que afecten el seu rendiment i autonomia, per aquest motiu, aquest treball de recerca es centra en construir un prototip de vaixell que no presenti aquests desavantatges i que, per tant, sigui un vaixell totalment auto-suficient.

Cronologia

Pila Voltaica

Actualment, la gran majoria de bateries estan basades en el principi descobert per Volta (1745-1827) el qual va esdevenir famós per un experiment descrit en una carta destinada a la Royal Society de Londres. Aquest experiment consistí en un conjunt de planxes de plata (Ag), o bé coure o llautó, alternades amb planxes de zinc (Zn), o bé estany. Cada parella de planxes estaven separades per un tall de teixit mullat amb salmorra (aigua amb sal). Així doncs, la col·locació d'aquests elements seguia el següent esquema: Ag / Salmorra / Zn / Ag / Salmorra / Zn / Ag / Salmorra... L'aparell acabava amb una planxa de diferent tipus a la inicial, en el cas de l'aparell plantejat



Il·lustració 1: Alessandro Volta i la seva pila voltaica.

anteriorment, acabaria amb una planxa de zinc. Volta observà que, connectant un terminal a la planxa de zinc final i un altre a la planxa de plata del costat oposat, l'aparell oferia un corrent constant. L'aparell de Volta fou, doncs, la primera pila (no-recarregable) que s'hagi inventat mai, malgrat se sospiti d'unes restes de l'any 226 d.C., trobades a la zona de Bagdad, que es creu que podrien haver actuat com a bateria. La pila voltaica, anomenada així en honor al seu inventor, genera corrent a causa de les reaccions de reducció-oxidació (redox) que succeeixen entre els dos elèctrodes (ànode i càtode) que conformen la pila: plata i zinc, en aquest cas.

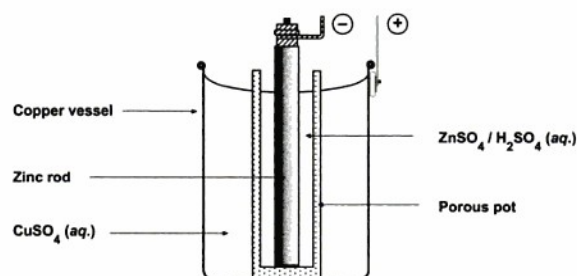
La plata recull els electrons despresos del zinc, durant el funcionament de la pila (explicat amb més detall a l'apartat homònim) la plata es redueix ($\text{Ag}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Ag}$) i el zinc s'oxida ($\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^-$). L'electròlit, salmorra en aquest cas, permet el transport de ions entre els elèctrodes, i els electrons produïts en les reaccions redox són recollits per elèctrodes i passen per un circuit extern mitjançant cables i poden ser aprofitats.

Subseqüentment, altres científics van desenvolupar nous tipus de piles primàries bastant similars al model ideat per Alessandro Volta, les invencions més rellevants són esmentades a continuació.

La pila Daniell

La pila Daniell fou inventada per el científic John Daniell (1790-1845), aquesta pila consisteix en una barra de zinc la qual es col·loca en un pot fet a base de materials porosos, ple de sulfat de zinc o bé àcid sulfúric. Al mateix temps, es submergeix aquest pot dins d'un recipient de coure ple de sulfat de coure, de la mateixa manera que mostra la Il·lustració 2. Daniell realitzà nombrosos experiments abans de arribar al model definitiu d'aquesta pila. Durant els anys 1850, aquest model de pila ideat per John Daniell fou àmpliament comercialitzada i utilitzada per a generar un corrent constant que alimentés els sistemes de telègrafs, pioners i en expansió en aquella època.

D'entre els experiments previs realitzats per aquest químic dins d'aquest camp, cal destacar el primer model de pila Daniell que ideà, en el qual no s'emprava un pot porós sinó que l'esòfag d'un bou era el que realitzava aquesta funció de separador entre els elèctrodes de zinc i coure.



Il·lustració 2: Esquema on es mostra els elements d'una pila Daniell

La cel·la Leclanché

La pila Lenclanché fou inventada per Georges Leclanché (1839-1882). La cel·la Lenclanché és un tipus de cel·la primària que consta d'una barra de zinc, la qual actua com a ànode i una altre de carboni, dipositada en un pot porós fet a base de diòxid de manganès (MnO_2), que fa la funció de càtode, ambdues barres se submergeixen en un pot emplenat amb clorur d'amoni. A primera vista, la disposició dels elements en un pila Lenclanché és similar al vist en una pila Daniell però amb la diferència que, en el cas de la Lenclanché, els elèctrodes són de zinc i carboni, enlloc de zinc i coure.

Cal afegir que Leclanché va realitzar diversos models d'aquesta pila amb la finalitat de reduir la resistència interna del primer model (dificultat que oferia al pas del corrent), fet que reduïa dràsticament el voltatge generat per la pila. D'entre aquests models posteriors de la pila de Leclanché, cal destacar:

La cel·la de blocs d'aglomerat: on el pot porós fou omès i substituït per blocs fets a base de diòxid de manganès i units al carboni per mitjà de gomes.

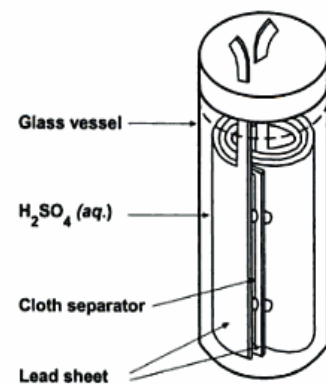
Cel·la de sac: per aquest model de pila, Lenclanché substituï el pot porós per un embolcall fet a base de fibres tèxtils, a més a més, el químic francès opta per l'ús de cilindres de zinc en comptes d'una barra, per a l'obtenció d'una major superfície de contacte i així millorar la reacció química. Aquest model fou el que va obtenir la menor resistència interna d'entre els models d'aquesta pila.

La pila de Lenclanché és la vertadera precursora de les actuals piles salines, també anomenades piles de zinc-carboni.

La bateria de plom i àcid

Més tard, el 1859, el químic Gaston Planté (1834-1889) feu una demostració d'una pila inventada per ell mateix i feta a base de plom i àcid. Aquesta pila té la particularitat que va ser la primera pila secundària de la història, és a dir, va ser la primera pila recarregable.

Aquest revolucionari invent de Planté consta d'un pot de vidre ple d'àcid sulfúric en el qual s'hi submergeixen dos espirals de plom separats per un fi teixit, usualment lli. Aquest prototip de pila que Planté presentà oferí un corrent molt petit a causa de la reduïda superfície de contacte que hi ha entre els elèctrodes, és per això que nombrosos científics han anat suggerint nous models d'aquesta pila fins a arribar a les piles de plom i àcid actuals, emprades, per exemple, en els automòbils.



Il·lustració 3: Parts que conformen la pila ideada per Planté

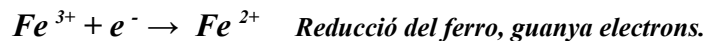
Malgrat els avantatges de les piles secundàries, per a la realització d'aquest treball m'he basat en els principis de les bateries primàries, a causa de la seva capacitat per adaptar-se al vaixell. A més a més, la pila voltaica no usa productes químics de difícil obtenció sinó que l'aigua amb sal és suficient per a la generació d'un voltatge constant.

Funcionament de la pila adaptada al prototip

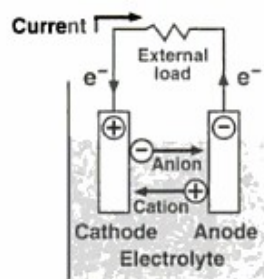
Com s'ha mencionat anteriorment, una pila està formada per una sèrie d'elèctrodes, que reaccionen entre ells, i l'electròlit, que comunica els elèctrodes i en permet la interacció. Les piles i bateries són dispositius que transformen l'energia química, que es produeix en aquestes reaccions, en energia elèctrica, electricitat.

L'energia elèctrica es pot traduir com un desplaçament d'electrons que, en el aquests casos, han estat alliberats en les reaccions entre els elèctrodes. Aquestes reaccions químiques reben el nom de reaccions de reducció-oxidació, sovint abreujades com "redox". Aquestes reaccions depenen dels elèctrodes que conformin la pila, ja que es poden dur a terme entre un considerable nombre d'elements diferents. A continuació es centrarà la informació en el cas de la pila construïda en aquest treball de recerca.

La pila realitzada en aquest treball consta d'elèctrodes de zinc i acer inoxidable. Aquests materials actuen com a ànode (-) i càtode (+), respectivament. Durant el funcionament de la pila, el zinc s'oxida i l'acer, concretament el ferro present en l'aliatge, es redueix, aquestes dues sub-reaccions es representen amb la següent equació:



La pila construïda té les parts bàsiques que s'assenyalen a la següent il·lustració. Els elèctrodes corresponen al zinc i a l'acer inoxidable, seleccionats d'entre diverses mostres analitzades al llarg del treball, l'electròlit, que sovint està format per àcids (com el sulfúric), serà, per aquest treball, aigua de mar.



Il·lustració 4: Esquema sobre el principi de funcionament d'una pila i els seus principals components.

Experiments Previs

Per poder veure quins materials s'adaptarien millor a la meua pila segons la seva funció, he dut a terme un seguit d'experiments on he comparat diversos metalls per poder apreciar el seu comportament davant de l'aigua de mar i la seva interacció com a elèctrodes amb altres metalls. Aquests experiments tenien la finalitat de poder triar els elèctrodes que més bon resultat donin i alhora que més bé es conservin.

• *Alumini i carbó actiu*

(Il·lustració 5.3)

La funció d'aquest experiment fou la d'apreciar el comportament de l'alumini en un medi alcalí (aigua de mar) i saber quin voltatge i corrent proporciona la reacció de l'alumini amb mostres de carbó actiu. Aquesta primera prova està basada en les cel·les d'alumini-aire (Al-Air Fuel Cell), un tipus de pila de combustible que proporciona corrent gràcies a la reacció entre l'ànode d'alumini i el càtode, el qual és l'oxigen provinent de l'aire. En les cel·les d'una Al-Air Fuel Cell hi tenen lloc dues reaccions químiques, una al càtode i una altre a l'ànode, les quals corresponen, respectivament, a les següents equacions: $O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$, $Al + 3OH^- \rightarrow Al(OH)_3 + 3e^-$. En aquestes piles, els elèctrodes són separats per mitjà d'un electròlit alcalí, així doncs, l'aigua de mar pot ser emprada com a elèctrode degut a la seva alcalinitat natural.

Per a la realització d'una cel·la d'alumini-aire vaig emprar una safata d'alumini i una solució d'1 molar d'aigua amb sal. Vaig embolicar uns 5 g, aproximadament, de carbó actiu amb paper de cuina i el vaig mullar amb la solució d'aigua amb sal. Seguidament, vaig col·locar un fil de coure en contacte amb el carbó actiu i vaig dipositar-lo sobre la safata d'alumini. Després de fixar un altre fil de coure en contacte amb el de la safata d'alumini, la vaig plegar deixant el carbó actiu a l'interior. Tot seguit, un polímetre en la funció de mesurar voltatges em va servir per poder veure quina tensió m'oferia aquesta reacció. El voltímetre em marcava un voltatge lleugerament oscil·lant que rondava entre 0,2 i 0,3 V al cap de 5 min de funcionament. La reacció va assolir un voltatge màxim de 0,599 V. El corrent màxim al que va arribar van ser 0,03 A, que es van assolir quan es premia la planxa d'alumini amb el carbó actiu a l'interior. L'endemà, vaig comprovar l'estat de la pila i es podia observar que l'alumini estava considerablement desgastat, la seva superfície va quedar deteriorada i les partícules de sal hi quedaven fixades, a més a més, bona part de les partícules de carbó actiu estaven dissoltes en l'electròlit.

· *Alumini i Acer inoxidable*

Aquest experiment tenia com a objectiu comprovar la interacció de l'alumini amb la de l'acer inoxidable (un material molt més resistent i durador). Vaig utilitzar dues planxes de 15x15cm de acer inoxidable i alumini pur. Per a la realització d'aquest experiment es va emprar una mostra d'aigua de mar abocada en un petit bidó. El bidó emprat tenia una capacitat de 15 L però només va ser emplenat amb 1,5 L d'electròlit. Vaig posar les dues planxes en remull a 22 cm l'una de l'altra i, utilitzant unes pinces de cocodrill, vaig connectar-les a un voltímetre, l'alumini actuava com ànode (-) i l'acer, com a càtode (+). El voltímetre registrà uns valors que, a partir de 0,522V, augmentaven progressivament aproximadament cada segon fins a un valor estable de 0,536V, aproximadament. El corrent assolit fou de 0,016 A.

Després de 24 h, les planxes van ser analitzades i la deterioració de l'alumini va ser observada de nou. El resultat fou similar al de l'alumini utilitzat en l'experiment previ, la superfície era rugosa i amb partícules de sal fixades en ella.

Malgrat que l'alumini és un bon elèctrode perquè és un material molt lleuger i atorga un corrent constant amb un voltatge considerable, la seva degradació progressiva reduirà significativament el rendiment del conjunt.

Per altra banda, les planxes d'acer inoxidable no van ser danyades per l'efecte de l'aigua de mar i van resultar tenir un bon funcionament. Alternatives a l'ànode d'alumini foren estudiades, tal i com s'explica a continuació.

· *Zinc i Acer inoxidable*

Per a la realització d'aquest experiment vaig utilitzar planxes de la mateixa mida que en l'anterior, 15 x 15 cm, i el mateix bidó ple d'aigua de mar. Les planxes van ser submergides al bidó i separades per 22 cm, tal i com es realitzà en l'experiment amb acer i alumini. En aquest cas però, vaig pensar en utilitzar zinc i vaig poder apreciar que el voltatge que la cel·la oferí va ser superior: oscil·lava vora els 0,7 V i oferia un corrent de 0,014 A durant un període de 4 h, aproximadament. Després d'aquest període, el voltatge va decreixer 0,1 V i el corrent, 0,002 A. L'endemà vaig comprovar les planxes i va resultar que no es van deteriorar i pràcticament s'havien conservat igual així que vaig optar, doncs, per aquests dos metalls.

Seguidament ambdues planxes foren ratllades utilitzant un esmolador radial per verificar si l'augment de superfície de contacte afectava positivament a la reacció (redox) i, per tant, ajudava a adquirir un voltatge o intensitat superior. El voltatge enregistrat, emprant les mateixes planxes (ratllades), separades 22 cm l'una de l'altra, va ser de 0,8 V, 0,1 V més que utilitzant les planxes sense ratllar. El corrent mesurat també fou més elevat, en concret, fou de 0,017 A. Vaig mirar de fer connexions en sèrie, si les feia en un mateix bidó ple d'aigua de mar vaig poder veure que no es generava corrent, les planxes es contrarestaven. Vaig comprovar, doncs, si les connexions en sèrie donaven bons resultats col·locant les planxes en tres bidons diferents (una de zinc i una d'acer en cada bidó ple d'aigua de mar). Aquesta combinació va produir un voltatge mitjà d'2,4 V (equivalent al voltatge teòric que ofereix la connexió de cel·les de 0,8 V cadascuna, $0,8 \text{ V} \times 3 = 2,4 \text{ V}$). Vaig concloure, doncs, que les connexions en sèrie es produïen de manera reeixida. El corrent no va variar en les connexions en sèrie. Seguit d'aquest experiment es van abocar 4 g de carbó actiu a cada bidó (electròlit) per veure si afectava a la reacció i, com es creia, actuava com a catalitzador ajudant a crear un voltatge superior. Després d'abocar el carbó actiu, el voltatge no va ser modificat, fet que indicà que el carbó actiu no actuava en la reacció o bé que el seu efecte era negligible, per tant, vaig decidir no emprar-lo en la pila. Vaig deixar les 3 cel·les en funcionament per observar la seva deterioració. Vaig poder apreciar que, al cap de 15 min el voltatge es reduïa 0,1 V. Al renovar l'aigua, els valors tornaven a incrementar-se.

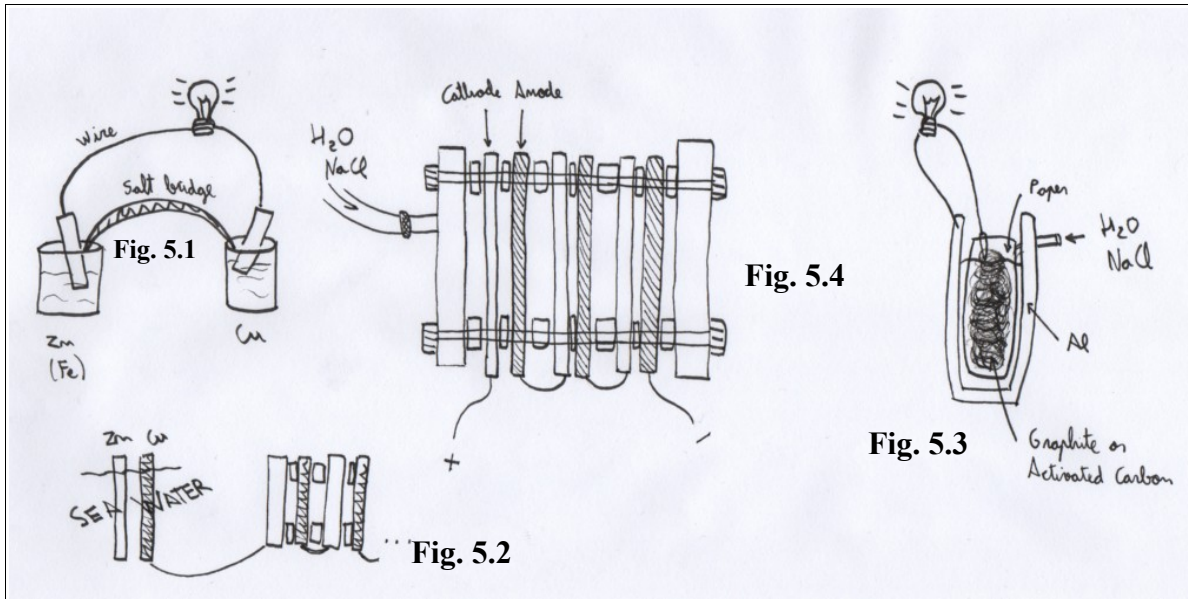
Després d'analitzar les dades vaig començar a dissenyar la pila basant-me en els resultats obtinguts. Vaig concloure que la pila hauria d'estar confeccionada per una estructura de fusta amb 15 cel·les (15 planxes de zinc i 15 d'acer) connectades en sèrie, amb un sistema de renovació de l'aigua que entrés del mar i, d'aquesta manera, millorar l'eficàcia de la pila. Es va decidir fabricar una pila de 15 cel·les per tal d'obtenir un voltatge de 12 V ($0,8 \text{ V} \times 15 = 12 \text{ V}$), un valor de voltatge freqüent entre motors de dimensions reduïdes. Després d'alguns esbossos vaig optar per un disseny fet amb fusta (pintada amb fibra de vidre, per evitar la seva deterioració) i amb uns separadors del mateix material i recobriment, per evitar que l'electròlit de les diverses cel·les es barrejés ja que això, com he pogut observar anteriorment, afectaria molt negativament al rendiment de la pila.

El disseny final va ser escollit a partir d'alguns esbossos sobre diferents maneres de construir la pila definitiva la qual s'adaptés a l'estructura del prototip de vaixell, explicada, també, en el següent apartat.

Anàlisi i plantejament de dissenys

Esbossos sobre dissenys per a la pila

Primer esbós



Il·lustració 5: Primer esbós sobre com anava a ser la pila del prototip.

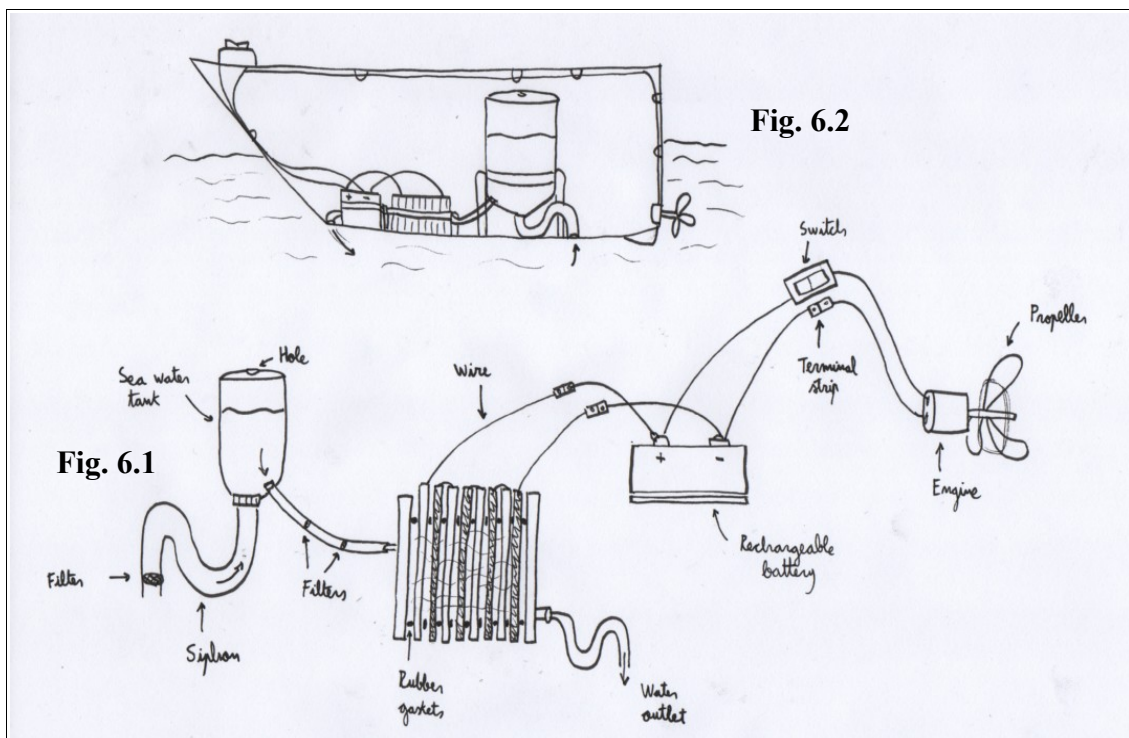
La Fig 5.1 mostra una cel·la galvànica de manera esquemàtica. El zinc i el coure estan comunicats per un pont salí (entre els elèctrodes) i cables entre les planxes, gràcies a aquests cables, l'electricitat produïda podria ser usada, en aquest cas, per alimentar el motor del vaixell. Aquest dibuix va ser utilitzat per pensar sobre alternatives a aquest model de cel·la ja que és un model difícil d'adaptar al vaixell a causa de la seva complexitat.

A la Fig. 5.2 hi ha el principi de funcionament de la pila, connectada en sèrie i adaptada al prototip. Aquest dibuix va ser realitzat després de descobrir que el zinc (Zn) i el coure (Cu) produïen un voltatge fent servir aigua de mar com a electròlit que els separés, en comptes de connectar els elèctrodes amb un pont salí (més difícil d'obtenir). La Fig. 5.2 està basada en la pila voltaica. Usant aquest principi, les connexions entre els elèctrodes seran molt més fàcils i compactes i això es pot traduir en major adaptabilitat al vaixell. Juntes de goma podrien ser suficients per separar ambdós metalls i connectar alguns parells en sèrie per produir voltatge suficient per alimentar al motor.

A la Fig. 5.3 hi ha una il·lustració sobre una pila d'alumini-aire, similar al model construït en el primer experiment del treball. A la il·lustració, es pot observar l'alumini actuant com a recipient. Dins d'aquest hi ha el carbó actiu cobert amb paper. Un tub de plàstic permet l'entrada d'aigua de mar i, usant cables connectats a l'alumini i el carbó actiu, es podria recollir l'electricitat produïda. Les connexions en sèrie entre les cel·les són una bona opció a causa de la seva senzillesa i compacitat. No obstant això, després d'apreciar la ràpida deterioració de l'alumini, es va descartar aquesta opció. Noti's que, en el sistema plantejat, hi faltaria un sobreexidor per permetre el flux constant d'aigua.

La darrera il·lustració (Fig. 5.4) està basada en la Fig. 5.2, és un dibuix sobre com seria aquest tipus de pila segons el principi mostrat en la Fig. 5.2. El model descrit en aquest dibuix consisteix en un conjunt d'elèctrodes (ànodes i càtodes), separats per juntes de goma. La pila anava a estar tancada per dos planxes de metacrilat. L'aigua seria injectada en un cantó emprant tubs de plàstic i evacuada gràcies a un forat situat al costat oposat.

Segon esbós



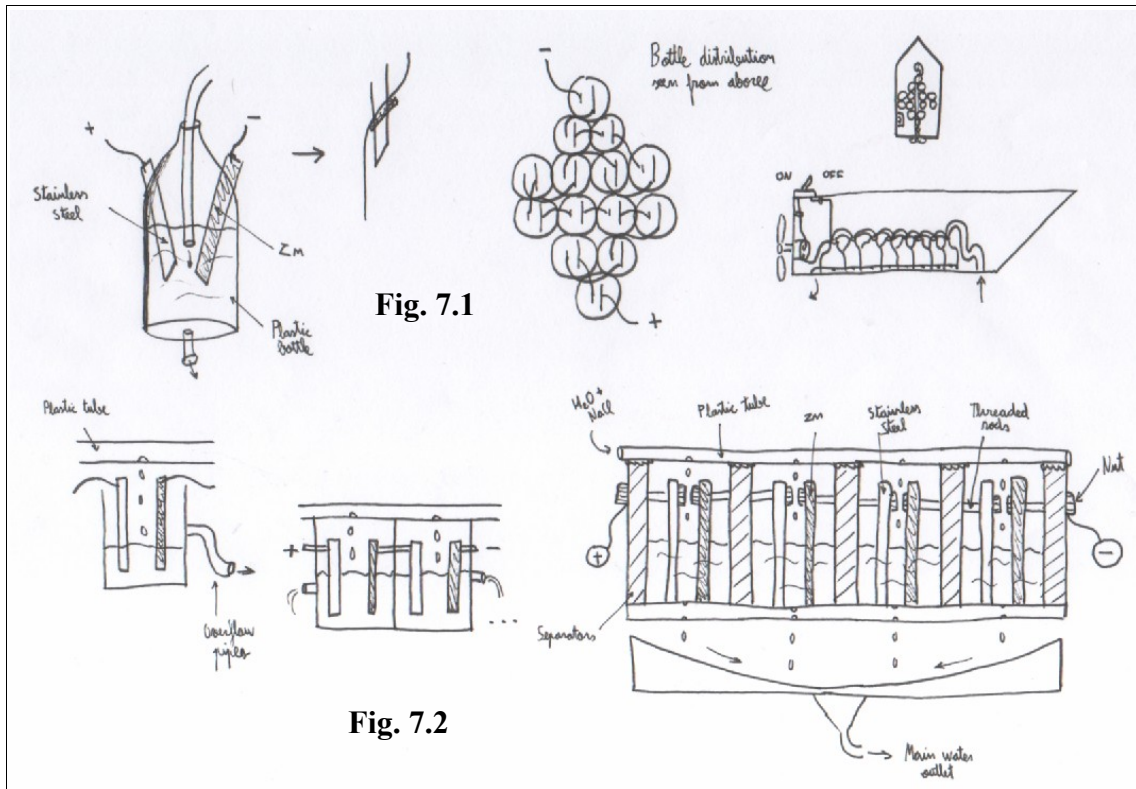
Il·lustració 6: Segon esbós, fet després de triar el tipus de cel·la que seria utilitzada.

A la Fig. 6.1 hi ha dibuixat un circuit esquemàtic que podria ser emprat per a l'alimentació del motor. L'aigua de mar entraria a un tanc passant a través d'un filtre, per evitar partícules sòlides i, seguidament, a través d'un sifó, també per netejar l'aigua de mar que entra al circuit. Un cop l'aigua és a dins del tanc, el qual té un forat per permetre l'entrada d'aigua i també per evacuar l'aire romanent al tanc, l'aigua es conduïda a la cel·la per mitjà de tubs de plàstic. Aquests tubs de plàstic tenen, també, filtres per minimitzar el risc de obstruir la cel·la.

La cel·la és del mateix tipus que la explicada en l'esbós anterior, la cel·la seria omplerta per aigua i, després de circular a través d'ella, l'aigua seria evacuada emprant una sortida d'aigua al costat oposat de la cel·la. La pila seria connectada a una bateria recarregable. Aquesta bateria emmagatzemaria l'electricitat produïda per la pila. Mentre el motor funcionés, la bateria recarregable l'alimentaria i, quan el prototip no estigui en funcionament, la pila generaria electricitat per alimentar la bateria. Si fos possible, la cel·la també alimentaria la bateria mentre el motor estigués en funcionament, per així poder proveir electricitat il·limitada al motor. Un interruptor ens permetria el control del motor.

A la Fig. 6.2 hi ha un esbós sobre com el circuit hauria de ser col·locat a l'estructura del vaixell. Cal destacar la importància de col·locar el tanc per sota del nivell del mar i la pila per sota del tanc a fi que l'aigua del mar arribi a la cel·la per mitjà de la gravetat. Sota el tanc, hi ha l'entrada d'aigua de mar i, a l'esquerra, la sortida principal d'aigua. En aquest cas, la sortida d'aigua hauria de tenir una vàlvula antirretorn per evitar l'entrada d'aigua de l'exterior al circuit a través del tub de sortida. És, també, molt important mantenir el circuit ben aïllat per neutralitzar possibles riscos. Tal i com es pot apreciar a la il·lustració, el motor es troba situat a dins del vaixell, ben fixat. L'eix del motor estaria adaptat a unes hèlices, part de la qual estaria fora de l'estructura, es per això que les hèlices han de ser resistents a l'aigua. L'interruptor es situaria a l'exterior del vaixell, d'aquesta manera, és molt més fàcil controlar el vaixell i no és necessari moure/treure la coberta. No obstant això, la coberta seria fàcil de manipular ja que tindria diverses xarneres que la farien mòbil. El sistema de tancament consistiria en el sistema emprat en els taps mecànics, presents, per exemple, en diverses ampolles. Tots els marges estarien coberts amb juntes de goma per tal de que l'aigua de mar no pogués entrar a través de la coberta del vaixell.

Tercer esbós



Il·lustració 7: Comparació entre dos possibles tipus per a la pila final.

Un cop el circuit estava dissenyat, es van dur a terme més experiments amb la finalitat de triar el millor material per a la realització dels elèctrodes de la pila pel prototip. Durant aquests experiments, es va veure que els elèctrodes no incrementaven el voltatge quan aquests compartien el mateix electròlit, degut a la seva mútua neutralització. Així doncs, fou necessari que cada cel·la contingui electròlits diferents, és a dir, que l'electròlit no sigui comú entre les cel·les. La il·lustració 7 mostra esbossos sobre com separar els electròlits de cada cel·la de la pila i, d'aquesta manera, evitar la neutralització entre les cel·les.

A la Fig. 7.1, es mostra una cel·la esquemàtica basada en ampolles de plàstic. En aquest tipus de pila, els elèctrodes estarien introduïts dins d'una ampolla de plàstic gràcies a uns forats i, després, serien fixats amb cola termo-fusible. Un tub de plàstic seria utilitzat per emplenar l'ampolla amb aigua de mar i, després, un altre tub col·locat a la base de l'ampolla evacuaria l'aigua i la mantindria en moviment constant. A la dreta, es pot apreciar la distribució d'aquestes ampolles, vistes des de dalt, aquesta distribució generaria uns 9,8 V teòrics, suficients per alimentar el petit motor del prototip. A l'esbós hi ha també dibuixades les connexions amb cables entre les ampolles. Finalment,

hi ha una vista esquemàtica del vaixell amb aquesta cel·la i com entraria l'aigua al prototip i, després, un tub a la part inferior a aquest l'evacuaria a la part posterior. La col·locació del motor i la del interruptor és la mateixa que en l'esbós previ.

Degut a la complicació de les connexions entre les cel·les de la bateria plantejada a la Fig. 7.1, es plantejà la Fig. 7.2 com a alternativa.

Després dels dos esquemes sobre la pila, l'esbós final fou realitzat. A la bateria mostrada a la part inferior dreta de l'esbós, cada cel·la té el seu propi electròlit i un tub de plàstic situat a la part superior de la pila, el qual serviria per emplenar els diversos compartiments amb aigua de mar. L'aigua residual entraria en un altre tub situat sota la bateria que s'encarregaria de conduir-la a l'exterior. En lloc d'emprar fils de coure per a les connexions entre les cel·les, els quals reaccionen amb l'aigua de mar i s'oxiden amb facilitat, es va pensar en emprar varetes roscades, les quals es fixarien a les planxes per mitjà de femelles.

A causa de la seva estabilitat i compacitat, aquest model fou l'escollit per construir-lo. L'única diferència entre el model plantejat i el resultat final és la col·locació dels tubs d'entrada i sortida d'aigua, els quals es troben als laterals i no a la part superior i inferior de la pila.

Disseny de l'estructura del vaixell

Un cop acabada la pila, es prosseguí en idear un disseny per a l'estructura del vaixell que s'adaptés a la pila construïda. Per al disseny del vaixell es buscà, sobretot, la facilitat a l'hora de construir així com la lleugeresa i l'estabilitat, factors determinants a l'hora de desenvolupar-lo.

Finalment, s'optà per un disseny inspirat en els bots de desembarcament emprats per al transport de tropes i vehicles militars i característics pel seu fàcil desembarcament. Aquest tipus de bots van adquirir popularitat, sobretot, en el desembarcament de Normandia, a finals de la Segona Guerra Mundial (1939 -1945). Es tracta d'un tipus de bot d'estructura simple i compacta. La seva quilla es recta i el calatge té forma rectangular. Prescindeix de corbes en la seva estructura, fet que facilita molt notablement la seva construcció. Al ser un bot de forma purament rectangular, la col·locació i fixació de la pila al seu interior es veu facilitada. A continuació es mostra una imatge d'un bot de desembarcament comercial. Observi's, sobretot, la seva forma rectangular i l'absència d'una quilla corbada, present en la majoria d'embarcacions.

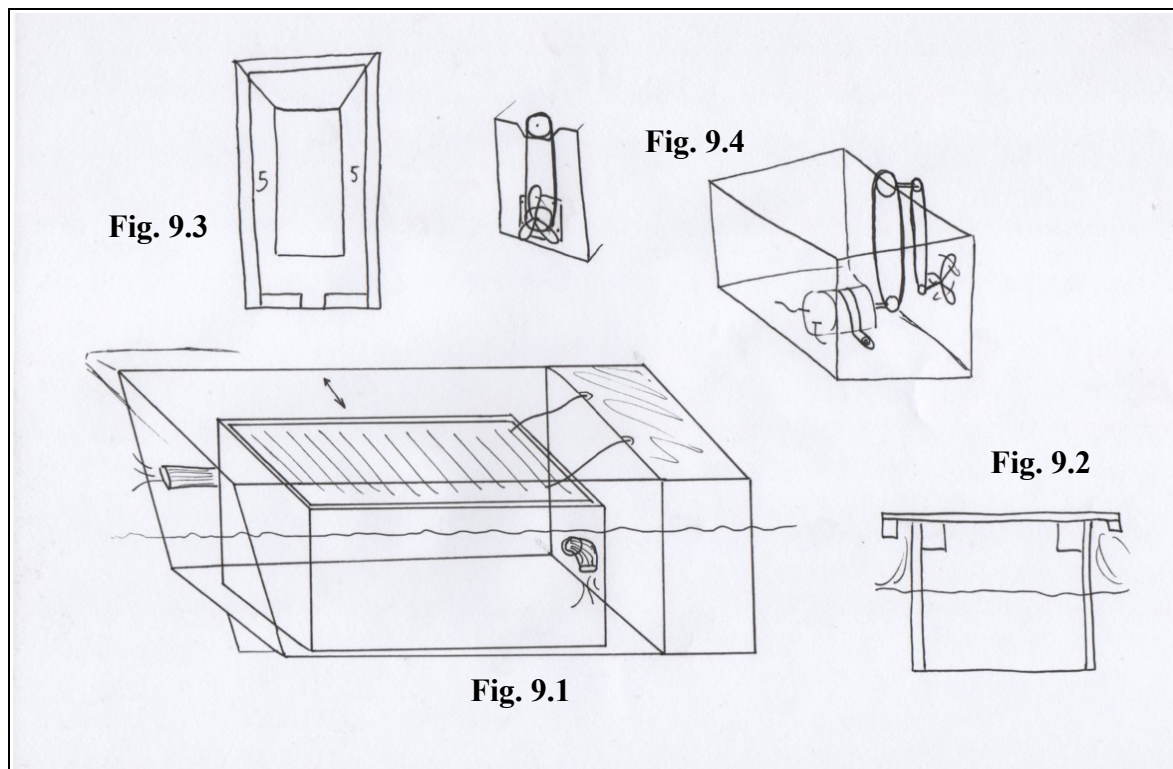


Il·lustració 8: Petit bot de desembarcament fet a base d'alumini.

Seguidament, es va determinar la mida de l'estructura a construir en funció de la mida de la pila anteriorment realitzada. En el cas de l'estructura ideada, la pila es col·locaria a la coberta i podria ser protegida de l'exterior gràcies a una tapa batent o fixa que cobreixi tota la part superior del prototip aïllant-lo totalment de l'aigua i el vent, així com altres possibles adversitats. El disseny pensat disposaria d'un caixó situat a la part posterior del vaixell, aquest caixó romandria totalment separat de la pila i aïllat, ja que s'empraria per col·locar-hi totes les connexions elèctriques així com el motor que ha de propulsar tot el conjunt. Gràcies a aquest caixó aïllat s'eviten els problemes derivats del contacte amb l'aigua tals com possibles curtcircuits en les connexions o bé l'oxidació dels components metàl·lics. Per a la transmissió del moviment des del motor fins a les hèlices, s'ha pensat en una transmissió per corretja que evitar tenir el motor al descobert i, malgrat les pèrdues que aquesta transmissió provoca, facilita l'aïllament del motor i el moviment de les hèlices sense necessitat de components més difícils d'obtenir, tals com coixinets (com havia pensat anteriorment), i amb un muntatge més simplificat.

Ja pel que fa l'estètica, es va pensar en afegir una cabina a la zona de popa, per recrear una maqueta de vaixell i també es prosseguí a pintar tota la part exterior per, també, aïllar la fusta de l'aigua i reduir el seu fregament envers aquesta, fet que ajudarà a un millor rendiment de l'aparell. Posteriorment s'afegí una orsa i una quilla externa a l'estructura per assegurar la seva estabilitat i consistència, respectivament.

A continuació es mostra un esbós sobre l'estructura del vaixell que es va fer. Tot seguit, s'explica amb detall cadascuna de les parts que conformen aquest esbós.



Il·lustració 9: Esbossos sobre l'estructura del vaixell i l'aïllament del motor.

La Fig. 9.1 mostra una vista general de l'estructura del vaixell amb la pila situada al seu interior. L'objectiu d'aquest esbós era fer-se una idea de la situació dels elements del vaixell i les mides aproximades que hauria de tenir l'estructura. Observi's que es delimita cert espai entre les parets interiors de l'estructura i la pròpia pila, d'aquesta manera es garanteix suficient espai pels tubs laterals de la pila. Cal destacar l'aïllament total del caixó de popa, on només hi ha dos forats per l'entrada dels fils elèctrics que alimentaran el motor. L'estructura de l'esbós consta d'un forat davanter i un altre de lateral per a l'entrada i sortida de l'aigua a la pila. També s'indica el nivell per on hauria de quedar la superfície per un funcionament òptim del vaixell, el cas és, però, que finalment s'optà per fer que ambdues sortides quedessin per sota la superfície i, d'aquesta manera es garanteix una entrada i una sortida d'aigua per ambdós tubs. Malgrat que, d'aquesta manera, ambdós tubs realitzen la mateixa funció, es pot assegurar una circulació ininterrompuda d'aigua de mar, fet que ha de millorar l'eficiència de la pila. Finalment, els traços que es poden apreciar a la cantonada superior esquerra de l'estructura fan referència a la tapa que cobriria el vaixell, la qual, tal i com s'indica a l'esbós, sobresortiria pels laterals.

Fig. 9.2, aquesta il·lustració mostra l'estructura del vaixell vista des del davant. Aquest esbós s'emprà per determinar la forma de la tapa que ha de cobrir la coberta de tal manera que es minimitzi l'entrada d'aigua no desitjada. Tal i com es mostra la tapa sobresurt pels laterals, tal i com s'indica a l'esbós anterior, i, a més a més, té un gruix a la part posterior que frena l'aigua del mar. Aquest gruix es tracta d'un llistó de fusta encolat als laterals de la tapa. Tal i com l'esbós indica, quan les esbotzades impactin al vaixell, el llistó les frenarà. Un cop frenada, l'aigua s'evacuarà al baixar regalimant pel llistó. Observi's també la col·locació de llistons per dins del vaixell, els quals facilitarien la fixació de la tapa.

La Fig. 9.3, mostra la vista superior de l'estructura del vaixell amb un llistó interior que envolta tot el perímetre de l'estructura. Aquest llistó té com a funció, com ja s'ha dit, facilitar la subjecció de la tapa de coberta del vaixell. El 5 indica l'amplada aproximada del llistó (en centímetres). Fixi's que s'ha deixat un espai a popa, el qual ha de servir de pas per la corretja i les politges que transmeten el moviment del motor a l'hèlice, recordant que al final es decidí ometre el sistema de coixinets.

Finalment, la Fig. 9.4, mostra l'interior del caixó de popa. Dins del caixó hi trobem el motor, fixat a l'estructura gràcies a una abraçadora. El motor es troba connectat directament amb els cables de la pila. A l'eix del motor hi ha una petita roda que es comunica amb un altre situada al marge de l'estructura, just a sobre del motor. Ambdues rodes estan comunicades per una corretja de goma. De l'eix de la roda superior se'n desprèn una altra que comunica amb les hèlices, situades a sota, submergides. Malgrat el baix rendiment del disseny, s'assegura un total aïllament dels elements del caixó envers l'aigua. Observi's el petit dibuix situat a l'esquerra de l'esbós principal, podem observar amb detall les dues rodes exteriors, la superior descansa en una encaix fet a mida. L'hèlice està fixada al vaixell per mitja d'una planxa de ferro, la qual en permet el moviment giratori.

Fent referència a l'esbós 9.4, la col·locació de l'hèlice fou lleugerament modificada i finalment s'establí el motor i l'hèlice en un conjunt mòbil i extern al vaixell tal i com s'explica a l'apartat de "Construcció de l'estructura del vaixell".

Part experimental, Construcció

· *Construcció de la pila voltaica*

Per a la construcció he utilitzat planxes dels respectius metalls, zinc i acer inoxidable, de 15x15 cm, encaixades en una caixa feta de fusta i que posteriorment serà aïllada. Les mides internes de la caixa, sense considerar el gruix de la fusta, són: 63 cm de llarg, 13 cm d'ample i 12 cm d'altura. Les separacions entre les cel·les també són de fusta i per a les connexions en sèrie es fixaran les planxes de dos tipus diferents, situades l'una a cada costat del separador. D'aquesta manera es substituiran els fils de coure, molt propensos a oxidar-se, per a unes connexions en sèrie molt més compactes ja que s'empraran rosques inoxidables.



Il·lustració 10: Caixa on es construirà la cel·la i separadors de fusta.



Il·lustració 11: Detall dels encaixos.

Un cop la caixa, amb 15 encaixos i els separadors (de la mateixa mida que les planxes) són tallats (Il·lustració 10), es van tallar 30 varetes roscades de 6 mm de diàmetre que es col·locaren als forats de cada separador i es fixaren amb cola termo-fusible, tal i com mostra la següent imatge. Aquestes varetes s'utilitzaren per connectar en sèrie les diverses cel·les les quals fan 3,5 cm de llarg, 13 cm d'ample i 12 cm d'alt.



Il·lustració 12: Separadors amb les varetes roscades.

Un cop fixades les varetes roscades, aquestes van ser embolicades amb cinta americana per evitar que la rosca es faci malbé durant el procés d'aïllament de la fusta, explicat a continuació. Per l'aïllament de la fusta, s'ha utilitzat resina de polièster que ha servit per enganxar fibra de vidre a la superfície del material.

Les imatges següents mostren el procés de tallar la fibra de vidre i encaixar-la a cada compartiment per després fixar-la a la superfície utilitzant un pinzell i la resina de polièster. La segona imatge mostra algunes cel·les de la pila un cop aïllada, la superfície de del conjunt es va polir posteriorment amb l'objectiu de facilitar la feina posterior així com millorar la seva estètica.



Il·lustració 13: Col·locació de la fibra de vidre.



Il·lustració 14: Fixació de la fibra de vidre.

Un cop l'estructura està aïllada, es realitzaren uns forats als laterals que permetran l'entrada (per un costat) d'aigua a cadascun dels compartiments de la pila i la sortida (a l'altre). Aquests forats ens ajudaran a que hi hagi una renovació constant de l'aigua de mar, dins de la cel·la.

Un cop fets els forats vaig optar per pintar la pila per revestir encara més la fusta i fer que la vida útil del conjunt sigui més elevada. Alhora la pintura serveix perquè l'estructura tingui una superfície més llisa i neta i així evitar que l'aigua de mar s'embruti. Per pintar he emprat pintura en esprai ja que permet pintar la pila de manera homogènia i ràpida. Seguidament, les planxes metàl·liques foren col·locades de la següent manera: Acer Inoxidable / Electròlit / Zn / Separador / ... / Acer Inoxidable / Electròlit / Zn (recordant que les connexions entre els diferents elèctrodes són fetes a través dels separadors). Pel sistema d'entrada i sortida d'aigua he utilitzat una mànega de regadiu de 4 mmø que, mitjançant enllaços de micro-tub, connecten cada mànega (de cada cel·la) amb una mànega general d'entrada d'aigua i una altra de sortida, ambdues de 16 mm.

Les imatges següents mostren la pila pintada i amb les planxes connectades emprant femelles. Observi's, també, les connexions de les mànegues i la mànega de sortida de l'aigua, que actua com un sobreexidor, i sobre la qual es proporciona una pendent per a una òptima evacuació de l'aigua residual.



Il·lustració 15: Vista general de la pila.



Il·lustració 16: Detall d'un compartiment.

La pila final fou analitzada, tal i com s'explica a la part de Resultats.

• ***Construcció de l'estructura del vaixell***

Per a l'estructura del vaixell s'ha emprat un tauler marí d'un centímetre de gruix. L'estructura del vaixell és de 30 cm d'ample, 95 cm de llarg i 17 d'alt. Està format per cinc peces de fusta que conformen les parets del vaixell i la base, també consta d'un separador situat a popa que delimita un caixó aïllat on tenen lloc les connexions elèctriques i on es troben tots els elements del circuit. Aquest caixó romandrà separat de la pila voltaica per evitar al màxim el risc d'entrada d'aigua a la part elèctrica del bot. Un cop tallades les diverses peces, es prosseguí en col·locar-les

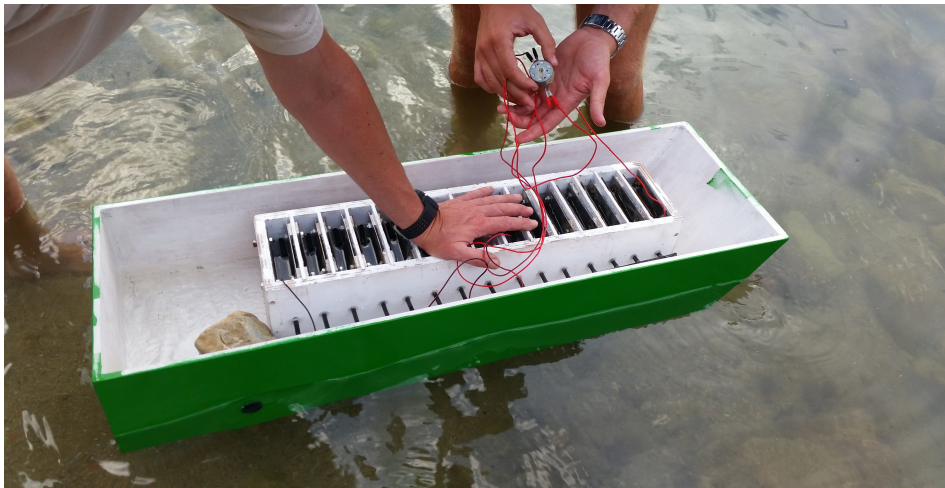


Il·lustració 17: Estructura del vaixell segellada.

i fixar-les mitjançant cola i visos, per garantir una unió duradora i estable entre les peces. Un cop la cola s'assecà i les peces quedaren ben fixades, excepte el separador que es col·locà més tard, es va

retirar l'excés de cola, ja sec, i es van repassar les juntes amb segelladora adhesiva per aïllar totalment l'interior de l'embarcació amb l'aigua i així evitar-ne la seva entrada.

Un cop la segelladora adhesiva fou seca, es repassà tota l'estructura amb paper de vidre per eliminar-ne les irregularitats, seguidament, una capa de pintura segelladora va ser aplicada a tota la superfície. Aquest tipus de pintura permet una imprimació d'altres pintures sobre una superfície porosa, com és el cas de la fusta emprada per a la construcció del casc. Després d'aplicar la primera capa de pintura, es deixà assecar el casc i es prosseguí a pintar-lo. La pintura escollida va ser la verda i es realitzaren dues capes amb l'objectiu de millorar-ne l'acabat. Quan el vaixell s'assecà es va passar a adaptar-hi la pila voltaica.



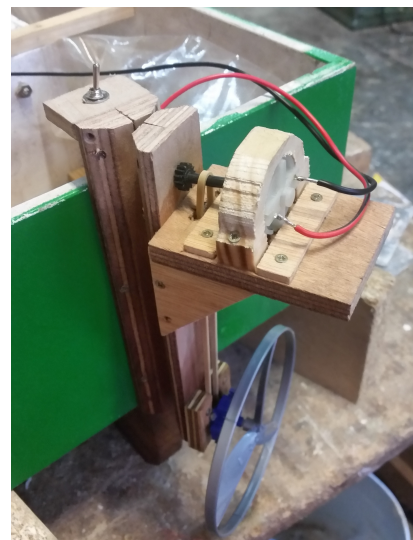
Il·lustració 18: Primera prova de la funcionalitat de l'estructura del vaixell, posteriorment es realitzaren considerables millores. Observi's que es necessari un augment de pes del conjunt per a l'entrada d'aigua.

La pila voltaica es va col·locar a la part davantera del vaixell, tal i com estipulaven els esbossos prèviament realitzats, i es va realitzar una primera prova de funcionament, al mar, tal i com mostra la il·lustració 18. Així tot, es van haver de fer un seguit de canvis a la pila voltaica. En primer lloc es van haver de substituir els dos tubs principals, d'entrada i sortida d'aigua, per un retall de mànega de 16 mmø ja que aquesta segona opció ofería una connexió més flexible i fàcil d'acoblar al vaixell. A més a més, es realitzaren un seguit de proves per verificar l'entrada d'aigua a la pila i es va percebre que l'aigua entrava i sortia indistintament per les dues vies de la pila. Per aquest motiu, es va decidir eliminar la rampa que ofería un tub i realitzar ambdues connexions totalment rectes i minimitzant l'espai. Un cop es van substituir els tubs de la pila i es va eliminar la rampa que un d'aquests ofería, es va col·locar la pila al vaixell i es va prosseguir a fixar-la per evitar-ne el seu moviment. Per a la fixació s'empraren dos llistons col·locats transversalment i subjectats a la pila que permetrien que la pila romangués al mig de l'embarcació i no la desestabilitzés.

Es realitzaren uns forats, un a proa i l'altre a popa, al casc els quals servirien per l'entrada de l'aigua a la mànega. Es van repassar les juntes d'aquests forats mitjançant, de nou, segelladora adhesiva. Més tard, es van realitzar un seguit de proves per comprovar-ne la seva flotabilitat i estabilitat. En aquestes proves s'observà que el vaixell tenia una línia de flotació massa elevada i impedia l'entrada d'aigua a la pila. Les proves es van realitzar col·locant garrapes plenes sobre l'estructura i observar el seu comportament. Cada garrafa pesava 8 kg, tenint en compte que dins la pila hi cabien al voltant de 4L d'aigua, és a dir, 4 kg més. Així doncs es va analitzar quan de pes era necessari, de manera aproximada, per establir la línia de flotació a l'altura dels forats de la mànega. Resultà que eren necessaris uns 12 kg per establir la flotació al nivell desitjat, s'observà, també, que el vaixell perdia molta estabilitat al estar sotmès a tan de pes.

Després d'aquestes proves, es decidí afegir pesos a l'estructura amb la finalitat de fer enfonsar més el vaixell i facilitar l'entrada d'aigua. Com a pesos, s'optà per utilitzar retalls de ferro, recollits en una ferreteria. Es repartiren els pesos en quatre bosses de plàstic que es van col·locar a les cantonades del vaixell. El cas fou que cada bossa era massa gran i es va passar a dividir el pes en sis bosses de plàstic d'aproximadament dos quilograms cadascuna. Aquestes bosses es van repartir en l'estructura, a la qual s'hi va afegir una quilla externa per garantir-ne l'estabilitat. S'observà que el pes del vaixell es concentrava al davant i es van repartir les bosses amb pesos de tal manera que la flotació fos totalment estable.

A continuació es donà pas a la fixació del motor i a la seva connexió. Es va tallar un petit tauler i es va fixar a un llistó formant un angle de 90°. Sobre aquest tauler es va realitzar un encaix emprant un enformador i un martell, aquest encaix fet a mida havia de servir per a la fixació del motor al centre de tauler. Un cop realitzat es va fixar el motor emprant un llistó tallat en forma de mitja lluna que serveix per mantenir el motor a l'encaix. Dues petites peces de fusta foren col·locades a davant i a darrere el motor per evitar-ne la seva sortida. A l'eix del motor s'hi encolà un afegit i es va fer passar una goma elàstica des d'aquest fins a l'hèlice, extreta d'una joguina. Aquesta hèlice va fixada a la part posterior del llistó. Aquest llistó fou fixat a l'estructura i s'hi afegí



Il·lustració 19: Adaptació del motor a l'estructura del prototip.

una xarnera per permetre el moviment lateral del conjunt. Seguidament es soldaren dos fils als terminals del motor i s'ajuntaren amb els terminals de la pila, abans, però, s'hi instal·là un interruptor. El conjunt descrit es troba a la il·lustració 19.

Un cop acabat aquest procés es va provar el vaixell al mar diverses vegades per verificar-ne el seu correcte funcionament.

Tal i com s'apunta al plantejament del disseny s'ha decidit acoblar el motor a una part mòbil que permet poder controlar la direcció de l'embarcació. El motor emprat pel projecte és un motor de baix consum (0,23 W) el qual pot funcionar amb el voltatge de 4,45 V i el corrent de 50 mA que la pila connectada en paral·lel ofereix.



Il·lustració 20: Diverses proves que es van dur a terme un cop el prototip es va finalitzar. A la imatge situada a la part inferior dreta es pot apreciar el prototip totalment finalitzat, observi's la nova mànega, les bosses plenes de ferro i l'hèlice, entre d'altres.

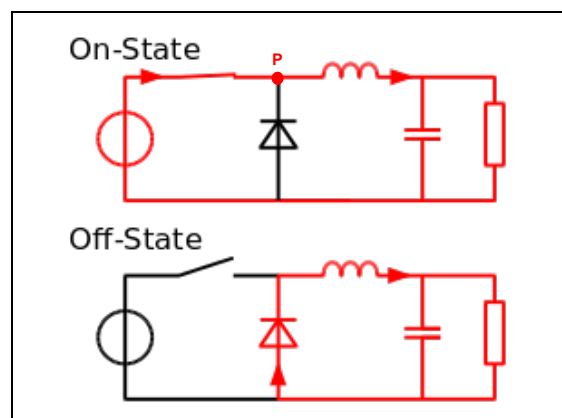
Propostes de millora

· *Circuit reductor*

Durant el projecte s'estudià la possibilitat d'adaptar un circuit reductor amb la finalitat d'oferir un corrent més estable. Al final, però s'observà que no era necessari un circuit d'aquest tipus per garantir un bon funcionament del conjunt. Així i tot, es va considerar el disseny d'aquest circuit com una possible proposta de millora. Com s'ha mencionat anteriorment, la pila voltaica és l'encarregada de proporcionar l'electricitat necessària perquè el motor de l'embarcació funcioni. Aquesta electricitat prové de les reaccions químiques que es produeixen entre les planxes de la pila i emprant com a electròlit la pròpia aigua de mar. El circuit reductor, també anomenat convertidor Buck, és capaç d'estabilitzar el voltatge i el corrent de la pila i fer-los relativament constants, fet que milloraria molt significativament el rendiment del motor. Aquest circuit, però, redueix lleugerament el corrent i el voltatge de sortida amb la finalitat d'estabilitzar-los. Val a dir que també hi ha circuits estabilitzadors que mantenen els valors d'entrada però la seva construcció és més complexa i requereix components electrònics de més difícil obtenció. A continuació es parlarà sobre el funcionament d'aquest circuit, les seves característiques i els components que requereix, finalment es farà un petit balanç sobre els seus avantatges o inconvenients dins del prototip.

El convertidor Buck es un circuit capaç de reduir el voltatge d'entrada i oferir un voltatge de sortida estabilitzat i d'un valor específic establert pel circuit.

La Il·lustració 21 mostra l'esquema d'un convertidor Buck bàsic i simplificat. Aquest circuit no s'utilitza a causa de les seves mancances però és molt útil per explicar el funcionament d'aquest dispositiu. Com es pot apreciar a la imatge, el convertidor Buck (o reductor) està principalment format per un interruptor, un bobina i un condensador de sortida. El cercle simbolitza l'entrada de voltatge i la resistència, la càrrega a alimentar.



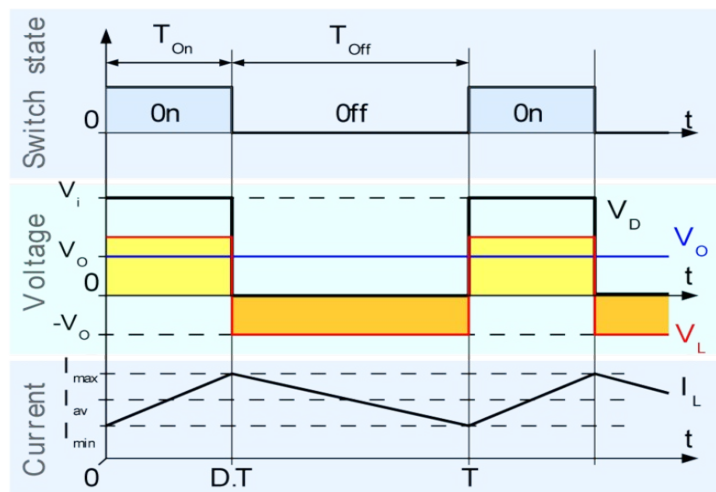
Il·lustració 21: Esquema elèctric d'un convertidor Buck simplificat i les seves dues fases.

L'interruptor del convertidor és la peça encarregada de canviar l'estat del circuit de manera cíclica seguint un cicle de treball establert pel voltatge d'entrada i el de sortida.

Podem calcular el cicle de treball de l'interruptor amb la següent fórmula: $D = \frac{V_o}{V_i}$

On D és el cicle de treball en tant per un, V_o i V_i són els voltatge de sortida i d'entrada, respectivament, en Volts.

Quan l'interruptor està tancat, el corrent circula a través del circuit fins a retornar al negatiu de l'entrada. Quan l'interruptor s'obre, en canvi, la bobina força el corrent a seguir circulant a través del circuit i aquest passa pel díode i tanca el circuit al negatiu de la bobina. Així doncs l'interruptor va obrint i tancant el circuit cíclicament però la intensitat de la bobina mai descendeix a 0. El díode permet, al mateix temps, evitar pics d'intensitat negativa fruits de l'obertura del circuit, ja que hi hauria absència de resistència al negatiu de l'inductor (bobina). El funcionament d'aquest circuit reductor es pot expressar mitjançant el gràfic de la Il·lustració 22.



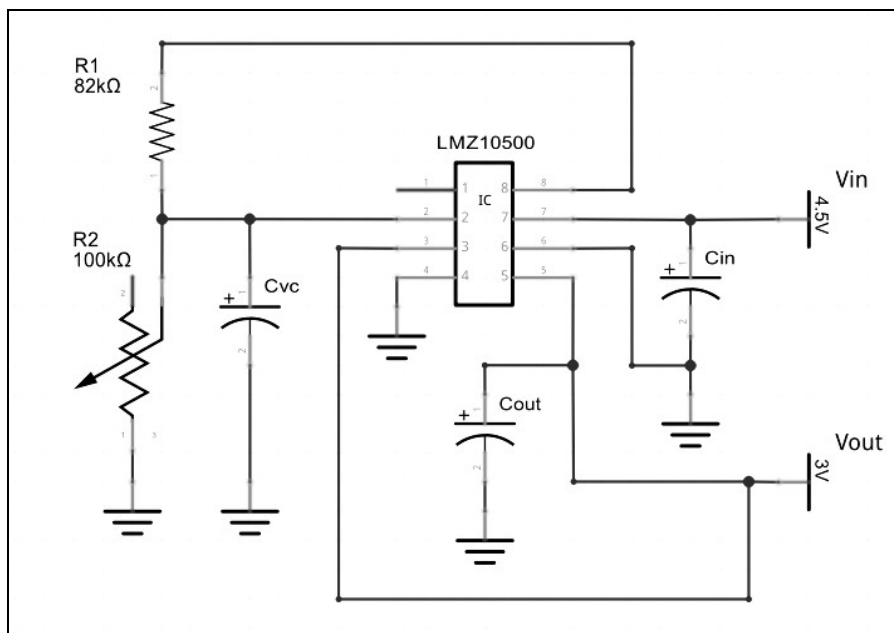
Il·lustració 22: Gràfic del voltatge i la intensitat del circuit en funció del cicle de treball.

Podem observar a la part superior de la il·lustració el gràfic que mostra l'estat de l'interruptor del circuit i, en ordre descendent, el gràfic del voltatge i el de la intensitat. Ambdós paràmetres són representats prenent de referència el punt P indicat a la imatge anterior al gràfic.

Pel que fa al voltatge: quan l'interruptor està tancat, deixa passar corrent, i aquest, al punt P, pot expressar-se en forma d'ona quadrada, en funció de l'estat del propi interruptor. Així doncs, quan l'interruptor és tancat, tenim el voltatge d'entrada al punt, quan obrim l'interruptor, el voltatge esdevé un valor al voltant de zero ja que la major part del voltatge serà consumit per l'inductor. Aquest fet es pot traduir amb el gràfic que es mostra a la imatge on el voltatge és una funció pràcticament paral·lela a l'estat de l'interruptor. La zona groga marca la diferencia entre el voltatge del circuit i el de la bobina, fet que provoca un voltatge mitjà de sortida, assenyalat en blau. Aquest voltatge és, gràcies al filtratge de la bobina i el condensador de sortida, totalment continu ja que el convertidor Buck és un tipus de convertidor DC-DC, és a dir, preserva l'estat continu del corrent d'entrada.

El gràfic inferior mostra la intensitat a la bobina respecte l'estat de l'interruptor. Com es pot apreciar, amb l'interruptor tancat la intensitat a la bobina ascendeix i, al obrir-lo, descendeix progressivament, el pendent d'aquesta funció depèn de la inductància de la bobina, és a dir, l'oposició al canvi de corrent que la bobina ofereix. La intensitat a la bobina mai esdevé nul·la i, al produir-se aquest cicle a una freqüència molt elevada, el resultat és una intensitat constant d'aproximadament el mateix valor que la d'entrada.

En realitat, però, aquest circuit és totalment ineficient ja que, per exemple, el díode causa una pèrdua del voltant de 600mV, i les irregularitats dels elements que conformen el circuit fan que el seu funcionament no sigui el desitjat. Així doncs calen aparells capaços de regular el voltatge i oferir un corrent continu malgrat la variabilitat dels elements del circuit. Aquests aparells s'encarreguen de monitoritzar el voltatge de sortida i ajustar el cicle de treball en funció de les irregularitats. Aquests dispositius es solen anomenar mòduls de potència i són circuits integrats que controlen circuits de potència, com és el cas del convertidor Buck. En el cas del treball cal un mòdul de potència per a circuits reductors. Mitjançant una comparació de models habilitada per la web oficial de Texas Instruments, es pot triar el mòdul que correspongui a les nostres necessitats. Així doncs, s'escollí el model LMZ10500, de T.I, un mòdul capaç de rebaixar 4,5V a 3V amb un corrent màxim de 650mA. A continuació es parla sobre les característiques d'aquest mòdul de potència així com els components que cal acoblar-hi per a construir el convertidor Buck exposat en el projecte.



Il·lustració 23: Esquema elèctric del convertidor Buck fabricat pel projecte.

El mòdul LMZ10500, és un mòdul de potència amb inductor integrat, per aquest motiu no és necessari una bobina per formar el circuit, tal i com mostra la imatge superior. Aquest component té vuit pins els quals es descriuen a continuació:

Pin		Descripció
Nº	Nom	
1	EN	Entrada d'habilitació. Encén i apaga les sortides del circuit. Cal deixar-lo desconnectat per un funcionament continu de l'aparell. Pin connectat internament amb Vin.
2	V _{CON}	Pin que s'encarrega de controlar el voltatge de sortida del circuit: $V_{out} = V_{con} \times 2,5$. Requereix un condensador per al filtratge de soroll. Va connectat a un divisor de tensió per a l'ajustament del voltatge de sortida.
3	FB	Feedback. S'encarrega de corregir les diferències al voltatge de sortida i mantenir-lo al valor establert.
4	SGND	Terra del circuit analògic del dispositiu. Cal connectar-lo directament amb PGND.
5	V _{OUT}	Voltatge de sortida que esta directament connectat a la sortida de l'inductor integrat. Cal connectar-lo a un condensador de sortida per al seu filtratge.
6	PGND	Terra del circuit de potència del dispositiu.
7	V _{IN}	Entrada de voltatge. Cal un condensador d'entrada acoblat entre Vin i PGND.

8	V_{REF}	Aquest pin ofereix 2,35 V en aquest model. Aquest voltatge actua de referència i cal connectar-lo amb Vcon a través d'un divisor de resistències per establir el voltatge de sortida.
---	-----------	---

A banda del LMZ10500 calen diversos components electrònics per a la construcció del reductor, detalls dels quals es mostren a continuació:

Nom	Valor	Funció
R1	82k Ω	Resistència fixa que conforma el divisor de tensió.
R2	100k Ω	Resistència variable que conforma el divisor de tensió que té com a funció ajustar el voltatge de sortida. Es tracta d'una resistència variable perquè el voltatge de sortida pugui ser manipulat i fixa't a un valor adaptat a les necessitats del conjunt.
C_{VC}	470pF	Condensador encarregat del filtratge de soroll del pin Vcon.
C_{IN}	10 μ F	Condensador d'entrada que permet el funcionament correcte del convertidor, ja que aquest requereix una impedància reduïda.
C_{OUT}	10 μ F	Condensador que, juntament amb la bobina, realitzen el filtratge del corrent de sortida per oferir un corrent continu constant

Aquest circuit permetria una estabilització dels valors de sortida de la pila voltaica, fet que ajudaria a un millor funcionament del motor i, per tant, del vaixell en general. Per altra banda caldria una lleugera reducció del voltatge i, conseqüentment, de la intensitat de sortida, tal i com estipula la llei d'Ohm:

$$V(V) = I(A) \times R(\Omega)$$

Val a dir que la resistència del circuit és constant, així doncs, una reducció del voltatge provocaria una reducció proporcional de la intensitat.

Per altra banda, un circuit augmentador tampoc seria la solució ja que la potència del circuit és la que la pila ofereix i, per tant, no s'augmentaria el producte.

Per aquests desavantatges es descartà l'opció de construir un circuit convertidor d'aquest tipus, malgrat que pugui ajudar a un millor funcionament del conjunt, és per això que s'exposa aquesta opció com a una proposta de millora.

· *Substitució dels elèctrodes de zinc*

Al final del projecte i després de nombroses proves de la pila, així com del funcionament del vaixell s'observà una considerable decaiguda de la potència que el conjunt oferia. Després es va analitzar el possible problema i es van refer les connexions entre les cel·les, lleugerament deteriorades després de tan de temps en ús i d'estar exposades a un medi tant corrosiu com resulta ser l'aigua de mar.

Un cop les connexions es van canviar, es va analitzar la pila de nou i es va apreciar que els valors de potència no havien canviat en absolut. Per aquest motiu es sospità que la causa era el deteriorament de la superfície dels elèctrodes. Després d'enretirar una planxa d'acer inoxidable, s'observà que el seu estat era similar al que presentava quan es va muntar la pila per primera vegada, es mesurà la resistència al pas del corrent que aquesta oferia i es va descartar com a origen del problema. Seguidament, es va retirar una planxa de zinc per al seu estudi, tal i com s'intuïa, la planxa presentava clars signes de deteriorament, oferts per l'exposició a l'electròlisi, que produïa la seva reducció, així com de l'aigua de mar, un medi alcalí. Per altra banda, es va arribar a la conclusió que les planxes eren d'acer galvanitzat, és a dir, que estaven formades per acer recobert de zinc. Així doncs al realitzar la polida que es dugué a terme a principis del projecte i la qual es descriu en aquest document, es va retirar, en alguns punts de la planxa, el zinc que recobria i protegia l'acer. En aquestes zones, la planxa mostra un deteriorament més sever, causat per l'oxidació de l'acer, tal i com mostren la següent imatge:

Aquest cúmulo de desperfectes en les planxes de zinc va donar pas a la seva substitució per planxes del mateix tipus ja que eren les que oferien un corrent més elevat i resultava adequat emprar-les malgrat la seva inevitable deterioració. Amb una substitució del zinc s'aconseguí tornar a recuperar els valors que la pila voltaica oferia de bon principi i, d'aquesta manera, poder realitzar les darreres proves del treball. Malgrat tot, i com sembla evident, s'haurien de buscar substituïts per al zinc per a una possible construcció



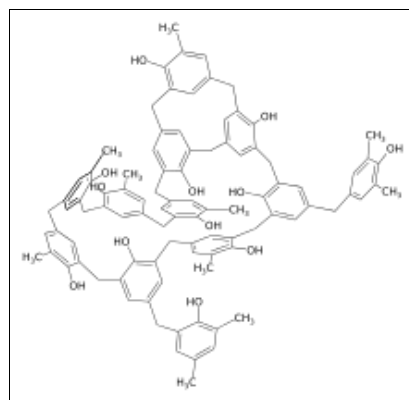
Il·lustració 24: Planxes de zinc, clarament deteriorades.

d'aquest tipus de piles a escala industrial ja que, malgrat els bons resultats que ofereix en l'electròlisi, es deteriora amb relativa facilitat, fet que provocaria una despesa addicional elevada.

· Ús d'altres aïllants per a la pila

Tal i com s'ha vist, per a la construcció de la pila voltaica d'aquest projecte s'ha fet servir, com a base, la fusta, un material fàcilment manipulable i adaptable a les necessitats que el prototip del projecte requeria. A més a més, s'aplicà un recobriment de fibra de vidre, fixat amb polímer sobre la superfície de la fusta. La funció d'aquest recobriment era evitar que la superfície porosa de la fusta permetés una interacció entre l'electròlit de les diverses cel·les que conformen la pila i, d'aquesta manera, augmentar l'eficiència del conjunt. Per altra banda, també es volia minimitzar al màxim que la humitat quedés presa en les cel·les i que aquestes restessin molles fins i tot quan s'aturés l'entrada d'aigua, d'aquesta manera no es contribuïa al damnatge dels elèctrodes per acció de l'aigua de mar. Després de l'observació de les planxes de zinc, s'arribà a la conclusió que aquest factor era més determinant del que es pensava en un principi ja que la mala impermeabilitat de la pila afectaria molt negativament a les planxes de zinc del projecte, ja que estarien més estona en contacte amb l'aigua de mar.

Per aquest motiu es va pensar en possibles alternatives per a la base de la construcció d'un futur disseny de pila, ja que l'actual podria presentar zones mal impermeabilitzades que provoquessin una concentració d'humitat en la superfície de la fusta. Recordem que l'aplicació manual és difícilment uniforme. Així doncs es pensà que en la baquelita, un plàstic molt mecanitzable, lleuger i totalment aïllant així com resistent a l'aigua. A causa de les seves característiques, aquest polímer resulta molt adequat per a la seva adaptació en un tipus de pila com el construït i es per això que es té en compte com a una possible millora per a un futur disseny.



Il·lustració 25: Estructura química de la baquelita.

En síntesi, la baquelita a causa de les seves propietats d'aïllant esdevindria un bon material per utilitzar com a separador entre les diverses cel·les ja que, a part de barrar el pas a l'electròlit, seria totalment evitada qualsevol fuga de corrent no desitjada i, d'aquesta manera, s'augmentaria el rendiment del conjunt. Per altra banda, la seva completa impermeabilitat evitaria que restes d'aigua romanguessin a l'interior de la cel·la quan aquesta no està en funcionament, fet que augmentaria la vida útils dels ànodes, vulnerables a la corrosió.

Resultats

En aquest apartat es parlarà sobre els resultats extrets a partir dels experiments elaborats durant el treball.

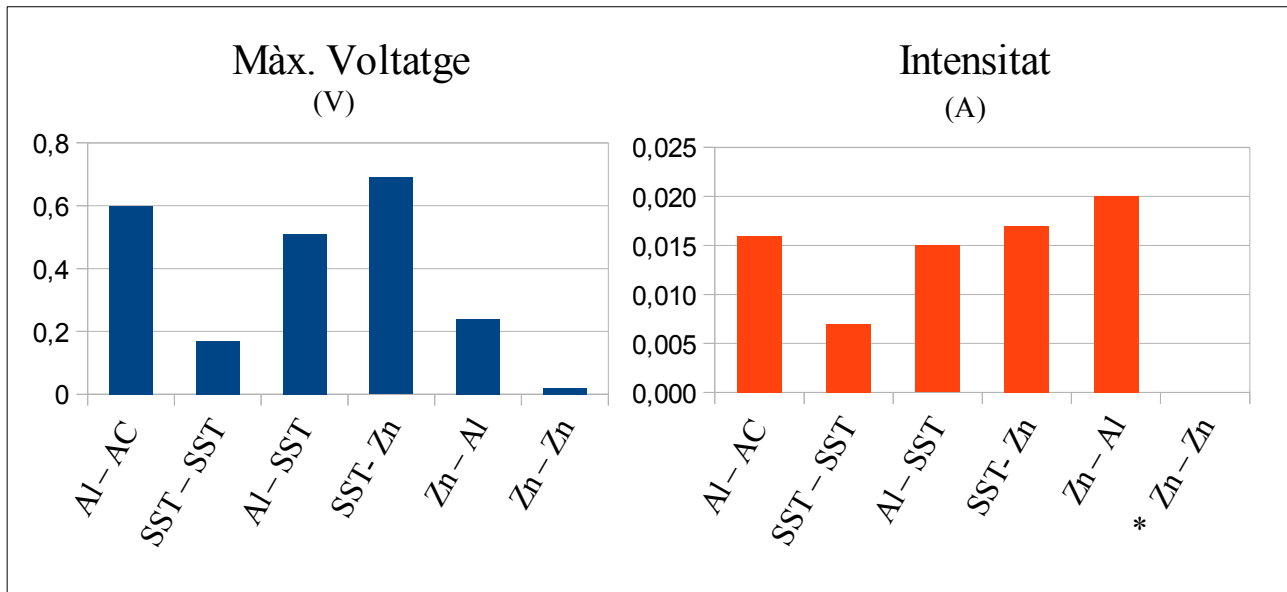
Primerament, s'ha pogut apreciar que el zinc i l'acer inoxidable feien la millor combinació per a la construcció de la cel·la, d'entre les mostres que s'han analitzat. Amb aquesta combinació s'obtingué un voltatge de 0,8 V i un corrent estable de 0,017 A, durant un període de 4 h. Aquestes dues planxes metàl·liques foren escollides per al prototip de vaixell a causa de la seva gran estabilitat en medis salins i pel fet de que fou la combinació que proporcionà un voltatge més elevat. D'entre les mostres d'elèctrode que s'analitzaren, l'alumini fou l'elèctrode que mostrà una resistència inferior a la corrosió.

Per a la bateria, es va trobar necessari tenir un sistema de renovació de l'aigua de mar per poder millorar el rendiment (eficàcia) de la pila, la cel·la de zinc i acer inoxidable oferien un corrent superior quan l'electròlit es canviava durant el funcionament de la pila. Els electròlits han d'estar separats els uns dels altres per evitar neutralitzacions entre les cel·les de la bateria, aquestes neutralitzacions afectaren dramàticament el rendiment de la pila. El carbó actiu dipositat a l'electròlit no afecta el funcionament del conjunt. Per poder generar més intensitat, és convenient ratllar la superfície de l'elèctrode per així augmentar la superfície de contacte. La bateria construïda oferí un voltatge d'entre 10 i 11 V i un corrent gairebé estable de 0,007 A, inferior del que s'esperava a causa de les pèrdues d'energia en les connexions entre elèctrodes i la resistència interna que oferia la pròpia pila.

Fent referència al motor, a causa dels seus requeriments, la pila fou posteriorment dividida en dues parts i es connectaren ambdues parts en paral·lel, per produir un corrent major. Un cop les connexions foren acabades i lleugerament estanyades per millorar-ne el rendiment, s'observà que la pila oferí un voltatge d'aproximadament 4,45 V i un corrent de 50 mA (0,050 A).

Al llarg del projecte la pila s'anà deteriorant a causa de la corrosió que l'aigua de mar originava a els elèctrodes de zinc, tal i com s'explica al segon apartat de "Propostes de millora". El voltatge va descendir considerablement fins als 3 V a causa, també, de la deterioració de les connexions. El disseny, doncs, a part dels bons resultats que oferí, requereix de certes millores que podrien aplicar-se en futures ocasions.

Malgrat tot, es va aconseguir que el motor funcionés mitjançant la pila en paral·lel, aquest es movia lentament però ininterrompudament mentre l'aigua de les cel·les es renovava constantment. Al sotmetre el motor a la resistència que la hèlice i la corretja oferien, aquest s'aturava, fet que indica la poca potència que la pila generava i que, per tant, tenia el motor.



Dibux 1: Aquests gràfics representen el voltatge i el corrent donat per les diverses combinacions d'elèctrodes. Va la dir que les mesures dels gràfics foren preses 48 h després dels experiments descrits a l'apartat d'Experiments Previs. Les planxes mesurades ja estaven ratllades.

Al = Alumini, AC = Carbó Actiu, SST = Acer Inox., Zn = Zinc.

**El corrent donat per la cel·la zinc-zinc no fou mesurat.*

Conclusió: Aplicació del projecte en vaixells reals

Com ja s'ha expressat, la voluntat del prototip realitzat en aquest projecte és poder veure si aquest tipus de piles voltaiques podrien ser emprades en vaixells reals, fet que estalviaria despeses en combustibles i alhora s'empraria una font d'energia renovable i que, gràcies a aquesta, els vaixells esdevindrien totalment auto-suficients al no haver de dependre de factors externs per a l'obtenció d'energia. La voluntat de la pila és, poder generar electricitat a partir de l'aigua de mar i un cop finalitzat el projecte i analitzat el comportament del prototip, s'ha donat pas a estudiar la possibilitat d'adaptar aquesta tipus de tecnologia a vaixells que consumeixin una potència més elevada.

A continuació es troba el raonament matemàtic emprat per esbrinar les condicions necessàries per a la generació d'una electricitat capaç d'alimentar un motor de 25 CV, potència de nombrosos models de motors forabord que es troben actualment al mercat.

Primer de tot cal considerar els valors de voltatge i corrent que la pila voltaica ens ofereix, aquests corresponen a 4,45 V i 50 mA, respectivament, malgrat que el voltatge es va anar reduint a causa dels desperfectes originats per la corrosió. A partir d'aquestes dades podem esbrinar la potència que ofereix ja que:

$$P(W) = V(V) \times I(A)$$

Així doncs tenim que $4,45 \times 0,050$ és igual a una potència de 0,2225 W.

Sabent aquest valor podem esbrinar el nombre de piles voltaiques, com la desenvolupada pel prototip, necessàries per a una generació de 25 CV de potència. Recordem que la pila esta formada per catorze cel·les en blocs de set, ja que la cel·la del mig fou suprimida a l'hora de fer el paral·lel. Primer de tot, cal convertir els 25 cavalls de vapor (CV) de potència a watts (W), mitjançant la seva relació (1 CV = 735,5 W) sabrem que 25 CV són 18387,5W. Si dividim aquesta potència per la subministrada per la pila tindrem que : $18387,5 / 0,2225 = 82640,45 \simeq 82640$ piles.

D'aquesta manera hem esbrinat que, per a la generació de 25 cavalls de potència són necessàries 82.640 piles, que es tradueix en 1.156.960 cel·les i, per tant, planxes de cada elèctrode.

En qüestions de pes, sabem que la pila del projecte pesa 12 Kg, aproximadament, quan està plena d'aigua. El pes del conjunt necessari per a la generació de 25 CV es pot esbrinar per mitjà del nombre de piles necessaris i multiplicar-ho per aquests dotze quilograms, així doncs :

$$82.640 \times 12 = 911.680 \text{ Kg} \rightarrow 911,68 \text{ tones.}$$

Com es pot observar per mitjà de les dades obtingudes anteriorment, la generació d'una potència mitjanament raonable per emprar en la propulsió d'un vaixell real suposa un gran nombre de piles com les emprades en el projecte. Malauradament, les dades evidencien que no es un mètode eficaç i pròsper en el món dels vaixells i la seva aplicació queda reduïda a àmbits molt concrets que requereixin la generació i consumició de poca energia.

En conclusió, la funció principal del prototip, la de demostrar-ne la seva viabilitat, ha estat finalment comprovada i s'ha esbrinat que no resulta ser un mètode eficaç i aplicable a vaixells reals. El cert és, però, que confio que una investigació més severa i una millora o, fins i tot, fabricació de piles d'aquest tipus a escala industrial podria permetre'n, finalment, la seva utilització a l'engròs.

M'agradaria afegir que, malgrat els resultats obtinguts, penso que es possible la creació de futures piles més eficaces, ja que cal dir que la construïda en aquest projecte és feta amb materials de cost reduït i emprant mètodes relativament poc precisos, amb metodologies més avançades podria es podria realitzar un aparell basat en la pila d'aquest projecte però que sigui capaç de desenvolupar la seva vertadera funció.

Valoració personal

En general, valoro positivament les experiències viscudes des de que, ja fa gairebé un any, vaig iniciar aquest treball. Tot primer era una feina que feia respecte i que afrontava amb un cert neguit, a mesura que avançava, però, veia com les coses anaven agafant forma i com, potser, no era una tasca tan extremadament complicada com, de bon principi, m'havia imaginat. Puc afirmar que el meu treball de recerca ha estat un èxit parcial, ja que no he aconseguit veure el prototip tal i com m'haguera agradat però el fet d'haver construït un aparell d'aquestes característiques des de zero, em satisfà completament. És cert que aquest invent no ha acabat de complir la seva funció però, si més no, m'ha servit per veure que és possible obtenir energia a partir de fonts accessibles, tals com metalls comuns i l'aigua de mar, gairebé protagonista d'aquesta vivència.

Agraïments

Ja per concloure, m'agradaria agrair a tota aquella gent que, de manera totalment desinteressada, ha col·laborat en aquest treball tan significatiu per a mi.

Primerament vull agrair el suport inestimable que he rebut de la meva família, especialment dels meus pares i dels meus avis que m'han fet un cop de mà sempre que ho he necessitat.

També voldria agrair l'ajuda que he rebut de diversos professors del centre i, sobretot, del Departament de Tecnologia. Finalment, també vull donar gràcies a tota aquella gent del poble que, d'una manera o una altra, m'ha ajudat compartint les seves experiències o els seus consells.

Bibliografia

1. Prem Khare, A., *International Journal of Engineering Sciences & Research Technology* **2014**, 3 , 1448-1452.
2. Yamaguchi, T., Sanada, T., *US Patent Application Publication* **2014**, US20140004431 A1, 1-16.
3. Bullivant, M., Hare, J., *Education in Chemistry* **2006**, 43, 12–14.
4. Dell, R. M., James Rand, D. A., *Understanding Batteries* **2001**.
5. MacDonald, D. D., English C., *Journal of Applied Electrochemistry* **1990**, 20, 405-406.

Webgrafia

1. Electric Experiments Roobert33. (2014). *Energy saltwater*. Recuperat de https://www.youtube.com/watch?v=VMdS65_E_X4
2. Electric Experiments Roobert33. (2014). *Electricity from the sea*. Recuperat de <https://www.youtube.com/watch?v=cnQDvkUMtfc>
3. Electric Experiments Roobert33. (2014). *Car with saltwater*. Recuperat de <https://www.youtube.com/watch?v=Mw9jS9loVKk>
4. Dealextrême. (2015). *DC-DC 3V to 5V Boost Converter Charger Module*. Recuperat de <http://www.dx.com/es/p/03100127-dc-dc-3v-to-5v-boost-converter-charger-module-red-154870#.VcSJxvntkvw>
5. Dealextrême. (2015). *DC-DC 1V to 5V Converter Booster Module*. Recuperat de <http://www.dx.com/es/p/dc-dc-1-5v-converter-booster-module-274695#.VcSK7fntkvx>
6. Ciencia Experimental. (2015). *Cargador Capacitivo Baterias*. Recuperat de <http://cienciaexperimental.foroactivo.com/t945-cargador-capacitivo-baterias>
7. Texas Instruments. (2015). *LMZ10500*. Recuperat de <http://www.ti.com/product/LMZ10500/description>

8. Texas Instruments. (2015). *LMZ10500 Datasheet*. Recuperat de <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lmz10500.pdf>
9. Texas Instruments. (2015). *Simple Switcher*. Recuperat de http://www.ti.com/ww/en/simple_switcher/index.html?dcmp=PPC_Google_TI&k_clickid=6ad3b9c5-fae2-49f3-bc8d-39f392d6ce4a
10. eCircuit Center. (2015). *SMPS Basics The Buck Converter*. Recuperat de http://www.ecircuitcenter.com/Circuits/smps_buck/smps_buck.htm
11. Linear Technology. (2015). *Switching Regulator*. Recuperat de http://www.linear.com/parametric/Switching_Regulator#!1646_Buck!1032<=3.5!1033_>=5!1105_<=2.5!1034_>=2.5!1107_0.2:0.3!vinmin_3.5!vinmax_5!vout_2.5!iout_0.2!vout2_!iout2_!vout3_!iout3
12. Linear Technology. (2015). *LTC3549*. Recuperat de <http://www.linear.com/product/LTC3549>
13. Mitsumi. (2015). *M22E-12 Series*. Recuperat de http://www.mitsumi.co.jp/latest/Catalog/compo/motorav/m22e12series_e.html
14. Mabuchi Motor. (2015). *Catalog FF-050FB*. Recuperat de http://www.mabuchi-motor.co.jp/cgi-bin/catalog/e_catalog.cgi?CAT_ID=ff_050sb
15. Electrónica y Más. (2015). *C-6060 Motor solar*. Recuperat de <http://electronicaymas.com/solar-educacional/359-c-6060-motor-solar-15v-a-12v.html>
16. Afrotechmods. (2015). *Switch mode power supply tutorial: DC-DC buck converters*. Recuperat de https://www.youtube.com/watch?v=CEhBN5_fO5o
17. Afrotechmods. (2015). *Adjustable switch mode power supply tutorial*. Recuperat de <https://www.youtube.com/watch?v=QR8qsygs1Kw&feature=youtu.be>
18. Texas Instruments. (2015). *BUCK POWER STAGE - Tutorial with Bernd Geck (part 1)*. Recuperat de <https://www.youtube.com/watch?v=EyHUfZxmP8s>
19. Wikipedia. (2015). *Buck converter*. Recuperat de https://en.wikipedia.org/wiki/Buck_converter
20. The Naked Scientists. (2015). *How do I step up current and voltage?*. Recuperat de <http://www.thenakedscientists.com/forum/index.php?topic=44559.0>