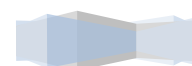


ÍNDEX

0.- AGRAÏMENTS.....	pàg 3.
1.- INTRODUCCIÓ.....	pàg 4.
2.- OBJECTIUS.....	pàg 6.
3.- METODOLOGIA DEL TREBALL.....	pàg 7.
3.1.- CONEIXEMENTS PREVIS DEL SUBMARÍ:	
3.1.1.- HISTORIA.....	pàg 7.
3.1.2.- LA FLOTABILITAT I EL PRINCIPI D'ARQUÍMEDES.....	pàg 18.
3.1.3.- INMERSIÓ I NAVEGACIÓ.....	pàg 19.
3.2.- CONEIXEMENTS PREVIS DE LA MHD:	
3.2.1.- INTRODUCCIÓ A L'ELECTROMAGNETISME.....	pàg 21.
3.2.2.- EL CAMP MAGNÈTIC.....	pàg 21.
3.2.3.- ELS IMANTS DE NEODIMI.....	pàg 23.
3.2.4.- IDENTIFICACIÓ DELS POLS D'UN IMANT.....	pàg 24.
3.2.5.- LA MAGNETOHIDRODINÀMICA (MHD).....	pàg 24.
3.3.- CONSTRUCCIÓ D'UN MOTOR MHD:	
3.3.1.- UTILLATGE.....	pàg 25.
3.3.2.- PROCEDIMENT.....	pàg 26.
3.3.3.- FENÒMENS QUÍMCS PRODUITS ALS ELÈCTRODES.....	pàg 28.
3.3.4.- FUNCIONAMENT DEL MOTOR MHD.....	pàg 30.
3.4.- CONSTRUCCIÓ D'UN SUBMARÍ PROPULSAT PER LA MHD:	
3.4.1.- UTILLATGE.....	pàg 32.
3.4.2.- ESTRUCTURA.....	pàg 34.
3.4.3.- PROCEDIMENT.....	pàg 35.
4.- APLICACIONS.....	pàg 44.



5.- AVANTATGES I DESVENTATGES.....	pàg 45.
6.- CONCLUSIONS.....	pàg 47.
7.- FUTURES LÍNES D'INVESTIGACIÓ.....	pàg 48.
8.- BIBLIOGRAFIA:	
8.1.- PÀGINES WEB.....	pàg 49.
8.2.- LLIBRES.....	pàg 50.
8.3.- ALTRES FONTS D'INFORMACIÓ.....	pàg 51.
8.4.- PROCEDÈNCIA DE LES IMATGES.....	pàg 51.
9.- ANNEXOS.....	pàg 52.



AGRAÏMENTS:

Realitzar aquest projecte no ha estat gens fàcil. No han parat de sorgir innumerables problemes que hem dificultaven la continuació, fins a tal punt de fer-me perdre l'esperança.

Finalitzar aquest treball, no hagués estat possible sense l'ajuda d'algunes persones, i els hi estic molt agraït. Voldria donar-los-hi les gràcies a tots ells:

En primer lloc, agreixo a l'institut per deixar-me treballar al taller de tecnologia per poder construir el submarí.

En segon lloc, donar les gràcies al meu tutor del treball, l'Anicet Cosialls, professor de física i química, pel seguiment, paciència i ajuda en els temes enrevessats del treball.

D'altra banda, vull donar les gràcies a la meva família, en especial, al meu germà petit, als meus pares, i a la tieta Lluïsa, per haver-me donat suport en tot moment, i per ajudar-me en les dificultats que se m'han anat presentant. M'han permès tenir ganes de continuar treballant i fent recerca.

Als meus amics, particularment al Marc Domènech, per donar-me un cop de mà en algunes qüestions.

A la M^a Carmen Calvo per la seva contribució i interès en l'inici del projecte.

I per últim, donar-li les gràcies a una persona que li estic molt agraït. Al ex professor de tecnologia d'aquest institut, senyor Josep Maria Subirà, qui m'ha ajudat en el disseny i construcció del submarí. Sense la seva ajuda, no hagués pogut tirar endavant aquest projecte. Moltíssimes gràcies pel seu temps, paciència i suport.



INTRODUCCIÓ

Qui no ha vist en alguna ocasió, en antics gravats en els quals apareixen monstres marins destruint vaixells i aniquilant a les seves tripulacions?

A partir de les llegendes i els mites sobre calamars gegants i altres temibles criatures, l'home, qui ha donat vida als mites, ha creat un monstre d'acer amb una capacitat de destrucció més enllà del que imaginava. Ocult i silenciós com un fantasma, viatja pel fons marí amb gran agilitat, aquest, té una mossegada més letal que la de qualsevol criatura mitològica. No solament pot enfonsar un vaixell i acabar amb la seva tripulació, sinó que la seva capacitat de destrucció s'amplia a objectius aeris i terrestres, arribant fins i tot a la devastació de ciutats senceres.

Quant puja a la superfície, allarga el seu coll i observa l'horitzó. L'amaga, tanca els ulls i desapareix en la immensa foscor. Tot ésser descansa, però ell te la capacitat d'obrir-se pas en el negre oceà, és com ésser somnàmbul, que mai para quiet. Qui sap, a on anirà?

És una màquina feta i pensada per a dominar les profunditats marines, que és l'arma més mortífera i sofisticada del fons del marí. És tracta del submarí.

A causa de la gran dependència d'aquesta arma en les batalles navals, la ciència i la tecnologia han avançat considerablement al llarg de la història.

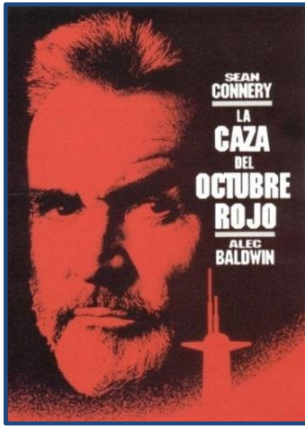
Poder viatjar sota l'aigua, a grans profunditats, és un fet tant apassionant i sorprenent, que segurament, molts de nosaltres encara no acabem d'entendre. Què sorgeix realment?

Creieu que pot haver-hi algun submarí tant silenciós, del qual podem dir que sigui un fantasma? Com seria aquest submarí? Que el faria "invisible"?

Tots aquests dubtes s'explicaran amb detall en aquest treball de ciències experimentals.

Les idees principals d'aquest, està relacionat amb un tema que avui dia està en plena investigació en el món de la ciència. Gràcies a ella i als que l'han anat formant, s'han trobat nombrosos avenços que han donat a conèixer una nova disciplina acadèmica que estudia la dinàmica de fluids conductors d'electricitat en presència de camps elèctrics i magnètics. Es tracta de la *magnetohidrodinàmica (MHD)*, un gran descobriment que està generant grans aplicacions en àmbits com: geofísica, astrofísica, enginyeria...





Imatge 1: "La Caça del Octubre Vermell"

Un possible sistema de propulsió per a submarins és la propulsió magnetohidrodinàmica o "propulsió eruga", la qual va ser popularitzada per la versió cinematogràfica de la caça de l'Octubre Vermell (escrita per Tom Clancy), que la presentava com un sistema virtualment silenciós (en la novel·la s'utilitza un propulsor convencional). La veritat és que aquest fenomen existeix, i pel que sembla funciona en les primeres proves en vaixells i és força prometedor, no només per a la propulsió naval, sinó per innumerables aplicacions importantíssimes.

Així doncs, realitzar aquest treball experimental, no hagués estat possible sense fixar-me abans en aquesta pel·lícula. Va ser aleshores quan em vaig inspirar, molt sorprès en veure una nova manera per desplaçar-se sota l'aigua. Recomanaria que veiéssiu aquesta gran pel·lícula (vegeu la imatge 1) on es planteja l'existència d'un submarí de la marina soviètica molt silenciós, fins arribar al punt de ser casi indetectable pels radars enemics, que es propulsava utilitzant motors magnetohidrodinàmics. Sabent que no s'ha construït cap submarí amb aquesta propulsió, que no s'ha tornat a emprendre, nosaltres ens hem proposat investigar-la i la posar-la a prova mitjançant un petit submarí que construirem.

L'estructura del treball és simple: en primer lloc farem un estudi històric del submarí, i dels principis físics de la magnetohidrodinàmica. Un cop assolim els coneixements necessaris, construirem un motor MHD, que ens servirà de mostra per fer el del submarí. Explicarem el procediment de construcció, les possibles aplicacions i veurem si la propulsió és viable o no.

Abstract:

In this work we are going to design and build a submarine that it will be propelled by magnetohydrodynamic propulsion. However, we are going to do a historical study of submarine and the physical principles of its operation.



2.- OBJECTIUS:

Per dissenyar i construir un submarí propulsat per energia magnetohidrodinàmica (MHD), ens hem proposat assolir els següents objectius:

- ✚ 1.- Conèixer la història del submarí.
- ✚ 2.- Conèixer els principis físics de la propulsió MHD
- ✚ 3.- Construir un motor MHD.
- ✚ 4.- Dissenyar i construir un submarí propulsat per energia MHD.
- ✚ 5.- Aplicar el principi d'Arquímedes per la immersió i emersió del submarí.
- ✚ 6.- Comparar motors convencionals amb els magnetohidrodinàmics



3.- METODOLOGIA DEL TREBALL:

3.1.- CONEIXEMENTS PREVIS DEL SUBMARÍ:

3.1.1.- HISTÒRIA:

La primera referència sobre una immersió es relaciona amb *Alejandro Magno*. Aquest, tenia una campana de vidre amb la qual podia observar el fons marí (vegeu la imatge 2). Per descomptat, no es pot considerar aquest fet com un pas en el desenvolupament del submarí, no obstant això, ens demostra que la inquietud de l'home sobre els misteris del mar es remunta molt enrere en el temps.



Imatge 2: *Alejandro Magno* en la seva campana de vidre

Gairebé dos segles després, el genial inventor, escultor i artista Leonardo da Vinci va fer diversos esbossos sobre distintes màquines, entre elles, una nau per a viatjar sota l'aigua. Probablement els seus esbossos superaven les possibilitats de la seva època i no arribarien a realitzar-se.

Un segle després, concretament en 1578, apareix un llibre anomenat "Inventions and Devices" de l'anglès Willian Bourne, en el qual es descriu amb detall un artefacte amb capacitat per a la immersió. El seu disseny, completament estanc, tenia la capacitat de desplaçar-se sota la superfície utilitzant remos com mitjà de propulsió. Per a submergir-se utilitzava uns cargols que feien disminuir el volum de la nau, fent que aquesta s'encongís o s'engrandís a voluntat del tripulant. Teòricament a menor volum menor flotabilitat. No es té constància que Bourne arribés a realitzar la seva idea, ni tampoc de la finalitat que perseguia ja que no contava amb cap mitjà per a atacar un vaixell.

L'any 1605, es va llançar a l'aigua un aparell similar que va tenir molt poc èxit. Els seus dissenyadors van abandonar el projecte quan la nau va acabar en el fons del riu durant la seva primera prova. El primer prototip que assoliria un cert èxit, arribaria de la mà d'un físic resident d'Anglaterra, anomenat Cornelius van Drebel. Va dissenyar un pot de remos cobert amb cuir, propulsat mitjançant els remos que sobresortien de la nau a través d'unes peces de cuir flexibles. Drebel, es va basar en els esbossos de Leonardo Da Vinci per realitzar el disseny de seu submarí.

L'any 1620, va demostrar el seu funcionament en una sèrie de viatges pel riu Tamesis (vegeu la imatge 3 de la pàgina següent). Aquest es caracteritzava per uns tubs que es



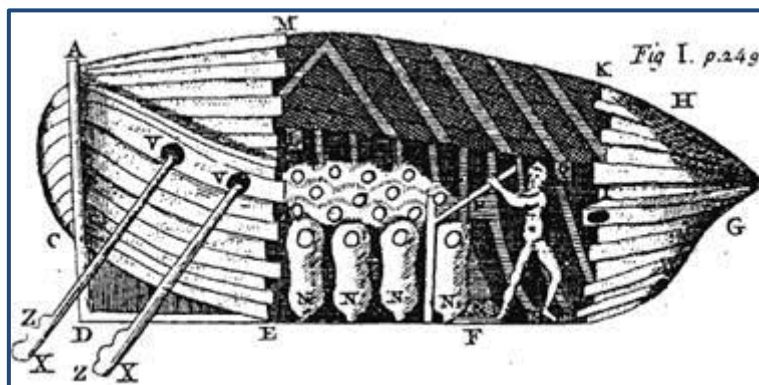


Imatge 3: Disseny d'en Cornelius van Drebel, navegant pel riu Tamesis

mantenien sobre la superfície gràcies a uns flotadors els quals permetien un temps d'immersió de diverses hores. Segons les cròniques de l'època, la seva nau va transportar a dotze remers i diversos passatgers. Entre ells, el Rei Jaume I, qui va pujar a la seva nau per a demostrar la seva seguretat. En quant a la immersió, es realitzava a cop de rem, la qual cosa resultava esgotador. Drebel va construir altres models encara més

grans, tot i així els seus invents, basats en els mateixos principis no van despertar interès en l'armada britànica. Eren èpoques en les quals la guerra submarina estava encara molt lluny.

Una idea sobre un nou mecanisme d'immersió va sorgir l'any 1680 de l'inventor Giovanni Borelli. Aquest va recórrer a l'augment o la disminució del pes de la nau. Aquesta, prenia aigua del fons marí, i omplia unes bosses de pell, per aconseguir una flotabilitat negativa (més endavant explicarem que significa). Posteriorment, exercia pressió sobre les borses per extreure l'aigua i així recuperar la flotabilitat (vegeu la imatge 4). Aquesta idea amb posteriors modificacions, constitueix la base del que avui coneixem com tancs de llast i s'utilitza en tots els submarins actuals.

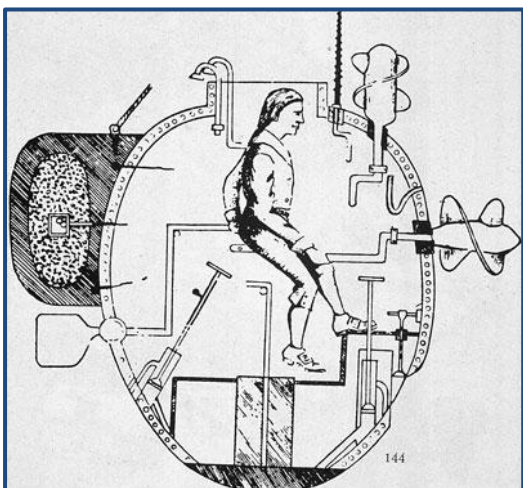


Imatge 4: primer submarí amb sistemes de llast dissenyat per Giovanni Borelli (1680)

L'any 1776, veuria la llum el primer submarí dissenyat per el combat. Amèrica del Nord estava en guerra amb Anglaterra. El bloqueig naval britànic oprimia a l'exèrcit nord-americà que no disposava d'una flota capaç de plantar-los-hi cara. Davant aquesta desigual situació, una idea i un disseny van sorgir de la ment d'en David Bushnell, el qual va dissenyar una nau capaç de realitzar atacs furtius des de sota aigua. La nau, era una espècie de barril amb capacitat per a un sol tripulant i les seves característiques fan afirmar a molts entesos i historiadors que es tractava del primer submarí de



combat. Va ser batejat amb el nom de *Tortuga* (vegeu la imatge 5), ja que la seva forma era similar a dues closques de tortuga unides entre si. Malauradament, va ser destruït pels anglesos. El seu mecanisme d'immersió utilitzava tancs de llast col·locats en el fons que podien buidar-se per mitjà d'uns pedals. Disposava d'uns tubs pels quals s'obstaculitzava el pas de l'aire, aquests conductes tenien uns dispositius, els quals, al submergir-se, quedaven hermèticament tancats impeding-ne l'entrada de l'aigua, això cap a que el període màxim d'immersió fos limitat per l'aire disponible en la cabina. El temps d'immersió era d'una mitja hora aproximadament. D'altra banda, la seva propulsió fou una de les característiques més rellevants. El que Bushnell anomenava "rem rotatori", avui ho coneixem com hèlix, va ser la primera vegada que es va utilitzar. L'hèlix era manejada manualment pel tripulant, la qual cosa resultava esgotador. En un espai tan reduït, amb l'esforç físic que s'havia de realitzar, a més de la manca d'aire fresc, l'interior del *Tortuga* no havia de ser un



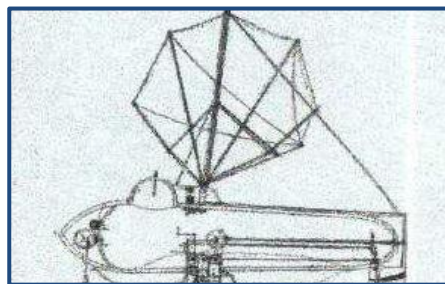
Imatge 5: El *Tortuga*, dissenyat per David Bushnell

lloc molt acollidor. Bushnell va pensar en un trepant com mitjà per enfonsar els bucs enemic una càrrega de pólvora que s'activaria passat un temps. El *tortuga* va realitzar una gran quantitat d'intents alhora de combatre i poder enfonsar els vaixells enemics mitjançant un trepant, però no era del tot eficaç ja que no suportava grans corrents d'aigua... L'any 1800 un altre americà anomenat Robert Fulton, va batejar el seu submarí amb el nom de *Nautilus*. Fulton, va obtenir el finançament dels francesos i va realitzar proves d'immersió en el riu Sena abans de la seva demostració a Ruan. L'americà i els seus tres tripulants, es van submergir a una profunditat de 8 metres i va enfonsar un petit vaixell amb una càrrega explosiva. Tot i així, els francesos no van quedar del tot satisfets ni a convèncer als anglesos quan tractava de vendre'ls el seu invent. Més tard aplicaria el seu enginy a un altre projecte que sí li donaria l'èxit desitjat (vegeu la imatge 6). Tot i que el *Nautilus* no va convèncer a ningú, tenia en el seu nou disseny novetats molt importants com ara: timons horitzontals, dues propulsions diferents per a superfície i immersió (per a la primera utilitzava una vela que es despleguava, en canvi, en immersió es propulsava gràcies a una hèlix manual), la utilització d'ampolles d'aire comprimit que

El *tortuga* va realitzar una gran quantitat d'intents alhora de combatre i poder enfonsar els vaixells enemics mitjançant un trepant, però no era del tot eficaç ja que no suportava grans corrents d'aigua...

L'any 1800 un altre americà anomenat Robert Fulton, va batejar el seu submarí amb el nom de *Nautilus*. Fulton, va obtenir el finançament dels francesos i va realitzar proves d'immersió en el riu Sena abans de la seva demostració a Ruan. L'americà i els seus tres tripulants, es van submergir a una profunditat de 8 metres i va enfonsar un petit vaixell amb una càrrega explosiva. Tot i així, els francesos no van quedar del tot satisfets ni a convèncer als anglesos quan tractava de vendre'ls el seu invent.

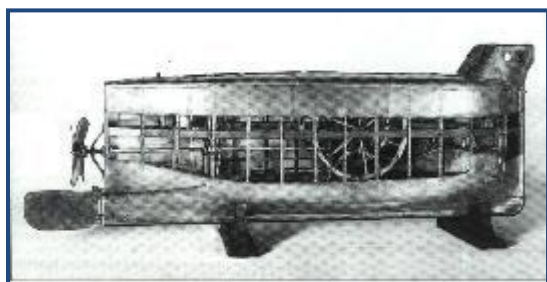
Més tard aplicaria el seu enginy a un altre projecte que sí li donaria l'èxit desitjat (vegeu la imatge 6). Tot i que el *Nautilus* no va convèncer a ningú, tenia en el seu nou disseny novetats molt importants com ara: timons horitzontals, dues propulsions diferents per a superfície i immersió (per a la primera utilitzava una vela que es despleguava, en canvi, en immersió es propulsava gràcies a una hèlix manual), la utilització d'ampolles d'aire comprimit que



Imatge 6: Nou disseny d'en Robert Fulton



permetia als tripulants respirar durant cinc hores... D'altra banda, podem dir que va ser el primer submarí construït de metall.



Imatge 7: El Brandtauchen (dissenyat per Bauer)

L'any 1850, en la guerra entre Prússia i Dinamarca, un artiller alemany anomenat Wilhelm Bauer va tenir el problema d'un bloqueig naval. Els danesos bloquejaven el port de Kiel i Bauer va construir el Brandtauchen, un submergible de metall de forma rectangular que es propulsava gràcies a una hèlix moguda per una gran roda en l'interior de la nau (vegeu la

imatge 7). La seva primera immersió a la fi del mateix any va tenir èxit i va obligar als danesos a retirar el bloqueig.

Bauer va seguir construint i inventant nous navilis, com ara el *Seeteufel* (vegeu la imatge 8) l'any 1855, en el qual va transportar diversos músics a Kronstaldt per tocar l'himne nacional durant la coronació del tsar d'Alexandre II.



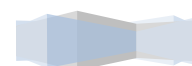
Imatge 8: El Seeteufel (dissenyat per Bauer)

A la fi del segle XIX, molts inventors van posar els seus talents en el mateix objectiu. La carrera augmentava el seu ritme i els competidors feien grans avanços. A Espanya, un polític i inventor anomenat Narcís Monturiol, va dissenyar l'any 1858 el seu primer prototip per a la navegació submarina, es tractava de *Ictíneo* (vegeu la imatge 9). La seva nau mesurava 7 metres d'eslora i la seva tripulació la componien 6 homes. Monturiol no pensava en la capacitat bèl·lica del seu invent, sino que, l'objectiu de la seva construcció era la pesca del coral i la recuperació de restes de naufragis. Va efectuar



Imatge 9: Rèplica de l'Ictíneo davant del Museu Marítim de Barcelona.

proves a Barcelona i Alacant que van resultar reeixides. No obstant, el finançament promès pel govern no arribaria mai. Així doncs, Monturiol va tenir que recórrer a altres tipus de finançament. Gràcies a una subscripció popular va aconseguir construir el seu segon prototip, *Ictíneo II* (vegeu la imatge 10 de la pàgina següent). Aquest projecte incloïa una innovació sorprenent, i es que



per primera vegada es va construir un submarí amb propulsió no manual.

A més a més, utilitzava una màquina de vapor alimentada amb carbó en la superfície i amb una barreja especial de clorat potàssic, zinc i diòxid de magnesi durant la immersió. Aquesta barreja especial alliberava oxigen durant la combustió i així els tripulants l'aprofitaven. L'any 1867, va realitzar la primera sortida amb aquesta propulsió i va efectuar tretze immersions a una profunditat de 30 metres i amb una durada de 7 hores. Malauradament, un any més tard, la falta de mitjans va impedir que el projecte continués i la seva nau va ser embargada i venuda com ferralla, ja que la falta de visió del govern va fer malbé l'oportunitat de posar al país al capdavant en aquest àmbit naval. Després de la seva mort es va publicar l'any 1891 la seva obra anomenada "Assaig sobre l'art de navegar per sota de l'aigua".

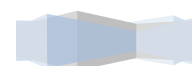


Imatge 10: Rèplica de l'Ictíneo II a escala real al port de Barcelona



Imatge 11: Rèplica del submarí Hunley a escala real del museu Hunley de Charleston (Carolina del Sud)

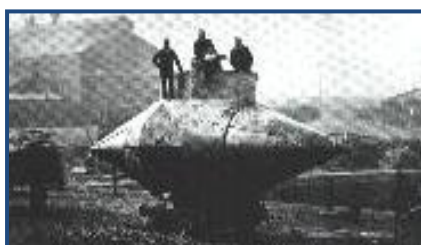
A l'altre costat de l'Atlàntic l'any 1864 (en plena guerra civil americana), es repetiria la mateixa història; el problema d'un bloqueig naval i un intent desesperat per a trencar-lo. el port de Charleston estava bloquejat i la idea d'un atac submarí va aparèixer d'un latifundista confederat anomenat Horace L. Hunley. Aquest va utilitzar una gran caldera de vapor que va transformar-la en un submergible, el qual 13 metres d'eslora i una mica més d'un metre de diàmetre (vegeu la imatge 11). El seu interior estava travessat de proa a popa per un gran cigonyal, que vuit homes a manera de pistons farien girar per a propulsar al submarí a una velocitat de 4 nusos. Es submergia omplint



aigua en els seus tancs i disposava de timons de profunditat. No obstant, No tenia cap mitjà per a regenerar l'aire en l'interior, fet que limitava el temps d'immersió. Al principi, la seva tàctica d'atac es basaria en passar per sota de l'objectiu duent a remolc una càrrega explosiva que romangués surant en la superfície i que xoqués contra el casc de l'enemic. Més tard, es va substituir per “un torpede perxa”. Aquest consistia en un pal de fusta amb una càrrega explosiva a la punta, semblant a un arpó, i destruiria l'objectiu xocant contra ell. Així doncs, aquest submarí fou capaç d'enfonsar el vaixell enemic *USS Housatonic*, el qual passaria a la història com el primer vaixell de guerra enfonsat per un submarí. No obstant, la victòria no va ser completa, ja que el Hunley va desaparèixer juntament amb el seu enemic. Durant 131 anys es va pensar que l'explosió l'havia destruït, però l'any 1995, es van localitzar les seves restes i s'ha pogut saber que no va ser així (vegeu la imatge 12). En l'actualitat existeixen plans per reflotar-lo per a la seva restauració i exposició al públic (vegeu la imatge 13).



Imatge 12: submarí CCS Hunley (matí d'agost de l'any 2000)/Imatge 13: CCS Hunley en el museu Hunley de Charleston (Carolina del Sud)



Imatge 14: Resurgam II (dissenyat per Garrett)

L'any 1879, George Garrett, va construir un prototip anomenat *Resurgam II* (vegeu la imatge 14). Al igual que Monturiol, va aplicar a la seva nau una propulsió a força de vapor. En superfície, emmagatzemava vapor en un dipòsit per a després deixar-lo sortir quan es submergia, fent que la nau es desplaçés a dos o tres nusos. Un any més tard, el seu navili es va perdre quan estava sent remolcat.



Posteriorment, amb l'ajuda d'un milionari, va realitzar altres tres prototips que armats amb un tub llançatorpedes, va aconseguir vendre'ls a Turquia i Grècia, qui tenien dificultats per a trobar algú que servís en elles. El seu quart disseny, s'anava a vendre a Rússia, però es va enfonsar quan el traslladaven a Kronstadt i els russos ho van rebutjar. Va ser el final dels seus dissenys.

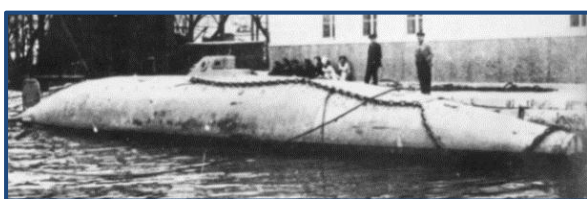
Al mateix en temps que Garrett lluitava per millorar el seu invent, un altre competidor, Jhon P. Holland, va realitzar diversos prototips emprant diferents propulsions, però cap d'ells va resultar operatiu.

A l'altre costat de l'Atlàntic, un Tinent de l'Armada espanyola, reflexionant sobre la defensa dels ports, començà a dissenyar un navili submarí. Isaac Peral (vegeu imatge 15) era un expert en electricitat i es va adonar que aquesta seria ideal com mitjà de propulsió. No produïa calor com el vapor, ni era perillós com el petroli, a més no consumia oxigen.

Les obres van començar a Cadis, a l'arsenal de *La carraca* el 23 d'octubre de 1887. El seu disseny, batejat com Peral (vegeu la imatge 16), estava construït d'acer, i tenia forma de torpede. Dues hèlixs impulsaven al submarí per l'acció de dos motors elèctrics de trenta cavalls alimentats per 480 acumuladores i tenia una autonomia de 396 milles a 3 nusos. La seva velocitat en superfície era de 10 nusos i 8 nusos en immersió. A més a més, estava armat amb un tub llançatorpedes, en que es podien disparar un total de tres. Aquest submarí, va ser el primer en el món a disparar un



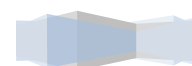
Imatge 15: Retrat d'Isaac Peral



Imatge 16: Peral (dissenyat per Issac Peral)

torpede en immersió (26 agost 1889). D'altra banda, utilitzava uns tancs de llast per a submergir gairebé per complet la nau i després accionava elèctricament dues hèlixs. Tanmateix, va incorporar al seu disseny un periscopí per a veure i apuntar a l'enemic sense sortir a la superfície, el qual l'anomenà "anteojo marino". Aquests i altres sistemes dels quals disposava el submarí d'Isaac, li feien estar molt per davant de la seva època i no serien igualats fins molt després.

Peral va ser acusat de balafiar els recursos públics i el varen arrestar. No obstant, va afrontar amb èxit un protocol de proves, encara que a pesar d'això, va rebre un informe negatiu del Ministeri de Marina que acabà per arruïnar el seu projecte al retirar-li els fons ordenant-li el lliurament de tot el material relacionat amb el submarí.



Un cop més, Espanya deixava passar el tren del progrés. Innegable era la seva influència en els següents invents, ja que fins a la propulsió nuclear, i encara avui, la seva idea d'utilitzar l'electricitat es va aplicar a tots els submarins posteriors.

Resolt el problema de la propulsió sota l'aigua, només faltava que algú aconseguís el suport necessari per a perfeccionar l'invent. I aquest algú seria John Philip Holland (vegeu la imatge 17).



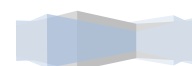
Imatge 17: John Philip Holland en la torreta del seu submarí

Va ser cap a finals del segle XIX (1898), quan l'irlandès va fabricar el que podem denominar com submarí modern. Va reunir les idees de Peral i les de molts altres personatges, aconseguint que la seva nau fos adquirida per la marina dels Estats Units. Es tractava del *Holland VI* (vegeu la imatge 18): un submergible amb motor de gasolina per a navegar per la superfície, motors elèctrics per navegar per les profunditats, es podien recarregar les bateries dels motors elèctrics fent girar unes dinamos amb la força del motor d'explosió, utilitzava tancs de llast, i com a armes d'atac els torpedes. Aquest submarí va permetre la fabricació de tots els submarins que vinguessin amb posterioritat.



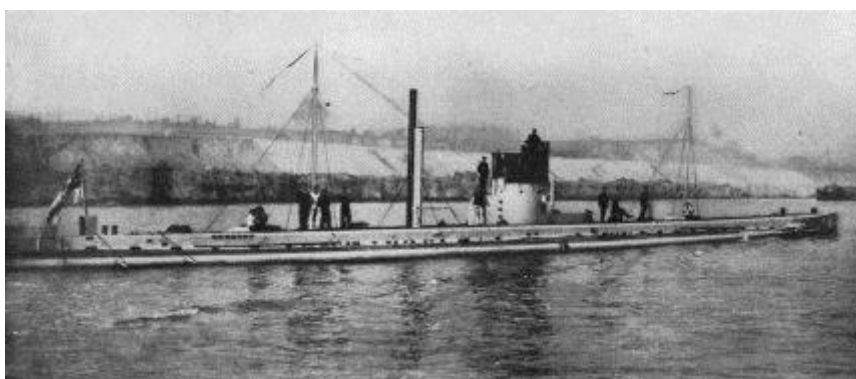
Imatge 18: Holland VI (dissenyat per John Philip Holland)

L'adquisició d'aquest per la marina americana va despertar un cert interès en què altres països comencessin a considerar el desenvolupament de models similars per a incloure a les seves flotes.



Des de llavors i fins a avui, s'han continuat les millores sobre aquest invent, i a mesura que es descobreixen noves tecnologies s'apliquen en benefici de les seves capacitats. Prova d'això va ser la substitució del perillós motor de gasolina, per un més fiable i de major autonomia, el motor dièsel, que va ser introduït pels alemanys l'any 1906 .

Algunes nacions veien els submarins com embarcacions subordinades a la flota de superfície i les seves missions es limitaven a la protecció de ports i zones costaneres. Alemanya en canvi apostaria ja en la primera guerra mundial, pel submarí com una arma més en el seu tremend poder destructiu. Va ser doncs, quan el 22 de setembre de 1914, el submarí *U-9* (vegeu la imatge 19), al comandament del capità Otto Weddigen, va enfonsar tres creuers blindats de l'armada britànica en un mateix atac. Aleshores, molts conceptes van canviar, i en especial la mateixa naturalesa de la Gran Guerra (Primera Guerra Mundial).

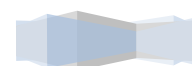


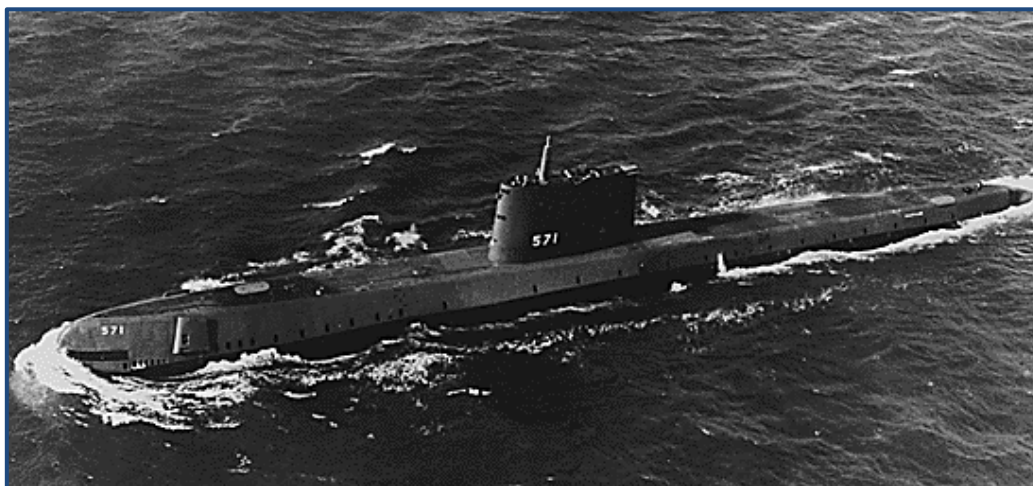
Imatge 19: U-9 (Submarí alemany dissenyat per Otto Weddigen)

Totes les nacions van adoptar per sí aquest tipus de navili. En les dues guerres mundials els alemanys van dur l'assalt submarí fins als límits, fins a tal punt que els britànics van estar apunt de rendir-se.

Les demostracions de les dues guerres mundials, van provocar que tota marina tingués la seva flota submarina. Tanmateix, l'anomenada *guerra freda* va ser la qual va accelerar encara més el desenvolupament d'aquestes naus. Al finalitzar la segona guerra mundial, americans i russos competien per la frenètica carrera pel poder mundial. L'any 1945, just a l'acabament de la guerra, ràpidament inspeccionaven i saquejaven totes les invencions nazis. Una d'aquestes, era la construcció de submarins.

Els seus últims models del tipus XXI constituïen enormes avenços en quant a les seves capacitats. Autonomies millorades, temps d'immersió majors, augment del nombre d'armes... (que tots volien per a sí mateixos). Tant russos com americans, van construir grans flotes submarines, tot i que n'era major i desenvolupada la russa. L'any 1954, la introducció de l'energia nuclear per part dels americans en els seus submergibles *USS Nautilus SSN-571* (vegeu la imatge 20 de la pàgina següent), va constituir un salt gegant en l'evolució del submarí.





Imatge 20: Primers submarins nuclears, els USS Nautilus (SSN-571), creats pels americans

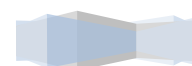
La seva capacitat per a romandre submergit era per fi pràcticament il·limitada, i sorprenent n'era la velocitat que li permetia perseguir als enemics i escapar-hi amb increïble facilitat.

En una època de tensions entre ambdós països, l'amenaça d'una guerra nuclear estava latent, ja que tots dos bàndols presumien de la seva capacitat de llançar míssils balístics intercontinentals de destrucció massiva (vegeu la imatge 21). [Imatge 21: Míssil balístic intercontinental](#) →



Imatge 22: míssil Poseidon-C3

Col·locar aquests míssils on ningú sabés el seu parador era una solució ideal per preparar una ofensiva sense perdre-hi res. Va ser doncs quan els americans, l'any 1960, van col·locar en un submarí nuclear *míssils Poseidon* (vegeu la imatge 22) amb capacitat intercontinental i van crear el concepte de *dissuasió nuclear*. La dissuasió nuclear és un fenomen psicològic i defensiu basat en l'existència de les armes nuclears i que descansa sobre les apreciacions subjectives de les intencions. La finalitat es aconseguir l'objectiu polític, no mitjançant la victòria militar, sinó per l'acció indirecta, gràcies a la paralització nuclear de l'adversari, és a dir, gràcies a la dissuasió a la qual se li sotmet. En definitiva, aquesta tècnica ha funcionat fins als nostres dies, ja que cap potència s'ha atrevit a utilitzar el seu arsenal nuclear contra una altra, per temor a una resposta nuclear que causaria danys realment greus i que no compensarien l'atac. Els fonaments de la dissuasió nuclear es van desenvolupar finalitzada la Segona Guerra Mundial, que va ser quan van sorgir els primers conceptes de la guerra nuclear.



El fet de poder disparar un míssil, ja sigui del tipus que sigui (vegeu les imatges 23 i 24 de la dreta) a través dels submarins, causava un cert respecte entre les potències mundials. Així va ser com el submarí va passar al capdavant de la llista com l'arma més poderosa construïda per l'home.



Imatge 22: míssil - Trident II

Imatge 23: míssil Tomahawk

Són varies les nacions que contenen amb aquest tipus de potencial, i esperem que mai ho utilitzin. En aquest últim segle els submarins han patrullat en tots els mars del món. Els seus últims models constitueixen les màquines militars més complexes mai construïdes. A més a més, comptant amb els actuals projectes de construcció existents, molts països indiquen que la seva presència està assegurada en les marines del futur.

Així doncs, la primera guerra mundial fou en certa manera el bateig del submarí, ja que en ella, els alemanys demostrarien al món de forma devastadora el gran poder d'aquesta arma. El submarí va estar a punt de donar la victòria als alemanys i va passar llavors de ser un projecte a un navili imprescindible en qualsevol marina del món.

Després de l'aplicació de l'energia nuclear i la posterior aplicació dels míssils balístics, el submarí arribaria a ser un arma tan poderosa que el seu futur en les marines modernes estava totalment assegurat. Prova d'això és que cap nació amb potencial nuclear s'ha plantejat mai la reducció de la seva flota de submarins balístics en cap dels acords de desarmament.



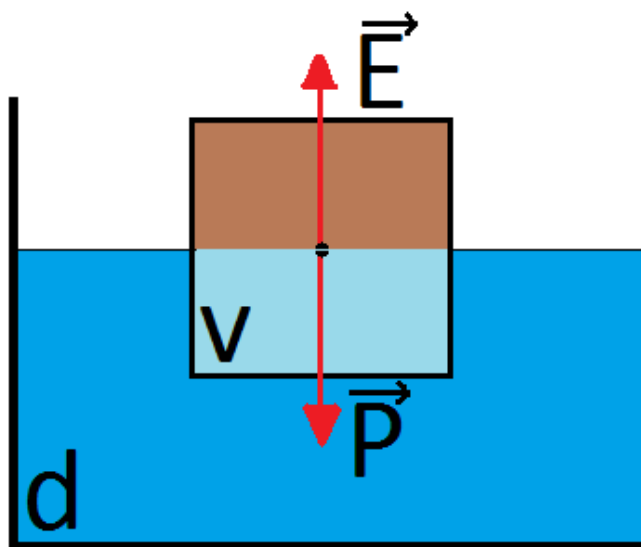
3.1.2.- LA FLOTABILITAT I EL PRINCIPI D'ARQUIMEDES

La flotabilitat és la capacitat que té un cos per sostenir-se sobre un fluid. Aquest estarà en flotació quan romangui suspès en un entorn líquid o gasós. Alguns, al col·locar-los sobre la superfície d'un líquid s'enfonsen, mentre que uns altres per contra suren.

"Un element surarà sobre un fluid (ambdós sota l'efecte de l'acceleració de la gravetat) sempre que el nombre de partícules que componen l'objecte sigui menor al nombre de partícules del fluid desplaçades".

La flotabilitat d'un cos dins d'un fluid està determinada per les diferents forces que actuen sobre sí mateix. Així doncs, podem dir que la flotabilitat serà positiva quan el cos tendeixi a ascendir dins del fluid, negativa quan el cos tendeixi a baixar dins del fluid, i neutra quan es mantingui en suspensió dins el fluid. Una concreció d'aquest fenomen és el principi enunciat pel filòsof grec Arquímedes, en que tots coneixem com el Principi d'Arquímedes o principi de hidrostàtica, el qual afirma que un cos total o parcialment submergit en un fluid en repòs, serà empès amb una força vertical ascendent, igual al pes del fluid desallotjat pel mateix cos. Aquesta força rep el nom de empenyiment d'Arquímedes o força ascensional, i es mesura en newtons (en el SI). Aquest principi es formula de la següent manera (vegeu la imatge 25):

$$E = P = mg = dgV \left\{ \begin{array}{l} E = \text{empenyiment o força ascensional (N)} \\ P = \text{Pes del cos} \\ m = \text{massa del cos (kg)} \\ g = \text{acceleració de la gravetat} = 9'81 \frac{m}{s^2} \\ d = \text{densitat del fluid} \left(\frac{kg}{m^3} \right) \\ V = \text{volum del fluid desallotjat (m}^3\text{)} \end{array} \right.$$



Imatge 25: representació de la formulació del Principi d'Arquímedes



Segons aquest principi els cossos que suren, tenen una densitat menor a la del líquid, mentre que els cossos que queden submergits tenen una densitat major a la del líquid. Aquest principi explica perquè un vaixell, amb la mateixa massa, s'enfonsa més o menys segons la densitat de l'aigua que es troba. Aquesta densitat és variable, la qual depèn de la salinitat i la temperatura de del líquid.

Si $E > P$ → flotabilitat positiva → densitat del cos < densitat del fluid

Si $E < P$ → flotabilitat negativa → densitat del cos > densitat del fluid

Si $E = P$ → flotabilitat neutra → densitat del cos = densitat fluid



Imatge 26: Què passa quan variem la densitat de l'aigua?

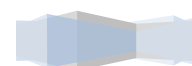
Un senzill experiment que podeu fer a casa, en que es pot veure com un cos flota, és variant la densitat de l'aigua en funció de la salinitat (vegeu la imatge 26 per fer-vos una idea). Si inserim un ou en diferents recipients amb la mateixa quantitat d'aigua, variant-hi la quantitat de sal en cada recipient, podem comprovar que, en el que no hem posat sal, l'ou queda submergit. En canvi, en el que hagi

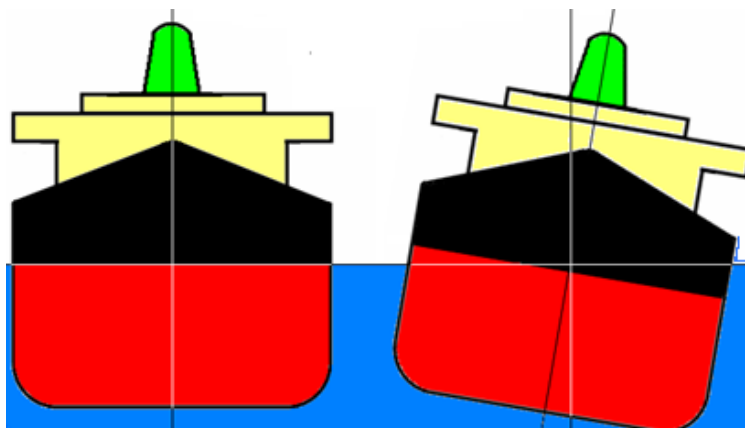
abocat un parell de cullerades de sal, l'ou flota (depenent de la quantitat afegida de sal).

3.1.3.- IMMERSIÓ I NAVEGACIÓ

Tots els vaixells, així com els submarins en superfície, estan en situació de flotació positiva, pesant menys que el volum equivalent d'aigua desplaçada (d'acord amb el principi d'Arquímedes que hem explicat anteriorment). Per a submergir-se hidrostàticament (sense ajuda mecànica), un submarí ha de guanyar flotació neutra (pes igual a força ascensional), incrementant el seu propi pes o disminuint el desplaçament d'aigua (volum). Per a controlar el seu pes, els submarins estan equipats amb tancs de llast, que poden omplir-se amb aigua presa de l'exterior o aire a pressió.

Per a submergir-se o emergir, els submarins usen els tancs de proa i popa, anomenats tancs principals, que s'obren i s'omplen completament d'aigua per a submergir-se o s'omplen d'aire a pressió per a emergir. Per a un control manual més ràpid i precís de la profunditat, els submarins disposen d'uns tancs de control de profunditat més petits, capaços de suportar pressions més altes. Aquests tancs poden situar-se prop del centre de gravetat del submarí, o distribuir-se pel buc per evitar afectar a l'escora. L'escora és la inclinació que pren un buc quan aquest, s'aparta de la vertical. (vegeu la imatge 27 de la pàgina següent per entendre-ho millor)



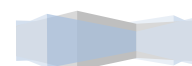


Imatge 27: Posicions d'equilibri (a l'esquerra vaixell dreçat, hi ha la dreta vaixell escorcat)

En la immersió, la pressió de l'aigua sobre el casc del submarí pot arribar als 3 MPa, així doncs, un submarí pot assolir una profunditat d'uns 300 metres aproximadament en els submarins d'acer. No obstant, els submarins de titani poden suportar una pressió d'uns 10 MPa (1000m), com fou el cas del submarí soviètic *K-278 Komsomolets* (nau nuclear d'atac), únic fins llavors en tenir el casc interior de titani, i en aconseguir el rècord d'immersió de 1300 metres.

Un submarí submergit està en equilibri inestable, tenint tendència a caure cap al fons o surar cap a la superfície. Així doncs, mantenir una profunditat fixa exigeix l'operació contínua dels tancs de control de profunditat. Per a mantenir l'escora desitjada, els submarins utilitzen *tancs d'escora* especialitzats, a proa i popa. Les bombes d'aigua traslladen aigua entre ells, canviant la distribució del pes i creant així un moment que gira el buc cap amunt o cap avall. Un sistema semblant s'utilitza de vegades per a mantenir l'estabilitat.

Si un submarí realitza una emersió d'emergència, s'utilitzen simultàniament tots els mètodes de control de profunditat i l'escora per a propulsar el buc fins a la superfície. Aquesta emersió és tan ràpida, que el submarí pot fins i tot saltar parcialment fora de l'aigua.



3.2.- CONEIXEMENTS PREVIS DE LA MHD

3.2.1.- INTRODUCCIÓ A L'ELECTROMAGNETISME:

Hans Christian Ursted va ser el primer en demostrar que una corrent elèctrica podia produir un camp magnètic. Per demostrar-ho, va posar una agulla de una brúixola prop d'un cable i aquesta girava si hi havia corrent. Si es tallava la corrent, l'agulla tornava a la posició inicial. Així doncs, aquesta va ser la primera demostració de que el magnetisme podia ser creat amb electricitat. El contrari d'aquest fet, va ser provat una dècada més tard pel científic anglès Michael Faraday, el qual va demostrar que un camp magnètic variable podia induir una corrent elèctrica. Aleshores la humanitat sabia dos dels grans secrets de l'univers; que el magnetisme en moviment podia produir electricitat, i que aquesta podia produir magnetisme. Però vas ser James Maxwell, un matemàtic i físic d'origen escocès, qui va fer tot un congruent amb les observacions de Ursted, Faraday i molts altres i va arribar a denominar les "equacions de Maxwell", les quals són la base de la nostra comprensió del electromagnetisme. Més tard, la ciència i la tecnologia adoptarien el poder dels imants i electroimants, els quals han generat grans aplicacions per a la ciència i la tecnologia. El camp magnètic, es algo que no es pot veure, però podem moure objectes mitjançant imants ocults, o mantenir-los immòbils de la mateixa manera.

3.2.2.- EL CAMP MAGNÈTIC:

Els primers intents d'utilitzar les propietats magnètiques, segons algunes fonts històriques, sembla ser que es remunten a l'any 121, quan els xinesos van començar a utilitzar el mineral anomenat *magnetita* (vegeu la imatge 28) amb finalitats tecnològiques. Aquest mineral, està format per compostos de ferro, de fórmula química òxid de ferro (II)-(III), (Fe_3O_4).



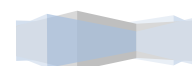
Imatge 28: Mineral magnetita



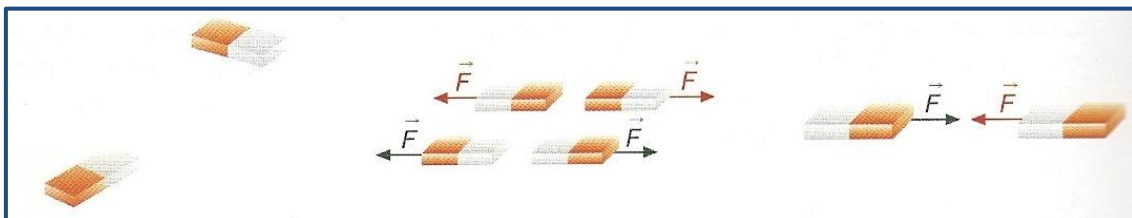
Imatge 29: Imants naturals

Quan es talla en forma de varetes, cilindres, ferradures... dóna lloc als anomenats *imants naturals* (vegeu la imatge 29), que tenen la propietat d'atraure els objectes de ferro i d'altres materials.

Si escampes llimadures de ferro sobre un paper blanc i hi apropes un imant, podràs observar que la majoria de les llimadures es concentren en els extrems que en la zona central.



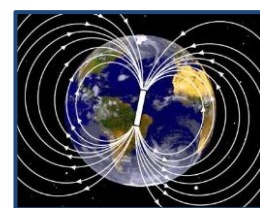
Considerem ara dos imants en els quals d'alguna manera distingim un extrem de l'altre; per exemple, amb colors blanc i vermell. Depenent de com enfrontem els dos imants, podem tenir dos tipus de forces: una atractiva, i una de repulsiva. Quan enfrontem els dos extrems blancs o els dos extrems vermells, els imants experimenten una força de repulsió, i quan enfrontem l'extrem blanc amb l'extrem vermell, apareix una força d'atracció (Per fer-vos una idea vegeu la imatge 30).



Imatge 30: Forces d'atracció i repulsió

Això ens indica que els extrems de l'imant són dues zones clarament diferenciades, que anomenem *pol nord (N)* i *pol sud (S)*. els pols iguals (pol N-pol N o pol S-pol S) es repel·leixen, mentre que els pols diferents (pol N-pol S) s'atrauen.

Una de les primeres aplicacions tecnològiques dels imants va ser la construcció de la brúixola, eina que serveix per orientar-nos en la Terra. Com ja sabeu, la Terra és un gran imant (vegeu la imatge 31) i, encara que d'intensitat petita, és capaç de fer girar una agulla imantada que s'aguanta sobre un eix perpendicular que passa pel seu centre. El pol nord magnètic terrestre, que no coincideix exactament amb el geogràfic, és determinat per un dels extrems de l'agulla magnètica de la brúixola i l'altre extrem, en sentit oposat, determina el pol sud magnètic.



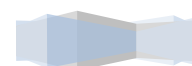
Imatge 31: Camp magnètic terrestre

Anteriorment, hem dit que si escampem llimadures de ferro sobre un paper blanc, sota el qual hi ha un imant en posició horitzontal, observem que les llimadures experimenten una força magnètica que fa que la majoria de llimadures es dirigeixi cap als extrems de l'imant. D'aquesta manera es dibuixa l'espectre magnètic d'un imant.

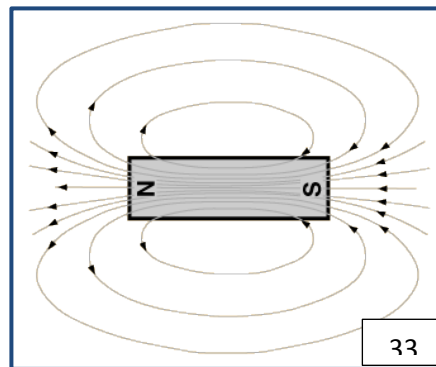
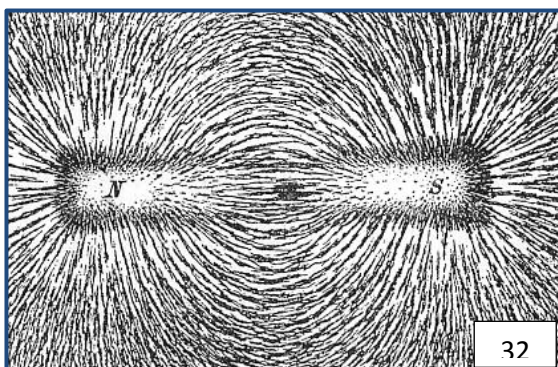
Aquest espectre magnètic, ens indica en realitat, les línies de camp magnètic de l'imant, que ens permeten interpretar el vector intensitat del camp magnètic.

Aquesta intensitat de camp magnètic es representa amb el símbol \vec{B} , i es mesura en tesla (T) (en el SI). A vegades és convenient expressar-la en gauss (G), pel fet que el tesla és una unitat excessivament gran: $1\text{T} = 10^4\text{G}$.

La Terra per exemple, presenta uns valors típics per a la intensitat de camp magnètic d'aproximadament 10^{-5}T , que equival a 0,1 G.



Les línies de camp magnètic d'un imant són línies tancades, que s'assemblen a les línies del camp elèctric generat per dues càrregues del mateix valor absolut, però de signes contraris, és a dir, que s'assemblen a les d'un dipol (sistema de dues càrregues de signe oposat i igual magnitud properes entre si) . Per analogia, podem assimilar el pol N a la càrrega positiva (+), i el pol S, a la càrrega negativa (-); amb la diferència que les línies de camp magnètic es dirigeixen del pol N al pol S per fora de l'imant, i del pol S al pol N per dins de l'imant, fet que determina que les línies siguin tancades (per entendre-ho millor, vegeu les imatges 32, i 33).



Imatges 32 i 33: Línies de camp magnètic

3.2.3.- EIS IMANTS DE NEODIMI:

El neodimi és un element químic de la taula periòdica, el símbol del qual és Nd, el seu nombre atòmic és 60 i, a temperatura ambient es troba en estat sòlid. És una terra rara que compon el metall de *Misch*, aproximadament en un 18%, sent una de les terres rares més reactiva. Posseeix una lluentor metàl·lica-platejada i brillant, però enfosqueix ràpidament al contacte amb l'aire formant un òxid. Pertany a la família dels elements de transició interna i conté en la seva forma estable 60 electrons i el seu isòtop més conegut és Nd-142

Una de les grans aplicacions d'aquest element són els imants de neodimi (imants permanents del tipus de Nd₂Fe₁₄B) de gran intensitat de camp (per a fer-te una idea de la seva gran potència pots veure la imatge 34 de la dreta). Aquests imants més potents que els imants de ferrita, o els ceràmics, i són comuns en productes com auriculars, altaveus, discs durs d'ordinadors, sensors etc. Al tractar-se d'imants molt

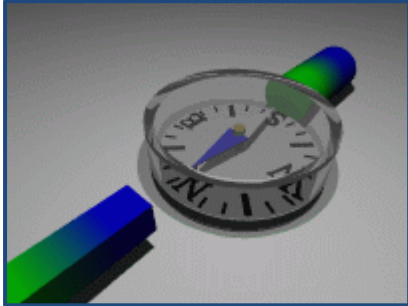


Imatge 34: Imant de neodimi amb força de subjecció de 100 kg



potents, ens seran de gran ajuda per a poder crear un motor magnetohidrodinàmic més potent, de gran intensitat magnètica, que conjuntament amb altres parts del motor propulsarà d'una manera més ràpida el nostre submarí. (més endavant explicarem perquè necessitem intensitat de camp magnètic).

3.2.4.- IDENTIFICACIÓ DELS POLS D'UN IMANT:



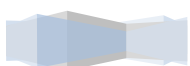
Una manera senzilla per poder identificar els pols d'un imant és mitjançant la utilització d'una brúixola. Tenint en compte que l'agulla d'una brúixola apunta cap al pol nord magnètic de la Terra, podem determinar quin serà el pol magnètic del nostre imant (Per comprendreu millor vegeu la imatge 35).

Imatge 35: identificació dels pols d'un imant mitjançant una brúixola (el pol nord és la part blava)

3.2.5.- LA MAGNETOHIDRODINÀMICA (MHD):

La magnetohidrodinàmica (MHD) és la disciplina acadèmica que estudia la dinàmica de fluids conductors d'electricitat en presència de camps elèctrics i magnètics. Exemples de tals líquids inclouen: plasmes, els metalls líquids, i l'aigua salada. La paraula *magnetohidrodinàmica* es deriva de *magneto*, que significa camp magnètic, *hidro*, que significa líquid, i *dinàmica* que significa moviment.

La idea d'utilitzar-la com a una nova propulsió és que els camps magnètics poden induir corrents en un fluid conductor mòbil, creant una força resultant, la qual desplaçarà el nostre submarí. Com a fluid conductor d'electricitat, farem servir l'aigua salada o l'hidròxid de sodi amb aigua, el qual n'és més conductor.



3.3.- CONSTRUCCIÓ D'UN MOTOR MHD

Un motor MHD és un enginy que serveix per transportar l'energia elèctrica subministrada per un generador en energia mecànica amb l'ajut d'un camp magnètic.

3.3.1.- UTILLATGE:

Per a construir un propulsor MHD, necessitarem un utillatge específic. Un cop tinguem el motor magnetohidrodinàmic, n'explicarem el seu funcionament, perquè està construït d'aquesta manera, i quins fenòmens es produeixen. El material essencial és el següent:

Material	Quantitat	Preu
Imant de neodimi	4	30€
Xapa de coure	-	2€
Piles de 9V	2	15€
Pinça cocodrill	2-4	0,20€
Suport de plàstic	1	-

És essencial disposar com a mínim d'un imant de neodimi per tal de poder veure els efectes de la propulsió MHD. Per construir el motor del submarí, necessitarem un propulsor més potent i per tant utilitzarem quatre imants de neodimi, els quals tenen les característiques següents (vegeu la imatge 36 i 37):

- Forma: bloc (prisma rectangular)
- Mida: 50 x 15 x 15 mm
- Pes: 86 grams
- Recobriment: niquelat (Ni-Cu-Ni)
- Força de subjecció: 33 kg aproximadament.
- Temperatura màxima de treball: 80°C



Imatge 36: Imant de neodimi model Q-50-15-15-N



Imatge 37: Pol nord (part roja), pol sud (part verda)

Tanmateix, necessitarem dos elèctrodes rectangulars de coure. Aquest metall és força conductor, però té els seus inconvenients (que explicarem més endavant). Un material que no presenta gaires problemes (oxidació, corrosió...) és el grafit. Seria una bona idea utilitzar-lo pels elèctrodes tot i que és un pèl menys conductor que el coure, i és complicat trobar-ne en forma de xapa.

Un cop tinguem els elèctrodes, ens farà falta crear una gran diferència de potencial entre els ells. Si el camp magnètic generat pel conjunt dels imants no es prou gran, necessitarem generar més voltatge del necessari (més endavant n'explicarem el motiu). D'aquesta manera, les piles quadrades de 9V ens seran molt útils al col·locar-



les en sèrie per obtenir un voltatge total, que serà igual a la suma dels voltatges de les piles emprades. Hem pensat de fer-ne servir dues, per obtenir un voltatge màxim d'uns 18V. També podríem utilitzar una font d'alimentació.

Tot seguit, necessitarem dos fils conductors per enllaçar cada elèctrode amb el pol +/- corresponent de la pila. No cal que siguin pinces de cocodrill, tot i ser força pràctiques, tenen l'inconvenient de ser atretes per l'imant.

Per acabar, buscarem algun material que tinguem per casa que pugui flotar com ara: un suport de plàstic, una safata de pòdex, un vaixell de joguina ... És important que no sigui molt robust, ni pesant.

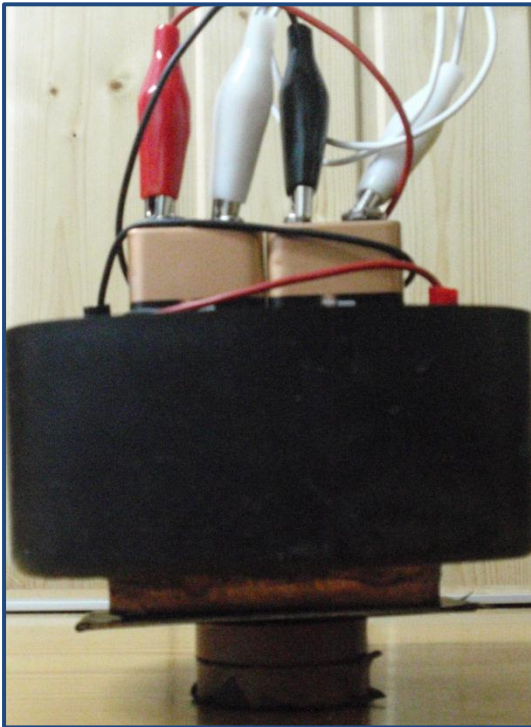
3.3.2.- PROCEDIMENT:

Per construir un propulsor MHD, és importantíssim col·locar d'una manera especial (en el següent apartat explicarem perquè) la posició dels imants, i elèctrodes, per observar els efectes de la MHD. Els passos a seguir són els següents:

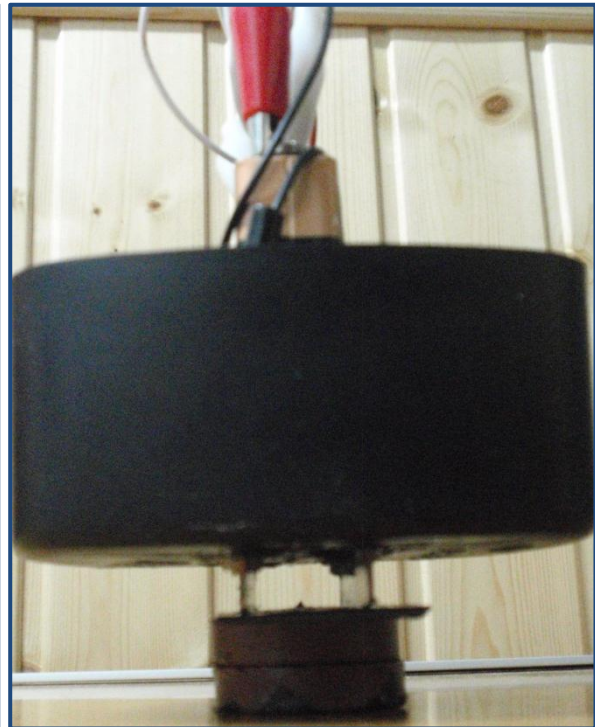
1. Obtenir un suport flotant; com ara: una safata de pòdex, una capsa de plàstic, algun barca de joguina...
2. Fer dos talls iguals, a la mateixa altura, a la safata o "embarcació" separats a una distància curta, com podria ser 5, 10, 15mm.
3. Enganxem els elèctrodes de coure, (pots utilitzar silicona perfectament per fer-ho) de tal manera que una part dels elèctrodes sobresurtin de la base de la barca, i l'altra part sobresurtin per l'altra cara.
4. Col·locar un imant de neodimi entre els elèctrodes per la cara de la safata que no tocarà l'aigua. En el motor del submarí, ja utilitzarem tots els imants que tinguem, però al tractar-se d'una prova, amb un en tindrem de sobres.
5. Connectar les piles en sèrie, i les elèctrodes correctament: un al pol positiu, i l'altre al negatiu de la bateria.
6. Comprovar que arriba corrent als elèctrodes i no es genera un curtcircuit. Si passés aquest fet es cremaria la bateria. Per tant, es convenient utilitzar un tester, que és un instrument de mesura electrònic que incorpora diverses funcionalitats. La majoria porta com a mínim un amperímetre (per a mesurar intensitats), un voltímetre (per mesurar diferències de potencial entre dos punts), i un òhmmetre (per mesurar resistències).
7. Omplir un recipient (bidet, safareig, capsa gran) d'aigua, i introduïm sal o hidròxid de sodi.
8. Dissolem la sal o l'hidròxid de sodi amb l'aigua.
9. Posem la nostra embarcació que hem construït, la qual disposa d'un propulsor MHD format per: un imant, un parell d'elèctrodes i una bateria. Si la barca es desplaça d'un punt inicial fins a un final voldrà dir que l'hem construït correctament.



Per guiar-vos millor, podeu veure les imatges 38, 39, 40 i 41 de la pàgina següent, del nostre motor MHD acoblat en un recipient de plàstic



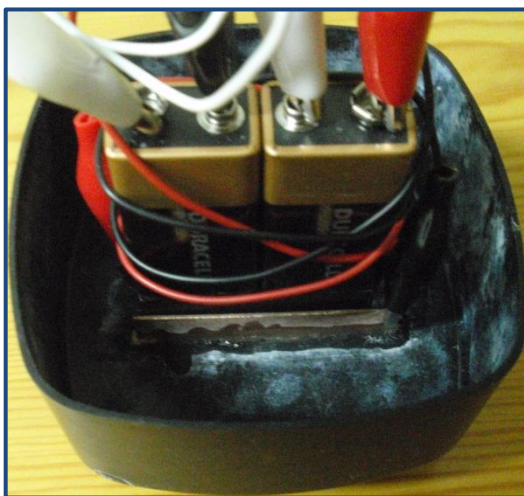
Imatge 38: vista de perfil



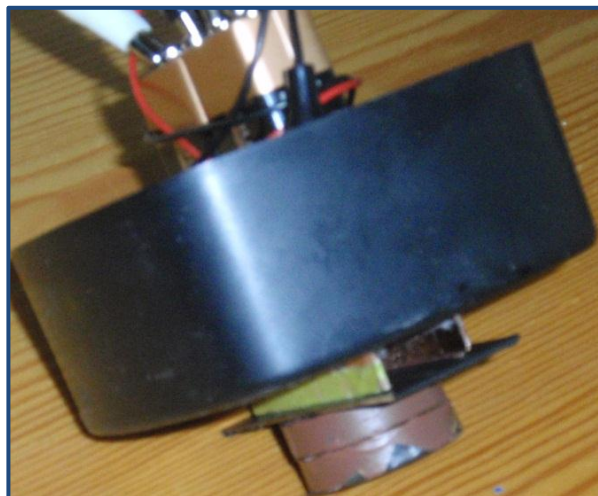
Imatge 39: vista d'alçat

Si us fixeu en les imatges 38 i 39, veureu que hi ha dos imants circulars de neodimi a la part inferior de la barca. Aquests imants els vam tenir que posar juntament amb l'imant rectangular (que no es veu perquè està a l'interior de la barca) per tal d'aconseguir un camp magnètic més gran.

També us podeu adonar que sota els elèctrodes hi ha una petita plataforma, la qual serveix per a canalitzar el corrent d'aigua que generarà el motor.



Imatge 40: vista de planta



Imatge 41: altres vistes



En les imatges 40, podem observar l'interior de la nostra embarcació, on podem veure les elèctrodes i l'imant rectangular situat sota les dues piles de 9V connectades en sèrie.

Un cop introduïu l'embarcació en el recipient amb la dissolució d'aigua amb sal o hidròxid de sodi, comprovareu que en els elèctrodes comencen a sortir unes bombolletes (fet que significa que no es produeix un curtcircuit), i un líquid verdós (més endavant explicarem el perquè). Tot seguit, depenent del pes de l'embarcació, i de la potència que generi el motor, tenint en compte el camp magnètic generat pels imants, i el voltatge aplicat en els elèctrodes l'embarcació es mourà més o menys de pressa. No obstant, és possible que no es desplaci en línia recta, a causa de la mala col·locació dels elements del motor, és a dir, que hauran d'estar col·locats en el centre de l'embarcació, i el pes ha d'estar ben repartit, sinó l'embarcació no es desplaçarà seguint una trajectòria rectilínia.

El fet de que es creen bombolletes en els elèctrodes, es deu a l'electròlisi. A continuació veurem de que es tracta.

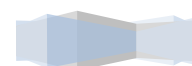
3.3.3.- FENÒMENS QUÍMICS PRODUITS ALS ELECTRÒDES

La electròlisi y les reaccions químiques:

El terme *electròlisi* prové de: *electro* que fa referència a electricitat i *lisis* que significa trencament. Així doncs, és un procés químic on es separen els elements d'un compost, mitjançant l'electricitat.

El procés per a que es produeixi aquest fenomen és el següent:

- Hem d'aplicar un corrent elèctric mitjançant un parell d'elèctrodes connectats a una font d'alimentació elèctrica i submergits en la dissolució. L'elèctrode connectat al pol positiu es coneix com *ànode*, i el connectat al negatiu com *càode*.
- Cada elèctrode atreu als ions de carga oposada. Així, els ions negatius o *anions*, són atrets i es desplacen cap a l'ànode (elèctrode positiu), mentre que els ions positius, o *cations*, són atrets i es desplacen cap al càode (elèctrode negatiu).
- L'energia necessària per separar els ions i incrementar la seva concentració en els elèctrodes es aportada per la font d'alimentació elèctrica.
- En els elèctrodes es produeix una transferència d'electrons, produint-se noves substàncies.



Si es tracta de l'electròlisi de l'aigua, aquesta no sols separa l'oxigen i l'hidrogen (més endavant ho veurem), sino que també separa els demás components que estiguin presents en la dissolució com ara sals i altres minerals, els quals permeten que l'aigua sigui conductora d'electricitat. Si l'aigua fos destil·lada i 100% pura, no tindria conductivitat. És per aquest motiu, que hem de crear una dissolució que sigui conductora, afegint substàncies com la sal (clorur de sodi), hidròxid de sodi...

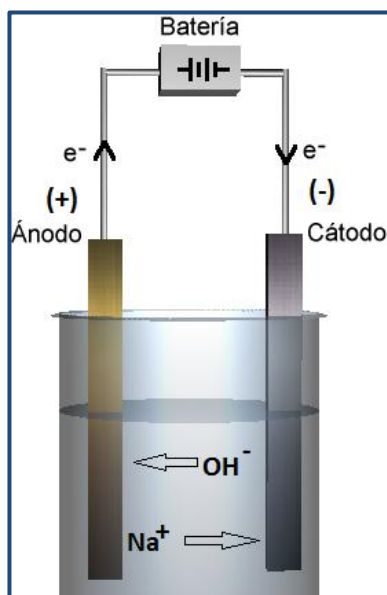
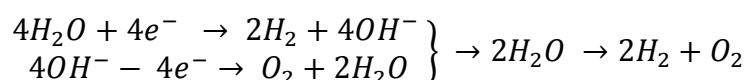
Si la nostra dissolució està formada per aigua (H_2O), i hidròxid de sodi ($NaOH$), aquest, quan es dissol amb l'aigua es formen els ions Na^+ i OH^- , els quals es mouen entre els elèctrodes en sentits contraris transportant la càrrega elèctrica (electrons).

Com hem dit, en l'electròlisi de l'aigua es produeixen unes reaccions químiques que tenen lloc al càtode hi ha l'ànode i es produeixen noves substàncies, les quals les podem determinar de la manera següent:

Per exemple quan es dissol aquesta última amb l'aigua es formen els ions

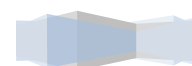
- Càtode (-): $2(2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-)$
- Ànode (+): $4OH^- - 4e^- \rightarrow O_2 + 2H_2O$

Si sumem aquestes dues expressions,



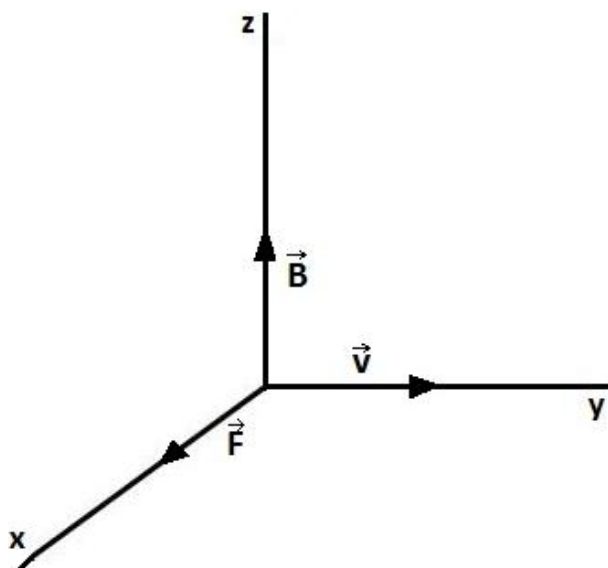
Imatge 42: electròlisi de l'aigua amb hidròxid de sodi)

En definitiva, aquelles bombolletes que sorgien dels elèctrodes, que ja intuïem que devia tractar-se d'algun gas, ara ja sabem que mitjançant l'energia elèctrica subministrada per les bateries hem descompost les molècules d'aigua en hidrogen (H_2) i oxigen (O_2). Concretament, per cada dos molècules d'aigua, s'han originat 2 d'hidrogen, i una d'oxigen (per entendre millor aquest fenomen que es produeix en el nostre motor MHD podeu veure la imatge 42).



3.3.4.- FUNCIONAMENT DEL MOTOR MHD:

Tal i com hem dit en l'apartat anterior, entre els dos electròdes de coure hi ha un moviment de ions (Na^+ , OH^-) que es mouen en sentits contraris cap als elèctrodes de signe contrari. Aquests ions tenen una càrrega (q), una velocitat (\vec{v}) i estan sotmesos a l'acció d'un camp magnètic (\vec{B}) perpendicular a (\vec{v}), amb la qual cosa actuarà una força \vec{F} (*força de Lorentz*) sobre els ions (que més endavant explicarem) amb una direcció perpendicular al pla format per \vec{v} i \vec{B} (per fer-vos una idea vegeu la imatge 43). Aquesta força desplaçarà els ions presents entre el electròdes cap endarrere creant una corrent d'aigua, que permetrà desplaçar el nostre submarí.



Imatge 43: Força magnètica \vec{F} resultant de \vec{v} i \vec{B} .

Si aquesta força magnètica desplaça els ions cap endarrere (força d'acció), segons la tercera llei de Newton, els ions han d'exercir una força sobre el vaixell (força de reacció), en la mateixa direcció i sentit contrari. Com a conseqüència de la força de reacció el vaixell es desplaçarà endavant. Si volem que el submarí vagi cap endarrere, només caldrà canviar la polaritat dels imants o la bateria.

La força de Lorentz:

De moment sabem que una determinada força \vec{F} (*força de Lorentz*), és la causa del moviment del nostre submarí. Aquesta, ve determinada per la *Llei de Lorentz*, i es formula de la següent manera:

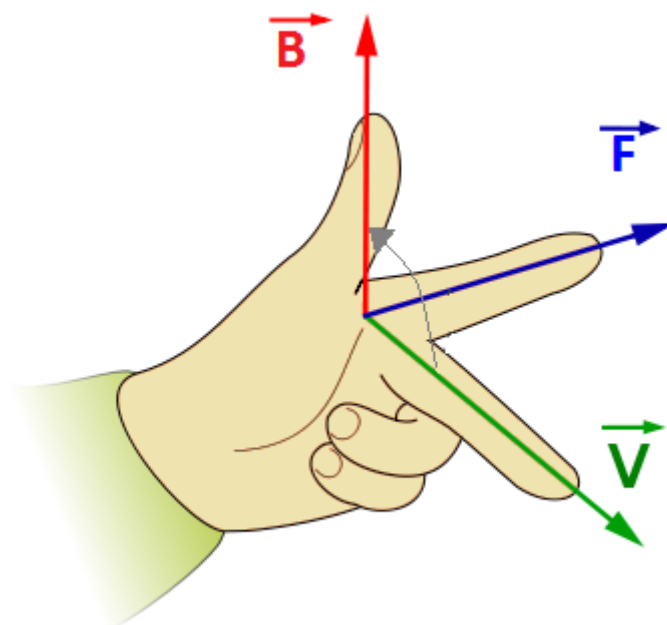
$$\vec{F} = q (\vec{v} \times \vec{B}) \left\{ \begin{array}{l} \vec{F} = \text{força magnètica (N, newtons)} \\ q = \text{càrrega dels ions (C, coulombs)} \\ \vec{v} = \text{velocitat dels ions } \left(\frac{m}{s}\right) \\ \vec{B} = \text{intensitat del camp magnètic (T, tesla)} \end{array} \right.$$



En física, aquesta força de Lorentz, és la força exercida pel camp electromagnètic que rep una partícula carregada o una corrent elèctrica.

Si considerem un camp magnètic uniforme d'intensitat \vec{B} i una càrrega elèctrica positiva q llançada amb velocitat \vec{v} dins de la regió de l'espai on és present el camp magnètic, en el moment en que la càrrega entri en el camp, aquesta rebrà una aquesta força \vec{F} que en mòdul es representa per l'expressió següent: $F = |q|vB \sin \alpha$, en què α és l'angle que formen els vectors \vec{v} i \vec{B} .

La direcció de la força magnètica \vec{F} sempre és perpendicular al pla que determinen els vectors \vec{v} i \vec{B} , i el seu sentit es determina amb la regla de la mà esquerra/dreta: hem de posar la mà de manera que el polze sigui perpendicular al pla definit pels vectors \vec{v} i \vec{B} (vegeu la imatge 44).



Imatge 44: regla de la mà esquerra

Com la majoria de fenòmens electromagnètics són produïts pel moviment d'electrons, cal tenir en compte aquest canvi de sentit de la força magnètica. En el cas particular en què $\alpha = 0^\circ$ i $\alpha = 180^\circ$, la força magnètica és nul·la, ja que:

$$F = |q|vB \sin \alpha = |q|vB \cdot 0 = 0$$

Cal tenir en present que la força magnètica també és nul·la quan la càrrega està en repòs.

En canvi, quan $\alpha = 90^\circ$, i com que $\sin 90^\circ = 1$, la força que rep la càrrega a causa del camp magnètic és màxima, i de valor:

$$F_{m\grave{a}x} = |q|vB \sin \alpha = |q|vB \cdot 1 = |q|vB$$



3.4.- CONSTRUCCIÓ D'UN SUBMARÍ PROPULSAT PER LA MHD

3.4.1.- UTILLATGE:

Per al disseny del nostre submarí, hem pensat utilitzar un material determinat. Alhora d'escollir-lo, hem tingut que tenir en compte diversos aspectes, com ara: el preu, el pes, la flotabilitat, l'estètica, la forma, la potència del motor...

Fent referència a aquest últim aspecte, (el qual és el més important d'aquest treball), haurem de plantejar-ne un de nou, semblant al que hem fet anteriorment, ja que haurà de ser molt més potent, alhora de poder desplaçar molt més pes que en l'anterior embarcació (safata de porex). Així doncs, el material bàsic que necessitarem per a la construcció del nostre submarí és el següent:

- Tub de PVC: El nostre submarí estarà format bàsicament per aquest material (vegeu la imatge 45). Vam pensar que seria el més idoni, tenint en compte el preu (5€ x 1metro), i les dificultats que se'ns podrien aparèixer en la immersió. Altres materials que se'ns van ocórrer van ser l'acer inoxidable, però és excessivament car. Tanmateix, fer-lo amb una botella de coca-cola de 2 litres ens hauria sortit molt barat, tot i que per a submergir una botella d'aquestes característiques hauríem de guanyar molt pes. A més a més aquestes botelles són força grosses, i estèticament no ens acabava de convèncer.



Imatge 45: tub de PVC

- Fullola: Aquest material és un tipus de fusta senzilla, fàcil de tallar, poc pesant que teníem pel taller i l'aprofitarem per fer el segon pis del submarí (vegeu la imatge 46).



Imatge 46: Fullola



- Bombes d'aigua (vegeu la imatge 47): Per submergir i emergir-lo, ens faran falta dues bombes d'aigua, les quals ens permetran absorbir-la de fora del submarí i expulsar-la. Seria ideal trobar una bomba que pugues fes ambdues funcions canviant de polaritat la pila, però no vam trobar-la, i per això ho fem amb dues. Aquestes bombes funcionen amb piles de petaca de 4,5V, tot i que també poden funcionar a 9V, a més a més són submergibles. Inicialment havíem tingut una idea realment fascinant, però vam creure que ens portaria a perdre molt temps a fer-ho i vam optar pel sistema de llast amb les bombes d'aigua. Es tractava d'utilitzar xeringues grosses com a dipòsits d'aigua i poder regular la seva tija a través d'un vi-sens-fi. Vam obtenir les bombes d'aigua per uns 7€ d'una empresa de Madrid, anomenada *Microlog* (que es dedica a la venda de productes tecnològics).



Imatge 47: bomba d'aigua de 4,5/9V submergible

- Tubs de goma: per comunicar les bombes d'aigua amb els tancs de llasts (dipòsits d'aigua) ens farà falta un tipus tubs que siguin flexibles, com ara els de goma (vegeu la imatge 48).



Imatge 48: tubs de goma de silicona

- Pegament per a tubs de PVC: Per encaixar les parts del submarí necessitarem un pegament especial per aquest material, i que sigui resistent a l'aigua. No caldrà una cola excessivament forta.
- Silicona: per encaixar les peces interiors utilitzarem qualsevol tipus de pegament especial per a plàstics. Tot i no disposar-ne utilitzarem silicona, ja sigui calenta o no.
- Imants neodimi: Necessitarem 4 imants de neodimi força potents (vegeu la pàgina 24).



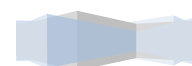
- Font d'alimentació: Per generar una diferència de potencial entre els dos elèctrodes utilitzarem una font d'alimentació, així podrem regular el voltatge (la velocitat del submarí). Si no disposéssim d'una font d'alimentació podríem col·locar piles de 9V amb sèrie per obtenir un voltatge semblant.
- Plàstic: Necessitarem algun tipus de plàstic barat, i prim per fer un parell de taps pels dipòsits, per subjectar els imants, per tapar l'entrada del submarí...(en el procediment de construcció del submarí ho explicarem millor)

D'altra banda, havíem pensat fer-lo radio-control, és a dir, que a través d'un aparell emissor i un receptor puguem comandar unes determinades funcionalitats a una certa distància i sense cables, però finalment vam optar per fer-lo de la manera més senzilla i sense complicacions (amb cables) ja que la falta de coneixements sobre aquests àmbits d'electrònica i l'escassetat de temps no ens van poder deixar avançar.

3.4.2.- ESTRUCTURA:

El nostre submarí estarà format bàsicament per tres peces: peça 1, peça 2 i peça 3 (part central), que podrem desmuntar sempre que vulguem. A continuació explicarem les característiques fonamentals de cada una d'elles, per poder entendre perquè l'hem dissenyat d'aquesta manera:

- Peça 1 i 2: Anomenarem peça 1 i peça 2 als dipòsits d'aigua que estaran situats a cada extrem del submarí. Seran de PVC, i tindran forma cònica (acabats en punxa). Cada dipòsit estarà comandat per una bomba d'aigua, en què una absorirà l'aigua del recipient per introduir-la als dipòsits, i l'altra l'absorirà d'aquests per retornar-la al recipient. Per tant, els dipòsits estaran connectats entre ells, de tal manera que al omplir-los d'aigua, ambdós s'emplenaran al mateix moment i el submarí podrà baixar paral·lel al fons del recipient. Per aconseguir aquesta connexió entre ells, els dipòsits constaran d'uns taps de plàstic dur fixes, caracteritzats per tres forats; dos dels quals seran els que permetran connectar per mitjà d'un parell de tubs de goma els dipòsits. L'altre forat servirà per a connectar la sortida d'aigua de la bomba amb el seu dipòsit corresponent (més endavant definirem un procediment que haurem de seguir per saber com hem de construir el que hem explicat).
- Peça 3 (peça central): Tindrà forma cilíndrica (tub PVC) i serà la peça central del nostre submarí, en la qual haurem d'encaixar els dos dipòsits de tal manera que siguin peces independents i puguem muntar i desmuntar al nostre antull (en el pròxim apartat explicarem com fer-ho). Aquesta peça estarà dividida per un tros de fullola verticalment per dues parts (dos pisos). Una part del cilindre estarà formada per les dues piles de petaca de les bombes d'aigua i un petita



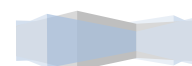
entrada per posar-hi la mà. L'altra part estarà constituïda pel motor MHD, i pels tubs de connexió (tubs de goma), i per les bombes d'aigua. Tenint en compte que una bomba tindrà d'estar a l'interior d'un dels dipòsits per tal d'absorbir l'aigua d'ambdós.

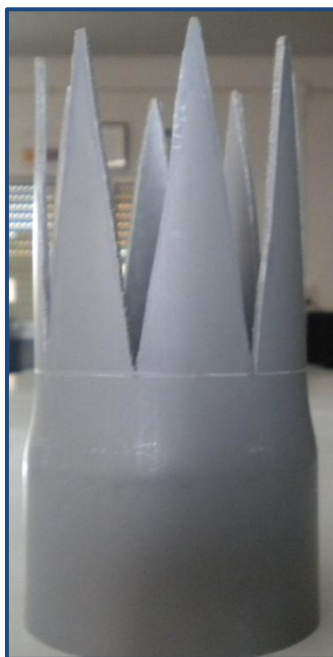
Per entendre millor l'estructura del submarí, podeu fer una ullada als plànols que es troben en els annexos (al final del treball). On es mostren les vistes d'alçat i perfil (suficients per veure l'estructura final del nostre submarí). Les cotes estan expressades en mil·límetres.

3.4.3.- PROCEDIMENT:

Per a construir el submarí que hem dissenyat en els plànols (vegeu annex 4) hem seguit uns passos determinats:

1. Marcar les cotes de les peces (1,2,3) al tub de PVC per després tallar-les amb la serra. Els dipòsits mesuren 19 cm cadascun i la peça central 22 cm.
2. Llimar (treure les rebaves) les tres peces per la part on hem tallat per facilitar l'encaix. D'aquesta manera reduïrem el gruix dels tubs tallats.
3. Dividir la longitud d'ambdós dipòsits en 8 parts amb l'ajut d'un compàs a una distància d'11 cm per un dels extrems.
4. Marcar el punt mig de cada part.
5. Traçar una línia perpendicular de cada punt mig fins l'extrem del tub. Tingues en compte que en els altres 8 cm de tub que et queden no tens que fer-hi res.
6. Dibuixar dues línies per cada punt mig fins arribar a l'inici d'una nova part. En definitiva, es tracta de dissenyar una corona amb 8 puntes, que mesura 11 cm.
7. Retallar les parts corresponents per obtenir aquesta corona. Fem el mateix amb l'altre dipòsit (vegeu la imatge 49 de la pàgina següent). Si us fixeu en la imatge veureu que la part inferior de la corona està eixemplada. Aquesta forma es deguda a què hem aprofitat la "cua" (part final) del tub de PVC per fer un dels dipòsits, ja que al final del tub s'encaixa un altre. Aquesta idea serà la que farem servir per l'encaix de les tres peces.





Imatge 49: dipòsit d'aigua

8. Es tracta d'eixamplar la part inferior de l'altra corona de amb una pistola d'aire calent (vegeu la imatge 50). Amb la calor que generarem, el PVC s'estovarà i podrem encaixar-lo amb la peça central (experimentarà un eixamplament). Un cop obtinguem la forma desitjada, deixarem refredar la corona per a què s'endureixi. Com



Imatge 50: pistola d'aire calent (Black Decker)

hem dit, amb l'altra corona no caldrà eixamplar-la perquè és la part final del tub i ja ho està.

9. Seguint amb aquesta pistola, escalfarem les puntes de les corones. Així doncs s'estovaran, i amb molt de compte, (ja que estaran molt calentes) les doblegarem de tal manera que puguem aconseguir una figura cònica (per fer-vos una idea podeu veure la imatge 51). Tant en aquest pas com en l'anterior, es convenient utilitzar guants protectors.

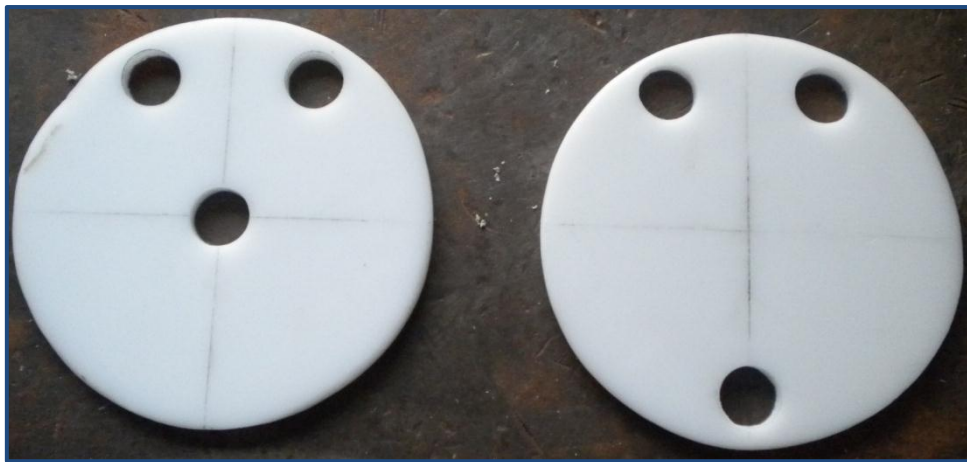


Imatge 51: dipòsit d'aigua



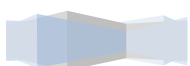
10. Dissenyar dos circumferències del diàmetre interior del tub sobre un tros de plàstic dur. Per determinar el diàmetre interior del tub serà convenient utilitzar un peu de rei, ja que és més precís. Nosaltres hem fet servir un tipus de metacrilat de color blanc, però es poden emprar altres materials.
11. Tallar, llimar i polir les circumferències que hem dibuixat. Aquestes seran els "taps" dels dipòsits d'aigua.
12. Per a què l'aigua entri a través d'aquests taps cap als dipòsits, haurem de fer 3 forats per cada circumferència. En el plànol de la vista d'alçat, es veu clarament en quina part de la circumferència els hem fet. Tal i com hem dit en apartats anteriors, els dos de sota serviran per connectar ambdós dipòsits mitjançant uns tubs de goma (els tubs de goma hauran de tenir un diàmetre interior, igual al diàmetre de la sortida d'aigua de la bomba).

No obstant, en una de les circumferències farem l'altre forat que queda al centre i en l'altra, a la part superior (vegeu la imatge 52). Fer un aquests forats a diferents altures no té cap sentit, però així és com ho hem fet. El diàmetre d'aquests forats tindrà que ser el diàmetre exterior del tub de goma que utilitzarem.

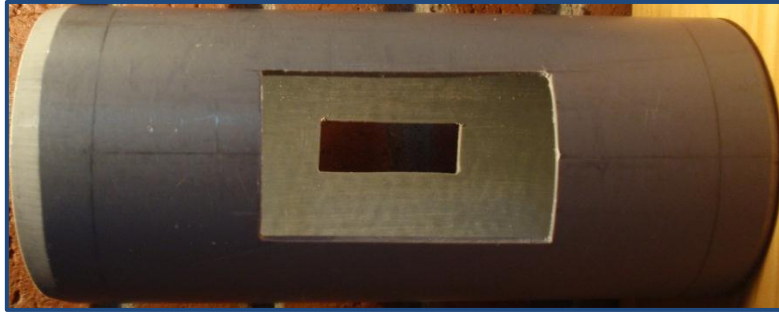


Imatge 52: taps fixes dels tancs de llast

13. Dibuixar a la part superior de la peça central una entrada per poder posar-hi la mà per accedir quan vulguem, i un altre orifici més petit a la part inferior per el motor MHD. És molt important que tracem correctament aquestes obertures (fixeu-vos en els plànols anteriors), que parteixin del centre del submarí, ja que hem de tenir en compte l'eslora.



14. Tallar, llimar i polir les entrades (vegeu la imatge 53 de la pàgina següent).



Imatge 53: part central del submarí

15. Fabricació dels elèctrodes:

Hem de crear dos elèctrodes de coure iguals, que es caracteritzin per tenir una forma d'una "escala" (vegeu la imatge 54 i 55). En la 50, ens podem fer una petita idea del nou motor que tindrà el submarí (basant-nos en el primer que hem fet), on podem observar una estreta esclatxa, zona per on passarà l'aigua que generarà el motor.



Imatge 54: estructura del motor MHD

Per fabricar aquests elèctrodes, hem tingut que dissenyar-los anteriorment (sabent les dimensions, respecte els plànols) sobre una xapa. L'hem tingut d'anar doblegant formant angles de 90° fins obtenir l'objectiu desitjat de la imatge.



Imatge 55: elèctrodes de coure



16. Dissenyar un suport pel motor MHD:

Agafem una xapa de plàstic dur i amb la pistola d'aire calent anem donant la forma rectangular, que s'indica en els plànols. Un cop s'ajusti a les dimensions proposades, ho deixem refredar una estona per a que s'endureixi.

El fet de fer aquest suport és degut a garantir la seguretat del motor, ja que els imants que utilitzarem presenten una gran força d'atracció i, hi ha un cert respecte per a que no es desmunti l'estructura, ja que entre mig dels quatre imants col·locarem els elèctrodes, i no sabem si podran suportar aquesta força (torneu a veure la imatge 56).

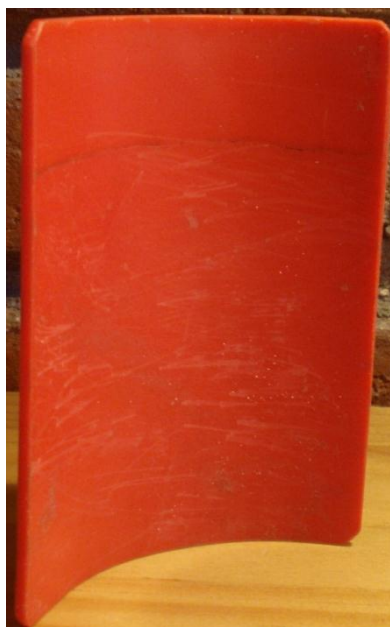


Imatge 56:
suport pel
motor

17. Dissenyar una tapa per a l'entrada del submarí:

Ara que ja sabem com donar la forma a plàstics amb la pistola d'aire calent, hem de plantejar-nos el fer una tapa independent que tapi l'entrada d'aigua al submarí, i que puguem treure amb facilitat per accedir a l'interior.

Hem pensat fer-la del mateix material que el suport. Així doncs, un cop haguem dibuixat les dimensions de la tapa sobre el tros de plàstic, el tallem, el col·loquem sobre el tub de PVC, i amb la pistola anem donant la forma del tub. Un cop aconseguim la forma del tub, ho deixem refredar (vegeu la imatge 57, per veure la tapa en el seu acabat final).



Imatge 57: tapa independent de l'entrada principal del submarí



Com haureu vist, aquesta tapa no es molt complexa, però n'és molt pràctica, ja que quan vulguem tancar l'entrada del submarí, només caldrà empegar-la amb una capa fina de silicona. Sabent que aquesta no és una pega forta, que és pot treure fàcilment, resistent a l'aigua, i no deixa marca, la utilitzarem per subjectar la tapa (per fer-vos una idea vegeu la imatge 58).



Imatge 58: Part central del submarí amb tapa sense fixar

18. Obtenció de la "segona planta" del submarí:

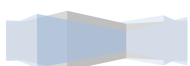
En aquest pas, només haurem de tallar un tros de fullola rectangular de 22 x 8,4 cm, que el farem servir per aguantar les piles (vegeu la imatge 59). Un cop ho la tallem, la llimarem. Quan ho tinguem tot enllestit i només caldrà empegar-la amb silicona (calenta).



Imatge 59: segon pis del submarí

19. Tallar els tubs de goma necessaris per les connexions de les bombes d'aigua.

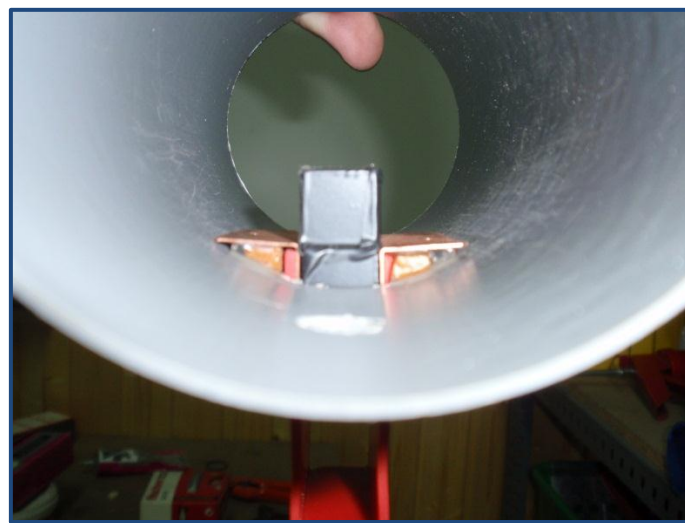
20. Fixar el motor MHD amb pegament especial i fort al tub (vegeu la imatge 61 de la pàgina següent). Hem posat uns fustetes sota els elèctrodes, per mesura de seguretat, ja que quan posem els imants a sota del suport, (que s'atrauran amb els de d'alt), segurament els elèctrodes es doblegarien.



Per enganxar les peces podeu utilitzar pegament especial per a PVC (vegeu la imatge 60) o silicona que són resistents a l'aigua, tot i que es preferible utilitzar *Tangit* per les peces de l'interior.



Imatge 60: *Tangit*, adhesiu especial per PVC.



Imatge 61: motor MHD del submarí (falten els dos imants de sota)

21. Enganxar les bombes als dipòsits d'aigua (vegeu les imatges 62 i 63).



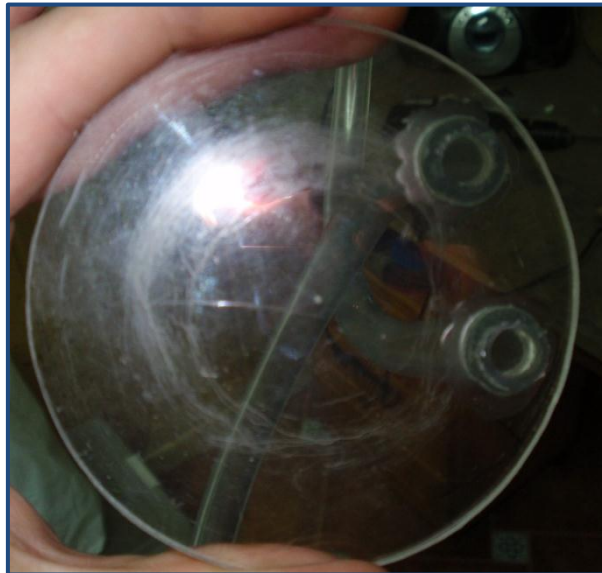
Imatge 62: Bomba que absorbirà l'aigua de fora i l'expulsarà als dipòsits





Imatge 63: bomba que absorbirà l'aigua dels dipòsits i l'expulsarà a fora

22. Fixar els taps dels dipòsits tenint en compte que han de sobresortir els tubs de goma i altres fils elèctrics fora. Vam pensar fer-n'hi un de metacrilat transparent (vegeu la imatge 65), per poder veure una mica el que seria l'interior del submarí.



Imatge 65: tap d'un dels dipòsits de metacrilat (transparent)

23. Un cop tinguem els taps enganxats, només caldrà fixar es dos dipòsits (peça 1 i 2) a la part central. Per fer-ho, seguirem utilitzant el pegament especial per a tubs de PVC. En acabar aquest pas, ja tindrem el submarí muntat (vegeu les imatges 66, 67, 68 i 69. No obstant, si volem fer-lo funcionar, haurem de



connectar les bombes i els elèctrodes a interruptors exteriors del recipient amb les respectives piles de petaca i una font d'alimentació.



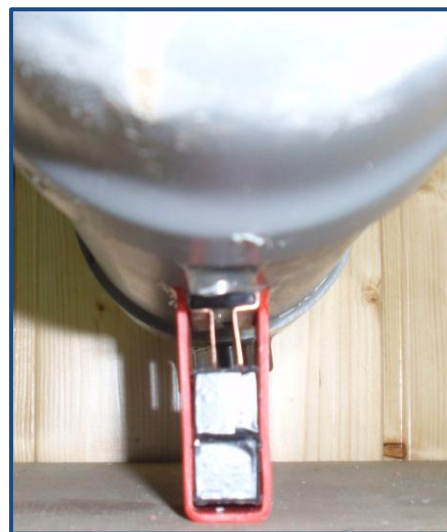
Imatge 66: submarí amb motor MHD



Imatge 67: Vista de perfil



Imatge 68: vista d'alçat



Imatge 69: motor MHD del submarí



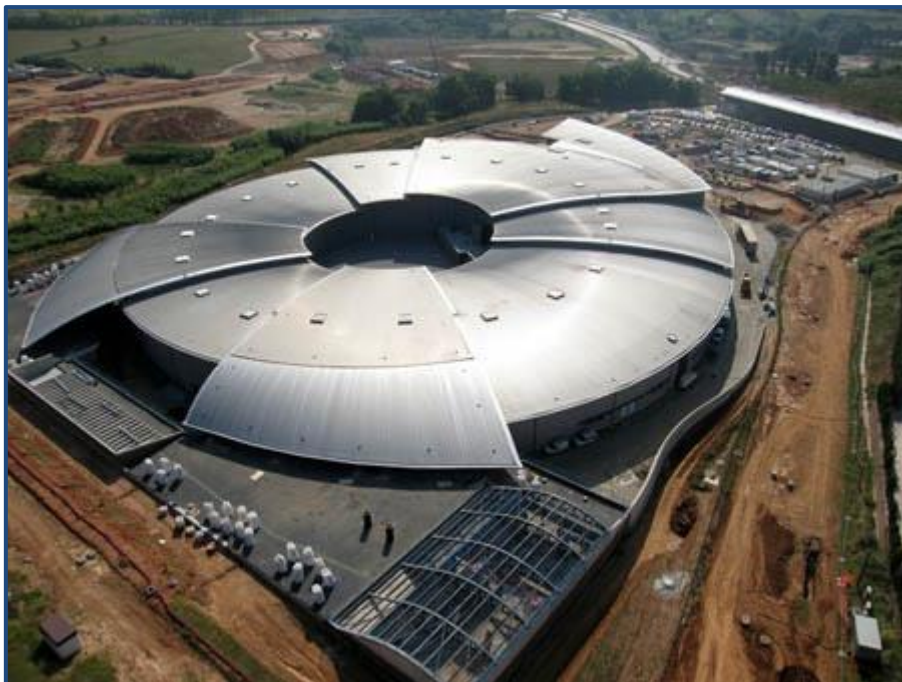
4.- APLICACIONS:

Tot i que la propulsió MHD es va veure frenada per presentar més desavantatges que avantatges, actualment s'estan tornant a reprendre les investigacions i s'estan generant grans aplicacions en àmbits com:

- Geofísica: es creu que el nucli de la Terra y altres planetes és una dinamo MHD enorme que genera el camp magnètic de la Terra pel moviment de la roca fosa.
- Enginyeria: confinaments de plasma, refredament per metalls líquids dels reactors nuclears...
- Propulsió naval: la propulsió MHD per impulsar vaixells s'ha estat estudiant des dels anys 60, i està despertant una altra vegada el seu interès degut a la possibilitat d'utilitzar materials superconductors d'alta temperatura per a la construcció de motors (més endavant mostrarem informació d'alguns prototips japonesos propulsats per motors MHD).

Altres aplicacions relacionades:

Els imants superconductors han estat usats en estudis de materials i en la construcció de poderosos acceleradors de partícules, com el que han fet fa poc a Cerdanyola del Vallès (Barcelona), el Síncrotró Alba (vegeu la imatge 70).



Imatge 70: Síncrotró Alba (Barcelona)



5.- AVANTATGES I DESAVANTATGES:

Aquest sistema de propulsió que hem estudiat molt per damunt, no està ni tan sols en bolquers. S'han tingut que sobrepassar nombroses dificultats tecnològiques, que resultaven limitacions insalvables per a què sigues viable aquest sistema en l'actualitat.

En quan aquest sistema es poden observar algunes avantatges de la seva utilització per a la implementació naval i militar:

1. No hi ha cavitació:

La velocitat dels bucs propulsats per hèlixs està limitada per un fenomen conegut com a *cavitació* (no entrarem en principis físics), la qual té molta importància en vaixells. Cal evitar-la perquè desgasta les peces de la maquinària, i és la causant del soroll (apart del motor convencional)

2. Detectabilitat acústica:

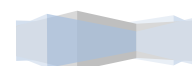
La segona avantatja més important de la propulsió MHD és el silenci. Si no hi ha soroll de l'hèlix, no hi ha soroll per cavitació. Hem de dir que, fins ara, és el sistema de propulsió més silenciós que es coneix, ja que les emissions acústiques són gairebé nul·les. El silenci és el tema central de la trama de la novel·la de Tom Clancy, on recordem que un submarí soviètic propulsat per la MHD, el feia pràcticament indetectable en el sonar d'un buc enemic.

3. Maniobrabilitat:

Al disposar d'aquests motors MHD, la marxa cap endavant i endarrere, es pot obtenir canviant la direcció del camp elèctric o del magnètic. A més a més, la velocitat d'anar endavant o endarrere no varia, i per tant no caldria fer girar el prototip.

4. Manteniment: Els propulsors MHD, no tenen parts mòbils, no són sorollosos, no vibren i per tant requereixen un baix nivell de manteniment (a diferència dels sistemes de propulsió convencionals).

A pesar de totes aquestes grans avantatges per a l'aplicació marítima i militar, sorgeixen uns certs inconvenients perjudicials que posen en evidència la viabilitat d'aquesta propulsió. Es tracta de les següents desavantatges:



1. Residu Químic:

En el procés de l'electròlisi els ions de clorur Cl^- presents a l'aigua de mar, s'oxiden per formar gas clor de color verd. Es genera per tant, un residu químic que s'aboca al mar.

2. Camp magnètic:

Una limitació d'utilitzar aquesta propulsió, està en el problema de l'elaboració de camps magnètics més potents, però alhora que siguin més lleugers.

A nivell d'estratègies navals, un submarí amb aquesta propulsió pot ser silencios i no ser detectat pels sonars, però sí per mitjà de detectors d'anomalies magnètiques (MAD)

3. Conductivitat del fluid:

Una altra limitació de la tecnologia MHD, és que els vaixells i els submarins no poden navegar en zones de fluids no conductors d'electricitat, com n'és el cas de l'aigua dolça, la qual no la condueix tan bé com l'aigua salada de mar, encara que aquesta té un alt nivell de corrosió en els elèctrodes.

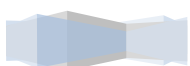
4. Potència del motor:

La potència d'aquests tipus de motors sol ser una mica més baixa que els motors convencionals. No obstant, aquesta potència depèn del disseny del prototip, dels materials, de la conductivitat del fluid...



6.- CONCLUSIONS:

1. Hem fet una recerca sobre la història de submarí.
2. Hem pogut aplicar les lleis de la física per entendre el principi de la propulsió MHD.
3. Hem construït un motor MHD que permetrà desplaçar el submarí sense la utilització d'hèlixs. S'ha dissenyat i construït un submarí que funciona amb aquesta propulsió, amb materials senzills que estan a l'abast de tothom.
4. S'ha dissenyat i construït un submarí que funciona amb aquesta propulsió, amb materials senzills que estan a l'abast de tothom.
5. Hem aplicat el principi d'Arquímedes alhora de resoldre tècnicament el procés d'immersió i emersió.
6. Hem comparat els avantatges i desavantatges d'un motor convencional i un motor MHD.
7. L'electròlisi de l'aigua realitzada amb elèctrodes de coure permet generar una corrent de ions que es desplacen d'un elèctrode a un altre. Amb la presència d'un camp magnètic perpendicular al vector velocitat dels ions, es generà una força (força de Lorentz) que propulsarà el submarí.
8. Com més intens sigui el camp magnètic i la diferència de potencial aplicada, aquesta força serà més gran.
9. Per el moment, aquesta propulsió no és del tot viable, ja que des dels anys 60 que porten estudiant-la, s'han creat pocs prototips propulsats per motors MHD. Tot i així, el simple fet d'investigar-la, ha permès la generació de nombroses aplicacions en altres àmbits, com ara: geofísica, astrofísica, física i enginyeria.



7.- FUTURES LÍNIES D'INVESTIGACIÓ:

Durant la realització d'aquest treball, han sorgit innumerables problemes que no ens han deixat investigar petites curiositats d'aquesta magnífica propulsió. Ens hagués agradat veure les següents propostes:

1. Elèctrodes ideals:

Amb els elèctrodes de coure, hem vist que la força de Lorentz desplaçava el fluid (creant una corrent que desplaçava el submarí), aquest fluid però, tenia un color verdós (faltaria investigar sobre aquest tema). Existiria algun material que no causés danys al medi? Quin seria l'adequat?

Es tractaria de provar altres materials conductors, com ara: el grafit, que no li afecta la corrosió de l'aigua salada, però no és tan conductor com el coure.

2. Millorar el rendiment:

Amb la utilització de materials superconductors, i cambres criogèniques, obtindríem rendiments més alts.

3. Millorar la potència:

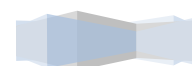
Amb la finalitat de millorar velocitats dels bucs, en comptes d'utilitzar imants superconductors, podríem utilitzar bobines superconductores, o experimentar amb altres fluids conductors (plasmes i metalls líquids).



8.- BIBLIOGRAFIA:

8.1.- PÀGINES WEB:

- www.edu365.cat
 - <http://www.edu365.cat/batxillerat/comfer/recerca/>
- www.xtec.cat
 - http://www.xtec.es/~mmarti16/cat.treball_de_recerca.htm
- www.wikipedia.org
 - <http://es.wikipedia.org/wiki/Submarino>
 - <http://es.wikipedia.org/wiki/Magnetohidrodin%C3%A1mica>
 - http://es.wikipedia.org/wiki/Hannes_Alfv%C3%A9n
 - [http://es.wikipedia.org/wiki/Plasma_\(estado_de_la_materia\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Plasma_(estado_de_la_materia))
 - <http://es.wikipedia.org/wiki/Salmuera>
 - <http://es.wikipedia.org/wiki/Arqu%C3%ADmedes>
 - http://es.wikipedia.org/wiki/Principio_de_Arqu%C3%ADmedes
 - http://es.wikipedia.org/wiki/Octubre_Rojo
 - http://es.wikipedia.org/wiki/Tom_Clancy
 - http://es.wikipedia.org/wiki/Hendrik_Antoon_Lorentz
 - http://es.wikipedia.org/wiki/Yamato_1
 - <http://es.wikipedia.org/wiki/Electr%C3%B3lisis>
 - <http://es.wikipedia.org/wiki/Oxidaci%C3%B3n-reducci%C3%B3n>
 - <http://es.wikipedia.org/wiki/Grafito>
 - <http://es.wikipedia.org/wiki/Grafeno>
 - <http://es.wikipedia.org/wiki/Cobre>
 - <http://es.wikipedia.org/wiki/Cavitaci%C3%B3n>
- www.magnetohidrodinàmica.com
- www.elsnorkel.com
 - http://www.elsnorkel.com/web/index.php?option=com_content&task=view&id=470&Itemid=133
- www.camne.com.ar



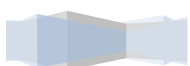
- www.google.com
 - <http://translate.google.es/#>
- www.enciclopèdia.cat
- www.terra.com
 - <http://www.terra.es/personal6/u-boat/textos/historia.htm>
- <http://centros5.pntic.mec.es/ies.victoria.kent/Rincon-C/Alumnos/al-19/al-19.htm>
- <http://mgar.net/mar/submarin.htm>
- http://www.tdr.cesca.es/TESIS_UPC/AVAILABLE/TDX-1008101-190345//13anex_1.pdf
- <http://oa.upm.es/763/1/04197201.pdf>

8.2.- LLIBRES:

- *Mercadé Joan, Serra Salvador, i Armengol Montserrat, 2009, "Llibre de física de 2n de Batxillerat", McGraw-Hill.*
- *"Gran Enciclopedia Larousse", 1993, el Planeta, S.A.,*

8.3.- ALTRES FONST D'INFORMACIÓ:

- Vídeos de la propulsió MHD:
 - <http://www.youtube.com/watch?v=h0guQCD3QUA>
 - <http://www.youtube.com/watch?v=hUeEg5InzcU>
 - <http://www.youtube.com/watch?v=TmOqbiybfzY&feature=related>
 - <http://www.youtube.com/watch?v=fvI0Qkwc9hA&feature=related>
 - http://www.youtube.com/watch?v=-_c0rYAckwI&feature=related
 - <http://www.youtube.com/watch?v=9zl1Xpzvwf4>
 - <http://www.youtube.com/watch?v=sT39rd4P9x4&feature=related>



- Vídeos de diferents sistemes de llast per a submarins radio-control (RC)
 - <http://www.youtube.com/watch?v=PpljQiYK1Wg&playnext=1&list=PL09C6FFF48F925032&index=2>
 - http://www.youtube.com/watch?v=nPV_ZUiJNQL&feature=related
 - <http://www.youtube.com/watch?v=oBvYJAROLDU&feature=related>
 - http://www.youtube.com/watch?v=kV_zmoJ6Jbg&feature=related

- Altres vídeos interessants:
 - <http://www.youtube.com/watch?v=CNUYfaWIsXM> (força de Lorentz)
 - <http://www.youtube.com/watch?v=fWWGI76n5T8> (història del submarí)
 - <http://www.youtube.com/watch?v=n3A5MK6IDpg> (principi d'Arquímedes)

8.4.- ORIGEN DE LES IMATGES

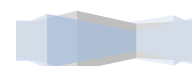
- <http://www.google.es/imghp?hl=es&tab=wi>
 - Imatge 1, 5, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 26, 28, 29, 31, 32, 33, 35, 43, 44, 45, 48, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78.

- <http://www.terra.es/personal6/u-boat/textos/historia.htm>
 - Imatge 2, 3, 4, 6, 7, 14, 15 i 16.

- <http://www.wikipedia.org>
 - Imatge 27 i 42.

- http://www.supermagnete.de/spa/magnets.php?group=blocks_big
 - Imatge 34, 36 i 37.

- Imatges pròpies:
 - Imatge 25, 38, 39, 40, 46, 47, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68 i 69



9.- ANNEXES:

En aquest apartat mostrarem temes relacionats amb aquest treball que no hem trobat convenient posar-los en el nucli de l'informe, ja sigui per la seva mida (plànols, dibuixos), o naturalesa (vídeos).

Tanmateix, exposarem detalls complets de procediments aplicats, demostracions...) que en el nucli del informe alteraria la presentació lògica i l'estructura.

També alguna documentació d'interès, com ara articles de diaris o revistes que facin referència al treball...

I per acabar donarem una descripció detallada del material obtingut, i dels programes utilitzats.

ANNEX 1: Yamato 1



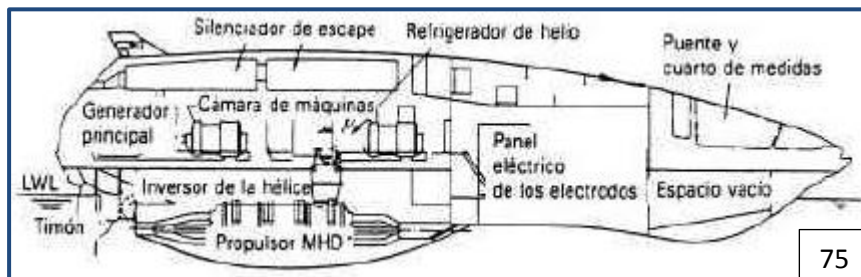
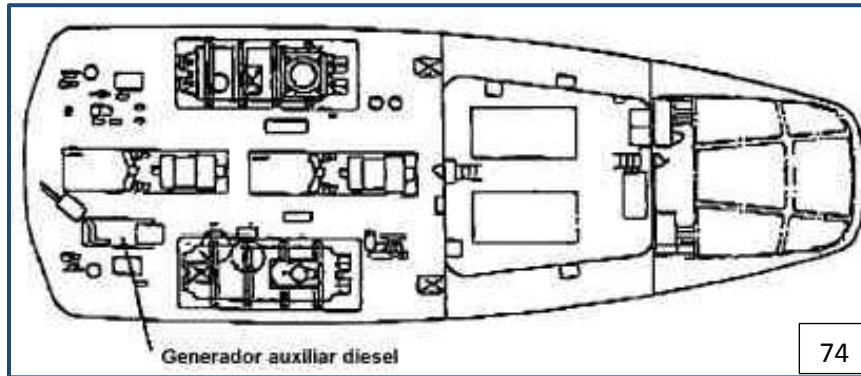
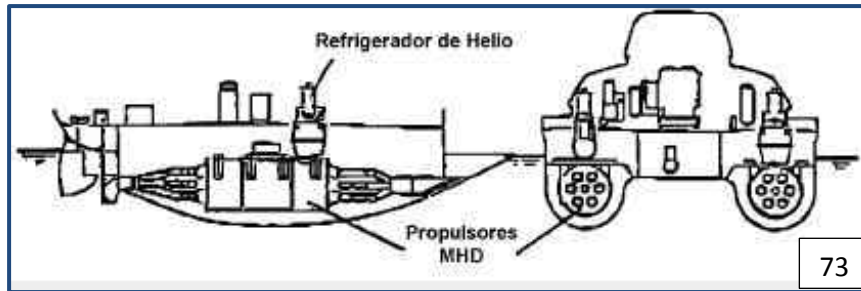
El *Yamato 1*, va ser el primer prototip funcional emprant motors MHD, equipats per superconductors refrigerats per heli líquid. Va ser un projecte del conglomerat japonès Mitsubishi i la construcció va finalitzar l'any 1991. Vegeu les imatges 71, 72, 73, 74 i 75 de pàgina següent).

Imatge 71: Yamato 1 navegant per Kobe



Imatge 72: Yamato 1



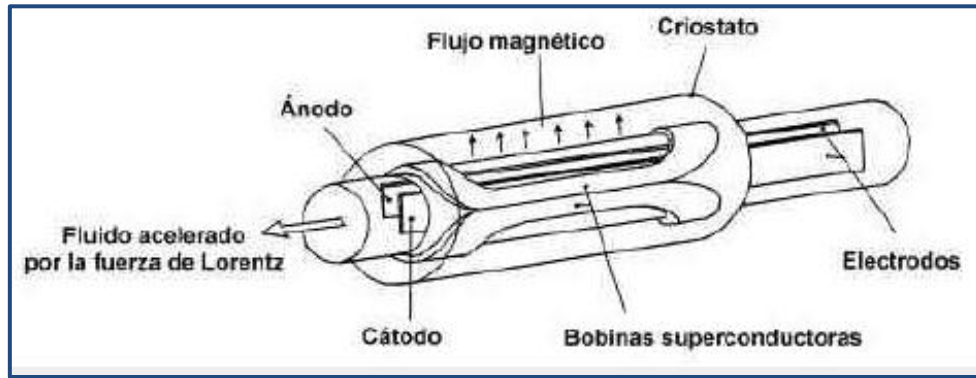


Imatges: 73, 74 i 75: plànols del Yamato 1

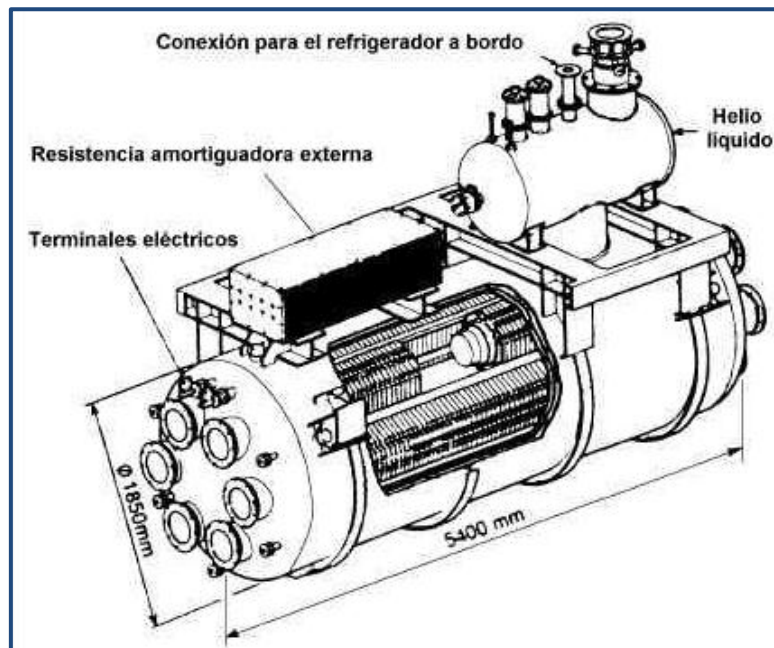
Com haureu vist, el sistema de propulsió està format per un imant superconductor, claus i control de corrent continu, una unitat de refrigeració d'heli, elèctrodes en els conductes d'aigua de mar...

El imant superconductor, està compost per sis anells amb sis estructures de bobines superconductores (vegeu la imatge 76), en cercle (per combinar mútuament els fluxos magnètics de cada una de les sis bobines) dins d'un recipient d'heli. (vegeu la imatge 77, de la pàgina següent per entendre-ho millor)





Imatge 76: esquema bàsic d'un anell dels sis que té cada motor MHD.



Imatge 77: conjunt propulsor dels dos que té per banda.

Les característiques de cada un dels motors MHD del Yamato 1 són les següents (vegeu la imatge 78):

- Densitat del flux magnètic: 4 T
- Conductivitat de l'aigua de mar: 4 S/m
- Tensió entre elèctrodes: 135 V
- Distància entre elèctrodes: 0,175 m
- Densitat de corrent entre la cara dels elèctrodes: 4525 A/m²
- Potència Elèctrica absorbida: 270 kW
- Força Lorentz: 1300 N



Imatge 78: un dels dos motors MHD del Yamato 1.



Les característiques del Yamato 1 (de tot el vaixell en conjunt) són les següents:

- Força Lorentz: 15600 N
- Velocitat estimada del vaixell: 19Km/h aprox.
- Desplaçament: 185 tones
- Potència elèctrica absorbida: 3240 kW

La base de metall dels elèctrodes és feta de Titani, amb l'ànode de DSA, i el càtode d'una placa de platí, i el llarg d'aquests és de 3,4 m.

ANNEX 2: ELS IMANTS DE NEODIMI I LES BOMBES D'AIGUA

L'obtenció d'alguns materials essencials pel submarí no ha estat gens fàcil, com n'és el cas dels imants de neodimi i les bombes d'aigua.

Aquests tipus d'imants són difícils de trobar, i només en venen en botigues especialitzades que en venguin.

Un altre factor que cal tenir en compte és el preu, i vam pensar que si els compràvem per Internet ens podríem estalviar uns diners. Navegant per pàgines especialitzades en el tema, comparant preus, diferents tipus d'imants... vam trobar uns que per la seva potència estaven molt bé de preu. Els vam trobar en aquesta pàgina web:

<http://www.supermagnete.de/spa/>.

eren procedents d'Alemanya, i cada imant ha costat 7€.

Pel que fa a les bombes d'aigua, les vam obtenir de Madrid. Vam encomanar un parell de bombes a una empresa anomenada Microlog, la qual es dedicada a la fabricació d'aparells electrònics, kits educatius, sistemes tecnològics...

Cada bomba d'aigua ha costat 11€.

ANNEX 3: ISAAC PERAL

1888 SUBMARINO PERAL (España)

Isaac Peral y Caballero, inteligente marino español, concibió el proyecto del submarino que lleva su nombre y lo comunicó a sus superiores. Llamado a Madrid hicieronse estudios parciales que dieron por resultado empezar su construcción en el arsenal de la Carraca, (Cádiz) el 23 de octubre de 1887, botándose al agua el 8 de septiembre de 1888, y los resultados de sus diferentes ensayos fueron los mejores dados hasta entonces por un submarino. Permaneció sumergido más de una hora, recorrió a 10 metros de profundidad 4 millas, hizo el simulacro de atacar a un buque de guerra, y resistió una gran marejada entrando sin averías. Propulsado por dos motores eléctricos de 30 caballos, que ponían en movimiento dos hélices, tenía 21'8 m. de longitud por 2'75 de diámetro. A pesar de las pruebas favorables, decayó el entusiasmo popular, faltóle el apoyo oficial, y el informe de la comisión fué adversa a la continuación de tan importantes investigaciones.

