

Índex:

1	Introducció.....	3
2	Objectius.....	6
3	Metodologia.....	8
4	El submarí.....	10
5	Història	12
6	Narcís Monturiol	16
7	Informació de les parts d'un submarí	18
8	Submarí de butxaca	21
9	Els submarins radiocontrolats:	22
10	El nostre submarí.....	25
11	Peces i materials emprats	30
12	Arduino.....	34
13	La construcció	38
13.1	Disseny i construcció del xassís.....	38
13.2	La flotabilitat.....	41
13.3	Estancament i aplicació dels motors al submarí	45
13.4	Reed switch.....	49
13.5	L'electroimant.....	50
13.6	Construcció del comandament.....	50
14	El nostre programa	53
15	Circuit de la placa.....	56
16	Resultats obtinguts	61
17	Cost econòmic	62
18	Conclusions	63
19	Bibliografia.....	65

1 Introducció

Svante Pääbo va dir una vegada : “ Els neandertals mai no creuaven el mar si no veien terra de l’altre costat; nosaltres sí, i per això hem colonitzat el món sencer.”¹ Fent referència a aquesta cita observem la predestinació dels éssers humans al coneixement, a aventurar-se, a trobar veritats malgrat no veure-hi un camí clar. És, doncs, aquesta actitud emprenedora la que ens ha diferenciat des de sempre dels demés i ha estat principi de cada acte.

Per creuar aquest mar, s’han dissenyat facilitats que han permès l’avanç en el camí. Aquestes facilitats concedeixen l’arribada a una fita que per a molts hauria resultat inaccessible, inimaginable.

Pel que fa a aquests avenços de la història de la humanitat, que han permès deixar la por i continuar caminant, admirem la immensitat d’algun en especial.

Després de fer-se coneixedora l’espècie humana de quasi tota l’àmplia superfície terrestre i posseir el control del planeta, van decidir atrevir-se amb els tres altres quarts de Terra que eren encara inèdits per a l’home.

Així com l’aportació del vaixell va ésser destacada per desplaçar-se entre terres travessant l’aigua, l’aparició del submarí va significar exposar-se a un munt de veritats que s’amagaven a milers de metres sota l’aigua.

L’invent del submarí és, per a nosaltres, un dels grans salts de la història de la humanitat i és per això que hem volgut encarar el nostre treball de recerca als submarins i, especialment, a la realització d’un robot submarí.

Els components d’aquest grup de treball som dos estudiants de la modalitat tecnòloga. Som alumnes de l’Escola Sant Gervasi i amb aquest projecte ens hem endinsat a conèixer la història dels submarins, com també la seva importància al llarg dels segles.

Trobar aquest tema per fer el treball de recerca no ha resultat difícil. Des d’un bon principi, teníem clar que el volíem aplicar a la realitat, efectuant algun instrument, una

¹ Svante Pääbo en el programa televisiu Redes en el capítol: Rastrear el pasado por medio de la genética

part pràctica. També havíem considerat seriosament la idea d'aconseguir que aquesta posada en pràctica interaccionés amb el medi i pogués ser controlada per un agent extern. Tot i amb això, el que no era tan obvi era a partir de quin objecte aconseguiríem aquest objectiu. Abans de considerar la idea de la nostra afinitat respecte els submarins, vam plantejar altres cossos.

Vam formular la idea de realitzar una avioneta radio-controlada o de construir algun vehicle terrestre intel·ligent que alhora també es pogués controlar directament. A partir d'aquesta línia de propostes, finalment vam plantejar-nos un repte, treballar en el medi de l'aigua.

Els dos sentíem una forta atracció pel que representava poder establir control amb un aparell submergible. Sentíem motivació per fer un robot submarí que alhora es pogués teledirigir.

El fet de fer-lo també autònom i aplicar-li sensors o una càmera o un electroimant, com diverses altres adaptacions, ha significat donar-li un ús de caire científic i obrir-lo a realitzar diferents operacions que el diferenciarien d'un submarí teledirigit normal.

Per poder crear el nostre projecte hem estudiat diversos models, hem tingut en consideració els avantatges i els inconvenients que presentaven els diferents arquetips i, finalment, ens hem decantat per realitzar un submarí amb l'estructura física oberta. D'aquesta manera hem hagut de treballar l'estancació de les peces adoptant un procés distint, així com també ens hem vist obligats a modificar la via de control del nostre robot submarí.

Amb aquesta conformació assolim més fiabilitat i agilitat alhora de fer-lo processar en condicions aquàtiques.

Un cop finalitzada la construcció de l'estructura del submarí, presentem dos mètodes per efectuar el control d'aquest. Així doncs, podrem realitzar el moviment mitjançant un comandament que disposarà de polsadors industrials i un *joystick* per sorprendre amb diferents actuacions que podrà dur a terme. També, el domini de l'aparell disposarà d'una placa programable que el farà autònom i permetrà traçar una trajectòria, sense ús del comandament, atès que haurà estat anteriorment programada. A més a més, serà capaç de corregir la trajectòria, mitjançant uns sensors de contacte, en cas que es presenti una anomalia en aquesta que obstaculitzi el circuit.

D'altra banda, aquest treball també ens ha permès programar en un altre llenguatge informàtic novador per a nosaltres com és el que ve determinat pel compilador propi que ens lliura la plataforma d'Arduino.

Tant l'un com l'altre portàvem una base de programació d'anys anteriors a l'escola o en algun curs especial a la universitat que ens va permetre facilitar la comunicació entre el robot i nosaltres. Així doncs, havent treballat anteriorment amb llenguatges com el C, C++ o el C# ens ha permès veure que el codi íntegre d'Arduino seguia una estructura molt similar a la dels altres codis. A més, ens hem vist recolzats per la web d'aquesta plataforma que posa de manifest algunes funcions que més tard faríem servir. Finalment, el propi compilador lliurava alguns exemples que ens han donat informació per programar.

La nostra recerca d'informació, pel que fa als submarins, ha volgut endinsar-se en la història d'aquesta, remarcar els models i l'evolució que s'ha marcat al llarg dels anys per aconseguir aquesta sorprenent fita.

També hem vist oportú fer esment a les diferents classes de submarins que existeixen i estudiar les parts d'aquests. Per tant, era important remarcar la història de Narcís Monturiol, com el primer català en plantejar un model de submarí navegable.

Parlar de les aplicacions que li hem atorgat al nostre submarí com ara el reed-switch o l'electroimant, era necessari per tal d'informar quin seria el nostre objectiu, i com el duríen a terme.

També hem trobat necessari dedicar un apartar per esmentar no només la part pràctica de construcció, sinó també la de programació, i és per aquest motiu que hem volgut destacar la plataforma d'Arduino.

El correcte desenvolupament del nostre procediment i seguir els passos de forma pautaada, ens han permès arribar al resultat esperat, aconseguir la construcció d'un submarí, dirigir-lo i atorgar-li intel·ligència davant d'un ambient problemàtic com resulta el de l'aigua.

2 Objectius

Pel que fa al nostre projecte, el principal objectiu que ens hem proposat és realitzar-lo de manera que quan el finalitzem, nosaltres mateixos estiguem satisfets i orgullosos. Per tal d'aconseguir-ho ens agradaria que el nostre submarí pogués navegar i, fins i tot, que

realitzés alguns moviments de manera autònoma a partir dels elements que l'hem anat afegint.

Els objectius que ens hem plantejat per assolir la nostra fita els podem dividir en tres grans blocs: els objectius conceptuals, els objectius procedimentals i els objectius humans.

Si ens fixem en els **objectius conceptuals**, el primer objectiu que ens proposem és endinsar-nos en el món naval, un món desconegut per a nosaltres però que ens atrau per la quantitat il·limitada d'espècies i formes. Ens hem suggerit informar-nos i recercar a diferents fonts d'informació sense abusar massa d'una en concret, seguint un ordre i anotant tot allò que considerem important. També ens hem plantejat aprendre a utilitzar correctament programes informàtics com el Microsoft Word, el Paint, l'Autocad, el Multissim o el compilador d'Arduino. Llegir i informar-nos sobre altres experiències que ha tingut gent que està immersa en projectes semblants al nostre, ha estat un dels objectius per escollir les millors tècniques i els millors materials per a la construcció del nostre propi submarí.

En quan als **objectius procedimentals**, el disseny i la construcció del submarí són de primordial importància per realitzar en aquest projecte. També podem recopilar altres objectius com l'anàlisi de les característiques dels materials per a escollir entre un ventall de possibilitats que hi ha al mercat. Tanmateix, ens hem fixat en el preu i hem comparat els diferents pressupostos d'aquests per arribar a un pressupost total assequible. El fet d'utilitzar i descobrir nous estris per a la construcció és un objectiu que li volem donar èmfasi. Aquest és degut a que creiem que moltes vegades només ens encarem amb problemes teòrics i creiem que utilitzar estris per resoldre problemes pràctics serà un nou món per a nosaltres. La seguretat és objectiu a destacar per executar. Intentarem que tot allò que realitzem ho confeccionem de manera segura i detallada. Si ens fixem en la part programable del nostre submarí, un nou entorn de programació se'ns obre al nostre davant i necessitarem aprendre i descobrir el funcionament i el llenguatge que necessita el compilador per funcionar correctament. Alhora, tenir un bon sistema per aconseguir transmetre de manera correcta els senyals de l'ordinador als motors del submarí serà també un objectiu procedimental que volem dur a terme. Per tant, hauré de dissenyar un circuit lògic amb diferents components electrònics per a poder-los controlar i ens caldrà buscar-los en diferents fonts

informatives per a poder manufacturar el circuit electrònic que pugui fer funcionar els motors.

Per poder complir els **objectius humans** ha estat totalment necessari mantenir una bona relació amb el company de treball, valorar les diferents opinions, mantenir una bona comunicació i respectar els horaris i el lloc en el moment de les reunions. També tenim com a objectiu humà organitzar el nostre temps amb previsió mantenint una bona agenda de treball per a que cada membre del grup de treball no se senti perjudicat per a quedar un dia o un altre. Mantenir el treball realitzat al dia que ens pertoca i entregar les feines, així com, quedant amb la nostra tutora cada cert temps per a que ens revisi i ens dirigeixi durant el nostre projecte. També creiem que saber estructurar els diferents apartats del treball i el fet que cadascú pugui desenvolupar la seva feina ha de ser un altre objectiu humà.

Per finalitzar, creiem que si complim tots els objectius remarcats anteriorment, haurem assolit el nostre projecte correctament i estarem satisfets amb el treball realitzat.

3 Metodologia

Encarar aquest treball comportava haver d'informar-nos sobre el funcionament d'un submarí de proporcions reals. Per això vam haver de recórrer a l'ús de diversos llibres i enciclopèdies. Per extreure aquests llibres, vàrem haver de fer ús de la biblioteca de Mollet del Vallès i també de la biblioteca de la Universitat de Girona, l'UdG. Allà, alhora, vam tenir en compte alguns treballs de final de carrera els quals ens han facilitat informació i idees per a l'execució del nostre projecte.

La informació general dels submarins no ens ha resultat difícil de trobar, ja que vam localitzar amb moltes webs útils que ens parlaven d'aquests. La quantitat d'informació i el fet de tenir les idees estructurades de com plantejar el treball va permetre una fluïdesa alhora d'anar redactant-lo. El que ens va endarrerir el nostre projecte va ser la pràctica. Així, d'entrada, no disposàvem d'experiència ni de recursos per saber com realitzar el vehicle. Aquest fet ens va portar a fixar-nos en els models d'aeromodelisme. Un cop vam fixar les nostres idees en un perfil de submarí en forma de torpede, vam començar a recercar mètodes de construcció. Aquests mètodes eren econòmicament inaccessibles i difícils de portar a la pràctica dins el termini acordat.

Tot i així, aquest disseny va continuar sent la nostra preferència fins que no vam establir contacte amb la Universitat de Girona. Allà, gràcies al recolzament d'en Xavier Cufí, que ens va presentar l'estructura openframe, va provocar un gir important en el desenvolupament del nostre projecte. Aquesta estructura deixava de ser un cilindre com en el cas del torpede i començaria a adoptar una estructura oberta on es deixaria passar l'aigua dins d'aquest cos. Un cop vam establir relació, ens van oferir ajuda per resoldre dubtes. Així va ser com, més tard, les nostres visites a la Universitat van ser rebudes també amb el suport d'en Miquel Villanueva. Ambdós van permetre que avancéssim àgilment la nostra part pràctica així com, sovint, lliurant-nos material pràctic. Alhora, ens van fer entrega de llibres que ens van proporcionar informació útil i idees de la construcció.

Experimentalment, la construcció del submarí la vam dur a terme en els tallers de la Universitat de Girona al disposar de material i instal·lacions d'última generació com ara una piscina o eines específiques. També vàrem realitzar part pràctica, en els tallers de l'Escola Sant Gervasi. A l'escola vam rebre el recolzament de la nostra tutora de treball, la Júlia Fernández per dedicar part del seu temps en les correccions, en la resolució de dubtes i en guiar-nos a l'hora de realitzar el nostre treball. D'una altra banda, l'escola ens va proporcionar material electrònic mitjançant a en Xavier Valldeoriola, qui també ens va dedicar part del seu temps per resoldre'ns dubtes de caire informàtic.

Pel que fa al desenvolupament, ha estat un treball laboriós. Això ha estat motivat per treballar amb un llenguatge tècnic i que sovint no corresponia al nostre idioma i registre, els quals de vegades no han estat fàcils d'assimilar.

Malgrat tot, aquest treball ens ha resultat molt satisfactori. Ens ha permès adquirir coneixements sobre aquest tema i el desenvolupament de la pràctica ha significat una il·lusion especial que hem compartit al llarg de tot el projecte.

4 El submarí

Bàsicament, entenem que un submarí és un vaixell de guerra, d'exploracions o de transport que està construït per submergir-se, navegar, investigar o combatre sota l'aigua.

A principis del segle XX doncs, es podia distingir entre tres classes de submarins :

- El vaixell que estava dotat d'una gran flotabilitat i només es submergia ocasionalment era anomenat "submergible".

- El vaixell que estava especialment dissenyat per navegar gairebé sempre submergit i amb una flotabilitat reduïda i que navegada poc per la superfície i amb unes qualitats marineres molt dolentes, era anomenat "submarí".
- El vaixell que estava construït per realitzar immersions tot deixant la part alta de la seva estructura tocant la superfície rebia el nom de "submarí de superimmersió".

Però actualment, els submarins moderns han sabut millorar les característiques i qualitats que definien els tres anteriors, creant-ne un de sol. Aquest invent ha adoptat el nom de submarí.

Al navegar el submarí per la superfície, ho fa amb una flotabilitat positiva, en la immersió en canvi, anul·la la flotabilitat augmentant el pes del vaixell, omplint d'aigua uns tancs proveïts de vàlvules d'inundació a la part inferior i de ventilació a la part superior.

Per tant, les vàlvules d'inundació permeten:

- L'entrada i sortida de l'aigua.
- El corrent de l'aire.

Durant el procés d'emersió, les vàlvules d'inundació expulsen l'aigua al introduir l'aire comprimit per les vàlvules de ventilació a una pressió suficient.



Fig. 4.1. Submarí modern.

Quan el submarí es submergeix, no aconsegueix el perfecte equilibri i per tant necessita l'actuació dels timons de profunditat, els quals corregeixen la posició del submarí i l'estabilitzen.

Els motors Diesel, amb el qual està equipat, li proveeixen una propulsió al submarí quan està a la superfície o quan navega a

poca profunditat. Aquests motors accionen, alhora, un generador que carrega una bateria

d'acumuladors, l'energia elèctrica dels quals alimenta els motors elèctrics que mouen les hèlixs quan navega submergit.

Aquest model però, va ser substituït l'any 1954, quan comencen a aparèixer els submarins de propulsió nuclear. Aquests van reemplaçar per complet als altres ja que permetien viatges de major durada i només s'havia de renovar la càrrega nuclear cada trenta mesos.

En condicions normals, un submarí com el que hem presentat inicialment pot arribar a submergir-se fins a una distància de 300 metres, mentre que els submarins



Fig. 4.2. Submarí accionat per un motor Diesel.

atòmics poden arribar fins a varis kilòmetres de profunditat.

5 Història

El submarí, fins al segle XIX, sempre ha estat un vehicle utilitzat per a les ordres militars. Per tant, els primers indicis de submarins en la història, són vehicles que

s'utilitzaven per fer rastrejament de zones d'atac o, més endavant, com a una arma de foc.

Tot i que no es pugui considerar submarí, trobem els primers estris per poder anar sota l'aigua l'any 332 aC en la batalla de Tir i en les guerres púniques (264 - 146 aC). Aquests permetien passar per sota les embarcacions enemigues i barrinar-les .

També i encara al segle XVI es va fer servir una mena de campana submergida on els tripulants podien anar caminant sobre el terra subaquàtic mentre encara quedés aire dins de la campana.

Però no és fins al 1620 que s'obté informació rellevant de la construcció del primer submarí. Aquest va ser ideat

per l'holandès Cornelius Jacobszoon Drebbel(1572-1633). Aquest submarí estava fet de fusta i s'impulsava per remos quan estava submergit i per vela quan es trobava a la superfície. Va arribar a navegar fins a dues hores per el riu Tamesis (Fig.5.1).

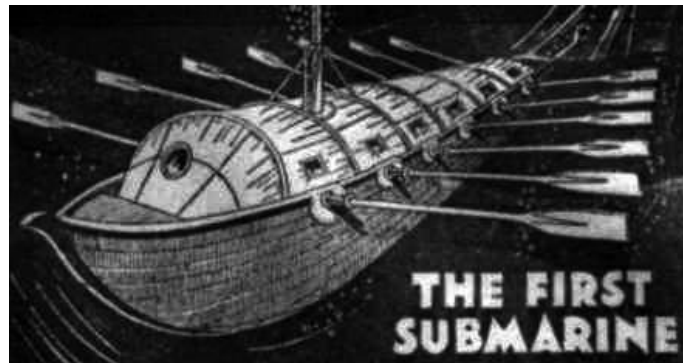


Fig. 5.1

Al 1776, el científic nord-americà David Buschnell(1742 - 1822) va idear el projecte Tortuga (Fig.5.2). Aquest va ser emprat sense èxit, contra el navili anglès Eagle. Estava constituït per un ovoide de planxa de coure. Era un vehicle per a una única persona i que utilitzava la força muscular del tripulant per poder anar avançant per l'aigua. Tots els elements de govern s'accionaven manualment i anava equipat amb una hèlix horitzontal per controlar la direcció i una hèlix vertical per al govern de la profunditat. A més, disposava d'una càrrega explosiva de 70 kg de pólvora o mines amb espoletes per fixar-les als bucs de l'embarcació enemiga. Aquest submergible estava fet de fusta de roure i dissenyat amb la finalitat de passar per sota dels vaixells

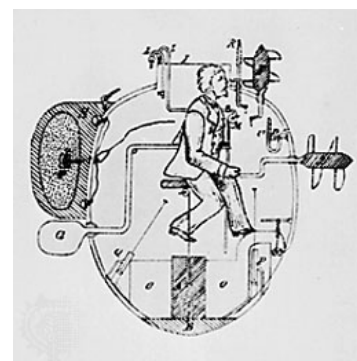


Fig. 5.2

britànics **amarrats** al llarg de les costes Britàniques. Aquest va ser el primer submarí que va efectuar el primer atac

submarí.

L'any 1779, l'inventor Nord-americà Robert Fulton va inventar un submarí al qual li van posar el nom de Nautilus (Fig.5.3), que navegava a vela a la superfície, i era mogut per una hèlix, accionada manualment, en immersió. Estava construït amb fusta amb coberta de ferro i de coure.

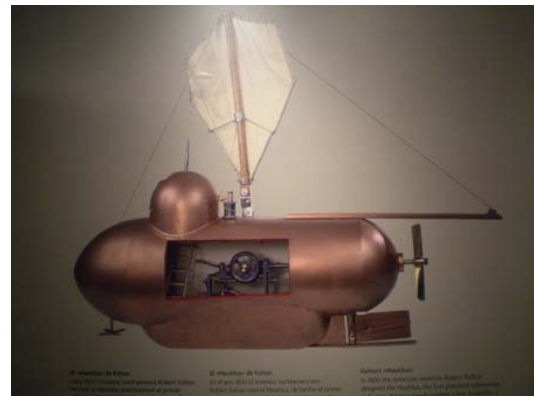


Fig. 5.3

Durant tot el s.XIX, foren desenvolupats nombrosos projectes de submarins, i així va ser com va arribar el primer projecte a l'àmbit espanyol l'any 1858 amb el submarí Ictíni, que estava propulsat per remos i que feia moure una hèlix de quatre pales. Al 1864, es va dissenyar el segon projecte i que es va anomenar amb el mateix nom, aquest va ser el primer submarí tripulat amb motor de combustió i dotat d'uns compartiments els quals estaven repartits estratègicament per tota l'embarcació. La funció d'aquests era el de llast, que consisteix en que quan aquests compartiments estaven buits permetien a l'embarcació surar amb estabilitat per sobre de la superfície del mar i quan aquests estaven plens, permetien que el submarí es mantingués sota la superfície.

Com hem comentat anteriorment, una de les innovacions més importants d'aquest submarí fou la substitució de la força de l'home per la màquina de vapor per al desplaçament. Això va resoldre el problema de la propulsió i va permetre facilitar el moviment de l'embarcació.

El 1863, Alstitt combinà la propulsió a vapor en superfície amb el motor elèctric alimentat per piles en immersió; el 1888, el nord-americà Holland substituï el motor de vapor pel de benzina, que fou substituït, el 1909, pel Diesel. Entre els anys 1906 i 1910, Alemanya construï la sèrie de submarins Desiderata, que desenvoluparen una velocitat de 15 nusos en superfície i de 10,5 en immersió, i fou a la Primera Guerra Mundial que el submarí es consagrà com a arma estratègica. El progrés i la importància del submarí anà augmentant i tingué un paper molt destacat a la Segona Guerra Mundial. La seva

importància ha crescut amb els submarins nuclears, el primer dels quals, el nord-



Fig. 5.4

americà Nautilus, fou avarat pel gener del 1954. En el marc de la dissuasió nuclear, actualment han adquirit una gran importància els submarins dotats de míssils intercontinentals SLBM (Submarine Launched Ballistic Missile). Entre aquests submarins , cal esmentar els soviètics Typhoon (Fig.5.4), i els nord-americans Ohio. Paral·lelament, l'home ha desenvolupat diversos tipus de mitjans antisubmarins, els més importants dels quals són els submarins nuclears d'atac, destinats especialment a localitzar i destruir submarins llançamíssils, i que sovint també disposen de míssils antivaixells. Entre aquests submarins, hom pot esmentar els nord-americans

del tipus Los Angeles, proveïts de torpedes i míssils antivaixell i antisubmarí.

Al 1885, Isaac Peral va ser el primer en crear el periscopí i tubs pel llançament de torpedes. El primer submarí que aconseguí fer una ruta exacta va ser el francès Gymnote al 1888.

A partir del 1985 es comencen a estudiar i a fabricar robots submarins (Fig.5.5) o fins i tot submarins que la seva funció és la d'estudiar el fons marí i la recuperació de ruïnes de



Fig. 5.5

vaixells enfonsats traient-los a la superfície. Aquests disposen de potents focus i materials especialitzats, com són els sensors o càmeres, pel seu desplaçament.



Fig. 6.1

6 Narcís Monturiol

Narcís Monturiol i Estarriol va néixer a Figueres l'any 1819 en una família humil d'artesans. Malgrat estudiar primerament dret, no va exercir-hi mai i la història el recorda com a inventor i polític. Va ser el primer català en inventar un submarí. Va deixar empremta del seu pensament republicà en diaris que generaven soroll i despertaven un sentiment comunista. Arrel d'aquest seguit de publicacions a mitjans del segle XIX, va haver d'exiliar-se a Perpinyà degut a la presència del govern d'Isabel II.

Durant els anys 50, es va anar deixant portar per temes científico-tècnics, i va ser quan l'any 1855, exiliat a Cadaqués, la seva dedicació el va portar a aconseguir un model de nau submarina. Després de realitzar proves i superar entrebancs, l'any 1858 va portar l'“*Ictineu*” (com havia batejat que volia dir peix-nau), a assajar el port de Barcelona. Davant d'aquest gran invent i el ressò popular que va obtenir, el govern d'Isabel II va haver de prometre ajut. Tot i amb això, posteriorment posaria tota mena de traves administratives al trobar alguns aspectes que era necessari curar, com ara la velocitat d'immersió d'aquest. Per realitzar aquestes millores necessitava ajuts de la capital que no van lliurar, ni amb un segon prototip de submarí.

Aquest segon era el doble de gran i estava construït amb doble casc per resistir la pressió. Tenia components hidrodinàmics que facilitaven el seu guiatge i amb tancs i vàlvules i un pes mòbil, podia controlar l'ascens i el descens.

Podia submergir-se fins a dues hores a 20 metres de profunditat. Finalment, el material bàsic era fusta d'olivera i roure i una petita capa de coure.

Malgrat no poder continuar amb el projecte, d'aquests coneixements que van servir també d'intent per a diferents enginyers d'arreu del món del moment, en va quedar una descripció en “*Ensayo sobre el arte de navegar debajo del agua*“ publicat l'any 1891.

Tot i no poder arribar a un projecte definitiu i vàlid, per culpa de no tenir suficients finançaments, Monturiol havia estudiat la creació d'aquella màquina essent: resistent, impermeable i estancat. A part disposava de medis de regeneració de l'aire i producció de l'oxigen. Principalment va crear el vehicle amb finalitats d'ajudar a la pesca submarina de coral, però més tard va preveure unes finalitats científiques i fins i tot, militars, ideant l'aplicació d'un canyó.

Les últimes proves del *Ictineu* van ser l'any 1867, després d'afegir-li una màquina de vapor per a millorar l'avenç submarí. Tot i aconseguir resultats amb èxit, finalment al no ser un projecte viable per la falta de finançament, el projecte es va haver de suspendre el Febrer de l'any 1867.

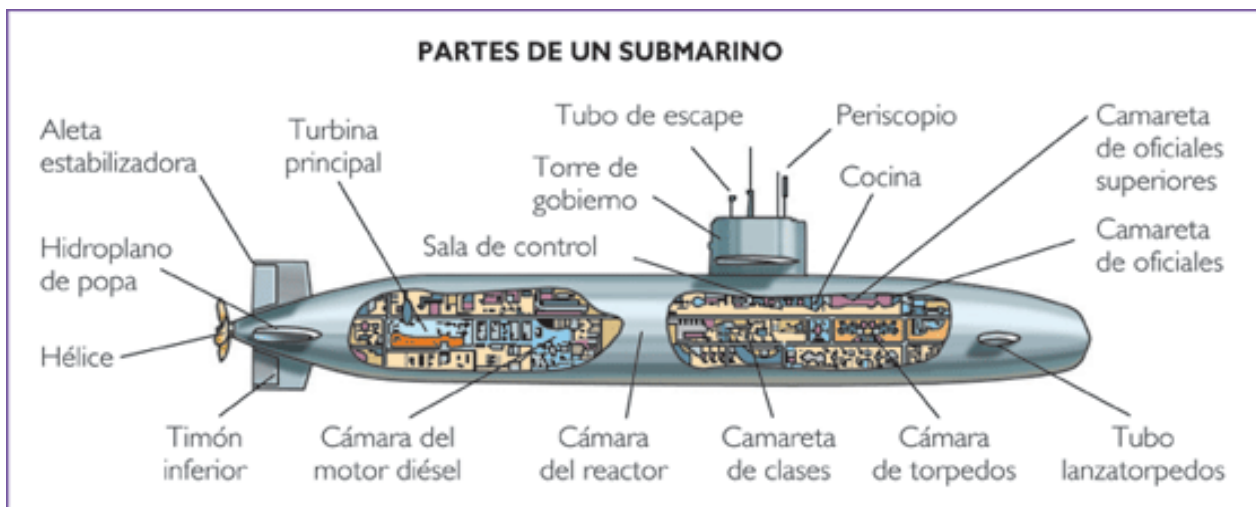


Fig. 6.2 Actualment es manté una rèplica de l'Ictineu II a prop del Maremagnum de Barcelona.

7 Informació de les parts d'un submarí

Parlar d'un submarí és parlar d'un invent força antic. Així doncs, podem dir que el submarí ha anat evolucionant la seva forma durant la seva història. No va ser fins al segle XIX en quan es va crear la forma que existeix a l'actualitat.

Les parts principals d'un submarí són:



Si ens fixem en parts més concretes d'un submarí, i basant-nos en la construcció d'aquest model de submarí, el modern, definim la seva estructura, separant-la en dos cascos. D'aquests dos un és exterior i cobreix l'altre.

- **Casc exterior o hidrodinàmic:** La seva funció principal és atorgar a la nau la figura hidrodinàmica necessària per poder realitzar el desplaçament amb la velocitat tant en la seva immersió com a la superfície de l'aigua.

L'altre casc, l'interior, s'anomena també:

- **Casc resistent:** Està preparat per suportar la pressió al submergir-se el vehicle. Aquest té una forma cilíndrica i està fet, generalment, d'acer. En el seu interior ja s'hi troben els allotjaments destinats a la tripulació, els compartiments dels torpedes i la zona de comandament. Aquest és capaç de mantenir la pressió i oxigen necessari per als viatgers.

El submarí necessita un sistema de tancs per poder submergir-se (i tornar a sortir a la superfície). En aquests, podem distingir:

- **Els tancs d'immersió i emersió:** Es troben als costats del submarí, que serveixen per donar el pes i fer que s'enfonsi o alleugerir el cos deixant anar l'aigua que hi ha a dins, en el cas dels d'emersió.

La quantitat d'aigua que hi ha en aquests tancs li dona flotabilitat i el permet navegar per l'aigua.

La direcció s'aconsegueix amb **timons verticals (Fig.7.2)**, que permeten els canvis de direcció, els girs, i els horitzontals, que permeten el desplaçament vertical i l'angle a les maniobres de pujar i baixar.

L'avenç o el retrocés s'obté gràcies a **hèlixs unides a l'eix motor (Fig. 7.2)**, com en un vaixell. En el cas dels submarins militars, aquestes tenen un disseny especial que les fa molt silencioses per evitar ser descobertes pels enemics.

El submarí també disposa d'un periscopi, que és un tub que conté miralls en el seu interior i facilita la visió exterior del mar. Els submarins més moderns, però, disposen de càmeres connectades en pantalles televisives. Per poder observar la superfície cal fer pujar el submarí a la cota periscòpica, (entre els 15 i 30 metres de profunditat) depenent de la llargada del periscopi, per tal que aquest pugui sortir de la superfície de l'aigua.

Pel que fa a la provisió d'aire respirable, s'ha de dir que el casc resistent ha de poder aconseguir profunditats importants però alhora, que es pugui respirar. Antigament agafaven l'aire de l'exterior, el comprimien, el guardaven en dipòsits, i es podia descomprimir a mesura que els tripulants o els motors diesel el necessitaven. Però l'any 1950, l'energia nuclear va reemplaçar els motors dièsel i a la vegada els va permetre l'extracció del oxigen del aigua del mar. Aquest avenç tecnològic va permetre als submarins poder estar submergits durant setmanes o mesos, i gràcies això, es van poder realitzar viatges i travessies aparentment difícils, ja sigui pel temps o les condicions.



Fig. 7.2

Només hi ha factors que limiten la permanència subaquàtica i estaríem parlant de subministres alimentaris o problemes psicològics que poden sorgir en un espai tan reduït.

Pel que fa a l'armament dels submarins podem distingir:

- **Tubs llançatorpedes** a proa i popa, potser alguns canons a coberta.
- **Metraladora antiaèria** també situada a coberta.
- **Llançamíssils**, que des del 1959 alguns submarins comencen a adaptar-los.

8 Submarí de butxaca

L'any 1915, el britànic R.H. Davis crea l'anomenat submarí de butxaca. Aquest és un submarí especial per realitzar operacions militars o exploracions científiques.

Les dimensions del submarí de butxaca són molt més reduïdes i tenen una autonomia més escassa.

El seu ús pot variar depenent de la situació, així doncs trobem que hi ha dos tipus de submarins de butxaca que s'utilitzen per realitzar:

- **Operacions civils:** Aquests són d'una o dues places. Un exemple d'un robot civil és el mostrat a la Fig. 8.1.

- **Operacions militars:** Poden arribar a tenir un aforament de 2 a 6 places, i els tripulants poden sortir perfectament del submarí amb un bus adequat.

Aquests submarins també porten càrrega explosiva i generalment tracta de torpedes. L'any 1941 es va realitzar la primera actuació dels submarins de butxaca. Aquesta va ser en un atac japonès a la base naval nord-americana de Pearl Harbor.

Més tard, aquests tenen un paper important dins de la Segona Guerra Mundial.

9 Els submarins radiocontrolats:

El radio control és una forma de controlar aparells electrònics amb un comandament a distància amb l'objectiu de fer l'acció que desitgi l'usuari. En el cas dels vehicles radio controlats, l'objectiu és conduir els vehicles a

petita escala
moviments
màxima
possible.
aparells
partir de les



Fig. 8.1

electromagnètiques que connecten el comandament amb l'aparell que es vol controlar. Avui en dia, hi ha tot tipus de vehicles que són transformats en aparells radio controlats.



Fig. 9.1

realitzant els
amb la
versemblança
Aquests
funcionen a
ones

La majoria dels submarins que es poden trobar al mercat són submarins bèl·lics que intenten ser el més ajustats a la realitat i simulen el seu moviment. Són submarins per a gent que té com a hobby l'aeromodelisme.

Però també hi ha molts que no són realitzats com a hobby. Així doncs, hi ha empreses que hi treballen en projectes científics i que amb l'ajuda d'aquests robots submarins

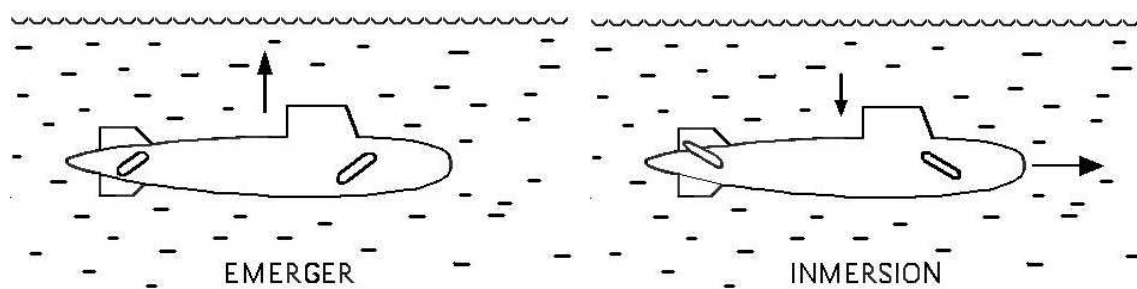


Fig. 9.2

extreuen dades de la natura, més concretament del fons marí.

Són vehicles que actuen autònomament sense l'ajuda de la mà humana. Servint-se només d'un programa informàtic aconseguen que tot es trobi mecanitzat i preparat pel recolliment de dades. L'estructura d'aquests són molt semblants als altres però tenen un funcionament molt més complex per a que el seu rendiment sigui major a l'hora de navegar per l'aigua.

El funcionament d'aquests submarins a escala consisteix en una propulsió a partir de les hèlix que són accionades per uns motors elèctric que són alimentats per bateries.

El desplaçament del submarí es realitza mitjançant una hèlix i la immersió i l'emersió del submarí pot ser dinàmica o estàtica. Pel que fa al desplaçament vertical dinàmic (Fig.9.2), consisteix en dos timons que a partir de la posició d'aquests, l'aigua fa força cap a la superfície o cap a sota de l'aigua tot depenent de l'acció desitjada. Per tant, per poder fer aquest moviment es necessita que l'objecte estigui en moviment i amb una certa velocitat per poder realitzar la immersió i emersió.

La immersió i emersió estàtica (Fig.9.3) trobem que els submarins realitzen el mateix moviment que els reals, omplint tancs d'aigua perquè el pes de l'objecte sigui superior al que es necessita per mantenir la flotabilitat. Per tant, aconseguen la immersió a partir de l'increment de pes o una reducció de l'objecte, el submarí. També trobem que

molts utilitzen una força artificial com és la d'un motor elèctric que fa pujar o baixar el submarí. Generant el moviment de les aigües per poder fer el moviment desitjat.

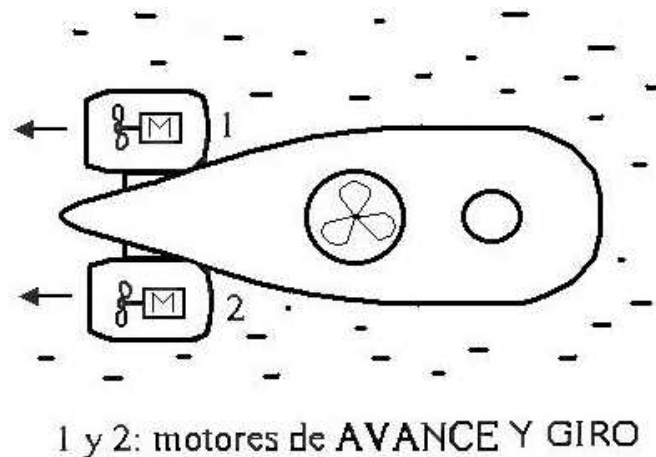


Fig. 9.4

Si el submarí moure cap als trobem, com moviment mètode

s'hagués de costats, també en el vertical, un dinàmic i un

mètode estàtic. Per tant, el moviment a esquerra o dreta dinàmic fa ús d'un timó, fent una simulació dels submarins a escala real. El moviment rotatori estàtic horitzontal (Fig.9.4)s'aconsegueix a partir de dues forces artificials que treballen com a remes i que a l'hora de funcionar un motor, situat en ambdós costats del aparell, el submarí realitzaria el gir contrari cap al cantó d'aquest.

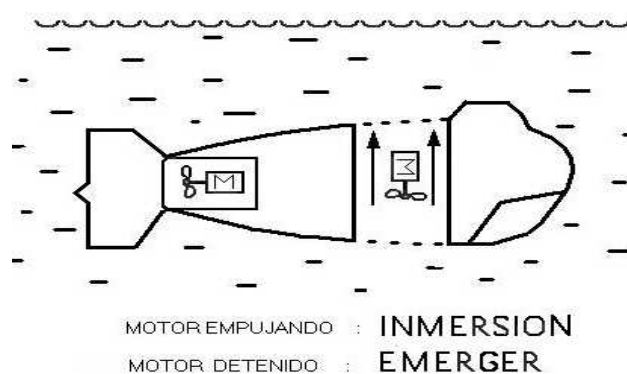


Fig. 9.3

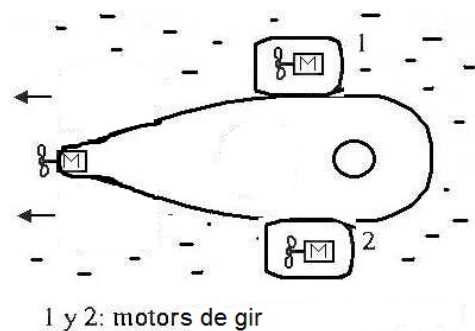


Fig. 10.1

10 El nostre submarí

En el desenvolupament del disseny del nostre submarí hi ha hagut una evolució que ha estat conseqüència dels peròs i contres amb els que ens hem trobat alhora de realitzar la construcció d'aquest.

Primerament, vam idear un submarí (Fig.10.1) amb forma de torpede comandat mitjançant una xarxa sense fils per poder anar per sota de l'aigua. Aquesta connexió es realitzava gràcies a una placa programable Arduino, que es trobava a l'interior del vehicle i enviava senyals a un ordinador amb la tecnologia Bluetooth.

El disseny d'aquest consistia en un tub de material sòlid i resistent amb unes mesures aproximades de 20 cm de diàmetre i 60 cm de llargària. Aquest tub era complementat amb una semiesfera de 10 cm de radi a la punta del submarí, i un con de 10 cm de radi a la base i una altura de 20 cm, en la part posterior d'aquest.

Al final del con trobàvem l'hèlix principal, que tenia l'ús del moviment d'avançar i el moviment de retrocés. A ambdós cantons del submarí teníem planejat dos braços que contenien una hèlix cadascun i feien la funció de timó accionant-ne un o l'altre depenent de la direcció que es volgués prendre.

Totes les hèlix nombrades anteriorment estaven accionades per uns motors. Aquests eren alimentats per un seguit de bateries que es trobaven a l'interior del vehicle.

Vam intentar projectar la simulació real d'un submarí d'escala real a l'hora de submergir-se i emergir (Fig.10.2). Volíem que el nostre submarí realitzés el moviment vertical de manera estàtica augmentant o disminuint el volum del cilindre del nostre submarí, fent guanyar o perdre flotabilitat. Per tant, a partir d'un mecanisme de pistó com el que trobem a la fotografia, faríem entrar aigua o la deixariem anar, depenent del moviment desitjat.

Durant una visita a la Universitat de Girona (Fig.10.3), vam exposar la idea del nostre submarí, però aquests van veure un problema greu en el qual no havíem pensat. Ens vam trobar que cap xarxa sense fils assequible per a nosaltres podia enviar i rebre informació. Per tant, ens vam veure obligats a col·locar un cable que transmetés la informació. No només ens va interrompre en el nostre projecte la incorporació d'una xarxa sense fils per transmetre la informació; tampoc va resultar possible el mètode per fer el moviment vertical del nostre submarí. Posar-ho en pràctica era inassequible aconseguir-ho, perquè necessitava un sistema amb més pressupost econòmic que ens havíem plantejat, imprescindible per aconseguir els mateixos resultats. A més a més, el nostre cilindre es convertia en un tub buit ple d'aire que, per enfonsar-lo, ens caldria molt de pes, i per fer-ho amb agilitat necessitàvem deixar de banda el tub i fixar-nos en un altre disseny.

Finalment, hem resolt els entrebancs i hem reflectit un submarí amb una estructura "openframe", una

estructura que conté només l'esquelet del que seria un submarí,

aconseguint una

flotabilitat negativa, que, més endavant, a partir d'escuma sòlida amb flotabilitat

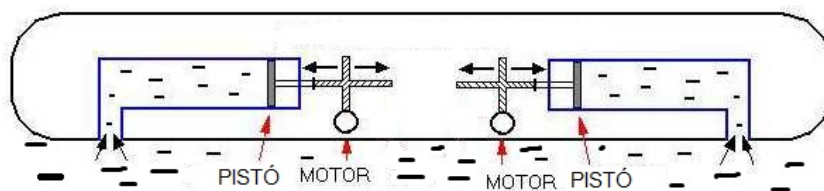


Fig. 10.2

positiva, acabarem aconseguint una flotabilitat neutre fent que el nostre submarí es pugui quedar entre dos aigües i, per tant, ni que pugi ni que baixi.

El mètode de funcionament serà molt similar al primer prototip. Funcionarà amb motors elèctrics de 12v i 5w de la marca CEBEK amb referència C-6043, que seran activats per una placa programable Arduino UNO (Fig.10.3),

que haurà estat programada abans del muntatge i que portarà un Shield per poder acoblar els motors. Aquesta placa programable tindrà les entrades que aniran connectades a un comandament a distància des d'on l'usuari podrà escollir el moviment del submarí. També trobarem les sortides que seran cadascun dels motors. Més endavant, detallarem informació sobre la peça en particular de l'Arduino UNO.



Fig. 10.5

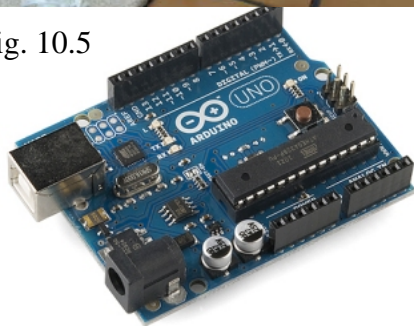


Fig. 10.3

En un principi, la nostra idea va ser utilitzar uns colzes que tinguessin forma de T però amb un angle de 90° entre cada sortida, però, en el mercat, no vam trobar cap empresa que ens ho pogués facilitar i, per tant, vam haver de reduir l'espai entre les barres que uneixen ambdós cantons i ficar una unió en forma de T normal.

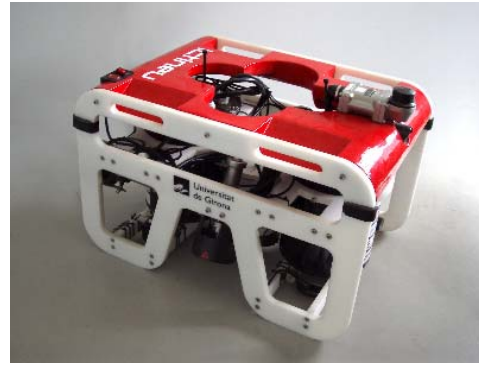


Fig. 10.4

El disseny del nostre submarí està inspirat en la forma del submarí de la universitat de Girona, l'Ictineu (Fig.10.4). Té una forma, totalment simètrica, de prisma rectangular amb els costats iguals de dos per dos. En els costats trobem una imatge d'una U invertida i a la part superior i inferior, dos barres que uneixen els dos cantons. També trobem una barra que uneix les dues U invertides pel punt més alt. Aquestes barres són de PVC, amb un diàmetre de 25 mm. Els acoblaments de les diferents barres les aconseguim amb colzes i juntures en forma de T.

Seguint la simetria el nostre submarí (Fig.10.5), disposarà de 6 motors elèctrics que aniran distribuïts de la següent manera (Fig.10.6):

- Dos motors orientats en horitzontal a la part posterior del submarí, un a cada banda.
- Dos motors orientats en horitzontal a la part davantera del submarí, un a cada banda.
- Dos motors orientats en vertical i col·locats en la barra que uneix les dues U invertides.

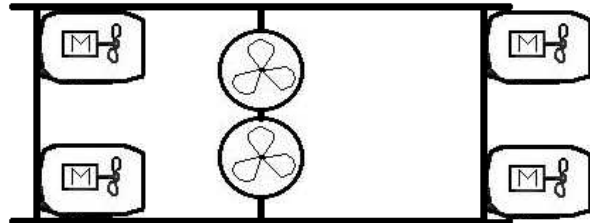


Fig. 10.7

Amb aquesta distribució aconseguim que les forces que facin els motors a l'hora de moure el submarí siguin simètriques i, per tant, aconseguir l'equilibri en el moviment.

Els dos motors orientat en vertical faran el moviment vertical per submergir o emergir el vehicle empenyent un fluïd

d'aigua en el sentit contrari del moviment desitjat. Aquests dos motors funcionaran a l'hora. Tenint dos motors que fan el moviment vertical, es realitza un moviment d'immersió estàtic, és a dir, el submarí podrà submergir-se o emergir sense que aquest estigui en moviment.

Els quatre motors restants que estan orientats en horitzontal (Fig.10.7) els dividirem en esquerra i dreta amb dos motors a cada banda. Aquests quatre motors realitzaran el moviment d'avanç, retrocés i el moviment de gir del submarí. Els motors de cada banda funcionaran de la mateixa manera i al tenir un motor a la part davantera i altre a la part posterior, realitzem més força i ens permet fer un gir més ràpid. El submarí podrà avançar o retrocedir activant els quatre motors a

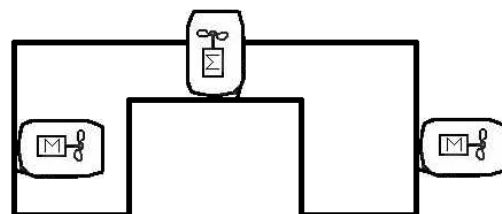


Fig. 10.6

la vegada. Per fer un gir cap a un cantó, s'hauran de posar en marxa els dos motors que se situen en el cantó contrari al del moviment desitjat.

Un cop tenim els motors amb les hèlixs adaptats al submarí, i quatre sortides de cables que aniran al comandament que es trobarà a la superfície, ja haurèrem aconseguit moure el submarí en qualsevol sentit i direcció.

Finalment, complementarem la figura del nostre robot submarí, amb dos tipus de sensors, que permetran a l'aparell estudiar les condicions o adaptar-se a l'ambient submarí.

- Un sensor a destacar serà l'electroimant, que quan nosaltres des de la càmera observem una peça/ material en el fons subaquàtic, s'activarà per a atrapar-lo.
- De contacte: L'aconseguirem a partir d'uns polsadors col·locats a la part frontal del robot submarí. Quan aquests siguin polsats, significarà que hi haurà hagut un xoc frontal i hem programat una redirecció per aquest cas, que detallem quan expliquem la programació del nostre robot.

També corregirem la direcció del robot submarí, quan només s'activi un dels polsadors. Això significarà que haurà xocat d'un costat, i haurà de tornar endarrere i girar 90° cap el costat oposat.

Gràcies a aquest sensor, en aquests casos, no caldrà pilotar l'aparell. A partir d'aquí actuaran les comandes robòtiques fins que s'aturi, i el podrem tornar a teledirigir altre cop.



Fig. 11.1

11 Peces i materials emprats

Durant la realització d'aquest submarí, hem intentat aconseguir un disseny assequible econòmicament. També, i gràcies a la Universitat de Girona (UdG), ens vam decantar per crear un disseny *openframe* (Fig. 11.1), una estructura on l'aigua pot fluir per tot arreu de manera autònoma, aconsegueix una flotabilitat negativa que es contraresta amb elements de llast per aconseguir una flotabilitat neutre. Vam utilitzar aquest tipus d'estructura atès que era el més pràctic i perseguia el que volíem aconseguir que fes el nostre submarí amb més bons resultats i a l'alçada del nostre pressupost. Com comentem a l'explicació del nostre submarí, el disseny de torpede que volíem fer primerament, era més sofisticat i a la pràctica no era tant rendible. Per aconseguir aquesta rendibilitat, les peces amb les que treballaríem havien d'ésser més potents i més cares. Com hem explicat anteriorment, després de valorar si era necessari mantenir un cilindre buit, ja que havíem fet alguns retocs, com ara col·locar l'Arduino UNO a fora del submarí, vam decidir optar per aquest disseny, que no només era més econòmic, sinó que també perseguia més, els resultats esperats.

Per aconseguir el cos del robot submarí, ens hem servit de tubs de PVC.

Vam adquirir dos tubs de tres metres cadascun i d'un diàmetre de 25 mm i, acte seguit, ja coneixent les distàncies que havíem optimitzat en el disseny, vam procedir a tallar-lo amb una serra.



Fig. 11.2

Per tant, necessitàvem aquestes mesures de les peces:

- Dos tubs de 45 cm de llargada.
- Nou tubs de 25 cm de llargada.
- Deu tubs de 15 cm de llargada.

I els següents colzes:

- 16 colzes de dos entrades i dos direccions.
- 10 colzes de tres entrades i dos direccions.

Com que els colzes (Fig.11.2) es podien obrir i tancar alhora d'ajuntar les peces dels tubs, s'obria la peça i per això vam procedir a utilitzar la cinta aïllant que, malgrat la peça quedava una mica oberta, mantenia l'estructura de dos tubs ajuntats.

El fet que quedés la peça oberta permet l'entrada i sortida de l'aigua, imprescindible alhora d'aconseguir la flotabilitat neutre; hi ha d'haver la circulació d'aquesta en tot el cos. D'aquí ve el nom *openframe*, que en anglès significa marc obert o estructura oberta.



Fig. 11.3

Un cop acabat el cos, la nostra atenció es centrava en la flotabilitat i equivaldre el pes que donarà flotabilitat negativa; per realitzar aquesta tasca, vam recobrir els laterals i la part superior del robot amb escuma. I, per tant, els càlculs anirien a l'apartat de construcció. Ens vam decidir per emprar l'escuma, ja que és un material amb flotabilitat positiva i és accessible econòmicament i, per tant, podríem treballar amb ell amb facilitat, perquè les mides variaran en funció del disseny.

Per començar a desplaçar aquest cos, ens hem ajudat de motors. Necessitàrem exactament 6 motors elèctrics que treballen amb 12v de voltatge i 5w de potència de la marca CEBEK amb referència C-6043 (Fig.11.3). Parlant amb el professor de la

Universitat i amb el responsable d'Onda Radio, botiga especialitzada en material electrònic, ens van recomanar la marca de motors CEBEK, que està especialitzada, entre d'altres, en motors per a aplicar a petits projectes. Per tant, vam trobar una fitxa tècnica dels motors que comercien i vam escollir a partir de les diferents característiques que tenien els diferents motors exposades en la següent taula; el més adient era el motor amb referència C-6043:

Ref.	Tensión nominal V	Rango de trabajo V	Velocidad ---- sin carga ---- rpm	Corriente I	Velocidad a máxima eficiencia rpm	Corriente I	Par de giro g.cm	Potencia de salida W	Par limite g.cm	Ø eje mm	Sentido de giro (*)	Dimensiones externas mm	Peso g
■ C-6040	3V	1,5 - 4,5V	16300	0,38A	12380	1,2A	10,5	1,34W	44	2mm	antihorario	25 x 20,1 x 15,1	17
■ C-6042	3V	1,5 - 6V	9700	0,15A	7930	0,76A	15	1,22W	122	2mm	horario	30,5 x Ø24	42
■ C-6043	12V	12 - 24V	13500	0,2A	10710	0,77A	41,3	4,54W	200	2,3mm	antihorario	32,5 x Ø27,5	52
■ C-6044	7,2V	6 - 12V	20400	1,23A	16800	5,75A	130	22,34W	735	3,2mm	antihorario	50 x Ø35,8	147

Ens vam decantar pel C-6043 perquè un motor amb un parell motor de gir de 41.3 g·cm, un pes de 52g, un voltatge de 12v i 5w de potència, amb unes dimensions que per a fer l'estancament amb un rodet de fotografia de rebel·lar, que és com pensàvem encobrir-lo, s'adaptava a les nostres necessitats.

Havent dissenyat tot el sistema de cablejat a l'apartat de construcció, hem calculat que seran necessaris o cordons umbilicals de 18 metres de cable ethernet, cadascú del qual conté 8 cables en el seu interior.(Fig.11.4)

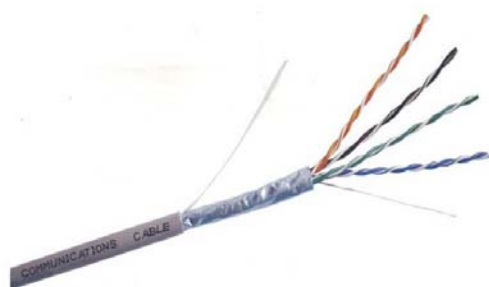


Fig. 11.4

El moviment i la intel·ligència del projecte l'atorga el cervell, que és l'Arduino UNO, que es troba a l'exterior del submarí, a la superfície. Aquest té uns pins que seran les entrades i sortides per on anirà la potència i voltatge necessari, a través del cablejat, i també s'enviaran comandes programades.

Arduino UNO és una peça exclusiva preparada per fer seu el medi que l'envolta, primer coneixent-lo amb els diferents sensors i després actuant donant respostes mitjançant els actuadors.

Tot el cablejat que connecta els motors i les aplicacions del submarí, queden connectades amb l'arduino, també es connecten, paral·lelament a un comandament (Fig.11.5) a distància fet de fusta. La base serà de fusta, tindrà tres interruptors (per pujar, baixar i per a connectar l'electroimant) i un joystick per a dirigir-lo. El comandament s'encarregarà de controlar les direccions, i l'Arduino, a través de l'ordinador de controlar les altres aplicacions i d'enviar comandes programades quan els sensors s'activin.

La base de
dels interruptors
del joystick,
x 10.3 (mm).



contacte, tant com
industrials, com
mesura 27.8 x 15.9

Fig. 11.5



12 Arduino

Fig. 12.1

Arduino és una plataforma amb un codi gratuït i pensat per crear prototips d'electrònica. Aquesta plataforma pretén utilitzar el hardware i software pel control de models electrònics. Permet fer aquestes accions a partir de plaques que anteriorment hauran estat programades per l'usuari. Arduino pot mesurar el seu ambient mitjançant la senyal que rep a partir de sensors que s'hi poden connectar entre d'altres, i el pot canviar a partir d'actuadors que poden ser motors, llums i altres.

Per tant, el principal objectiu d'Arduino és controlar i fer seu l'entorn rebent les dades, interpretant-les en l'entorn de programació i, finalment, que aquest entorn faci actuar els diferents actuadors.

Les diferents plaques d'Arduino poden ser construïdes pel propi usuari o també són proporcionades per la mateixa plataforma d'Arduino. La plataforma disposa en aquests moments d'onze diferents plaques amb unes característiques diferents per a usos diferents. Les plaques Arduino que trobem en el mercat són les següents:

- Nano (Fig. 12.2)
- Arduino Uno
- Arduino Ethernet
- Mega
- Mega2560 (Fig. 12.2)
- LilyPad
- Mega ADK
- Arduino BT
- Fio
- Pro
- Mini
- Pro Mini



Fig. 12.2

Totes les plaques es programen mitjançant el llenguatge de programació d'Arduino, un llenguatge senzill i molt similar al llenguatge C. L'entorn de programació d'Arduino és un software gratuït que es pot descarregar en la mateixa pàgina web de la plataforma. En el moment de l'execució del programa desitjat, aquestes plaques poden ser totalment independents, carregant el programa desitjat en la placa amb una font d'alimentació connectada, o connectades amb el cable d'USB i essent executades amb el software utilitzant l'ordinador.

En un principi vam voler utilitzar la placa programable que utilitzava la tecnologia sense fils del Bluetooth, la placa Arduino BT, però al final vam utilitzar la placa Arduino Uno, ja que un dels impediments per a la construcció d'aquest projecte ha estat el fet de canviar el medi de comunicació, Bluetooth és completament estèril en ambient aquàtic.

Arduino Uno (Fig.12.3) és l'últim model de les plaques que poden ser connectades a un ordinador mitjançant el cable USB i també és el model de referència per totes les altres plaques. El nom de "Uno" prové de la versió 1.0, sent la primera d'un seguit de noves plaques en un futur. L'Arduino Uno és una placa electrònica que conté catorze pins digitals que poden ser utilitzats com a entrades o sortides, sis entrades analògiques, una connexió USB, un connector d'alimentació, un cabdal ICSP i un botó de reinicialització.



Fig. 12.3

La placa pot ser alimentada amb el cable USB o el cable de tensió que trobem a la placa. Aquest cable té uns límits de voltatge de 6-20v però es recomana treballar de 7 a

12v en aquesta entrada. Superar els 12v pot causar un sobreescalfament de la placa i una entrada inferior als 6v pot causar que en els pins analògics es proporcionin menys dels 5 volts que necessiten aquests pins. També trobem cinc pins que, a diferència dels pins d'entrada, ens proporcionen un voltatge constant que depèn del pin escollit. Aquests pins els podem trobar distribuïts d'aquesta manera:

- Vin: Ens dona la mateixa tensió que s'utilitza a la font d'alimentació que alimenta la placa. Per tant, seria el mateix que estar connectats directament a la font d'alimentació. Podem trobar aquest pin en la zona de potència(POWER), sent el primer pin començant per la dreta.

- GND: A continuació del pin de Vin trobem dos pins que corresponen als pins de terra, o voltatge 0v.
- 5v: Proporciona 5 volts que provenen d'un regulador de potència si la placa està alimentada per la font o mitjançant la tensió que subministra el cable d'USB.
- 3.3v: Per últim, trobem que aquest és l'últim pin de potència que es troba a l'esquerra, al cantó del pin de reinicialització. Aquests 3,3 volts són proporcionats per un regulador que es troba en la mateixa placa.

La memòria que té aquesta placa és de 32KB dels quals 0,5 s'utilitzen per el gestor d'engegada.

Cadascun dels 14 pins que trobem a la placa i que van enumerats des del 0 fins el 13 poden ser configurats com a una entrada i com a una sortida, havent anomenat en la programació l'acció desitjada en cada pin. Tots aquests pins operen a 5v i, al ser

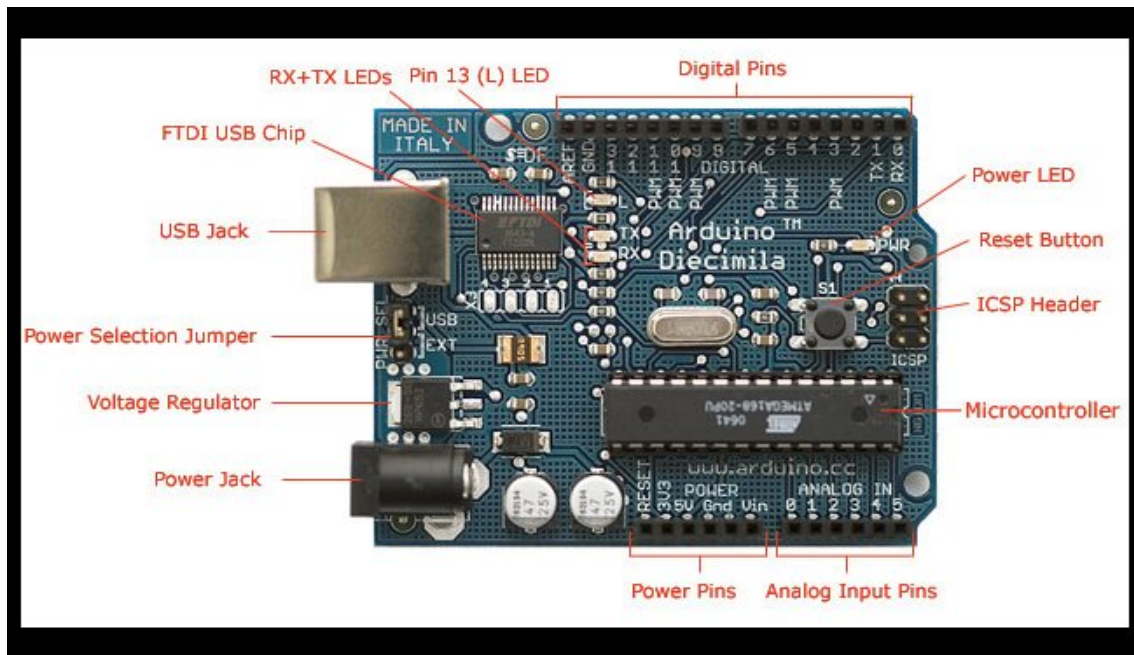


Fig. 12.4

digitals, només els trobarem amb aquest voltatge o amb un voltatge nul. Cada pin pot subministrar o rebre una corrent màxima de 40mA. Alguns d'aquests pins tenen funcions especials que, en alguns casos, utilitzarem; però en la majoria no. Aquests pins especials són:

- Interrupcions externes: 2 i 3: En aquets pins es pot configurar per a que actuïn com a disparadors d'interrupcions en el cas que hi hagi una pujada de tensió o simplement un canvi d'estat.

- PWM 3, 5, 6, 7, 10 i 11: Generen una senyal PWM de sortida de 8 bits amb la funció `analogWrite()`.
- Led 13: Trobem un LED connectat en el pin digital 13 que ens comunica, quan està encès, que el pin és de valor alt.

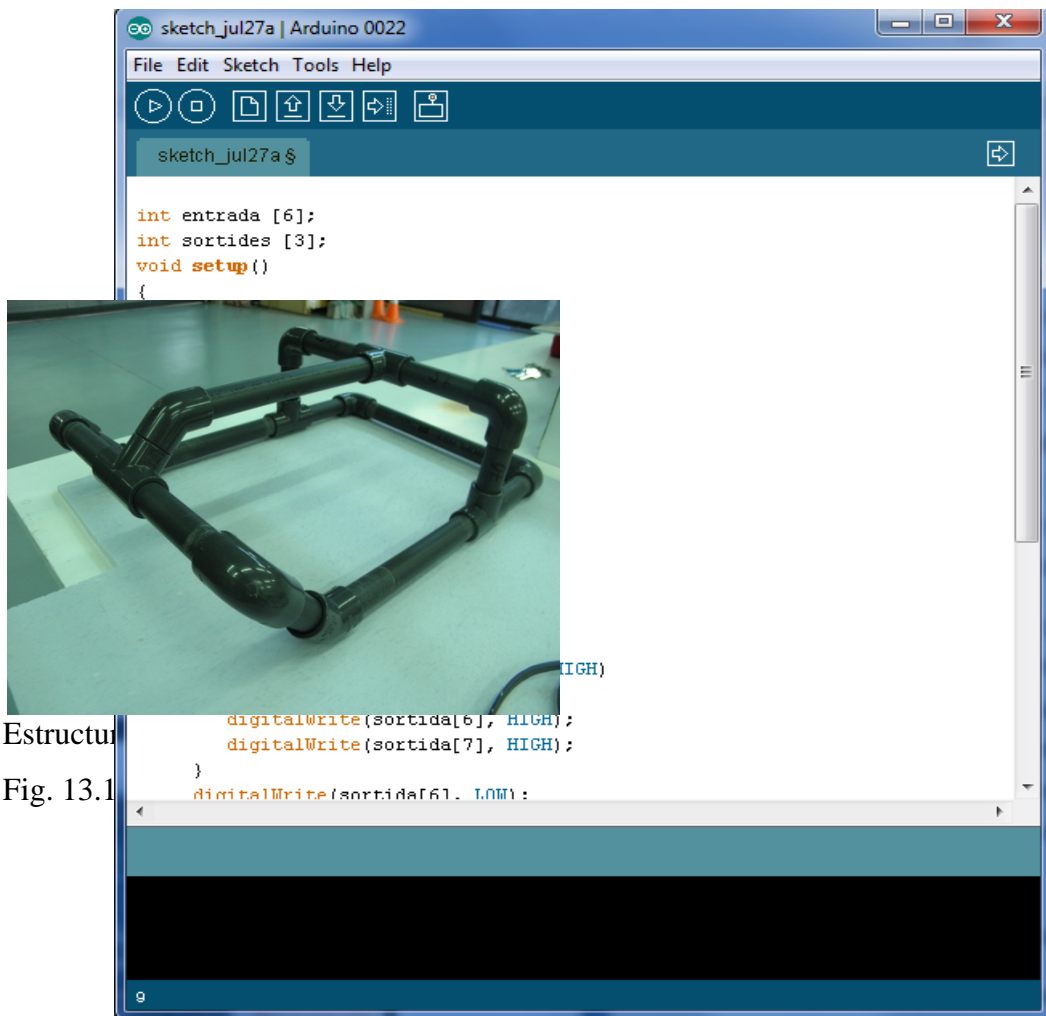
La placa com hem comentat anteriorment, té 6 entrades analògiques que s'anomenen des d'A0 a A5. Tots aquests pins ofereixen 10 bits de resolució, l'equivalent a 1024 valors diferents. Per defecte, treballen amb un valor de 5 volts però pot ser modificat amb el pin AREF, que és utilitzat amb la funció `analogReference()` i és el que marca la tensió de referència per les entrades analògiques.

Apart dels pins d'entrades/sortides digitals, les entrades analògiques i els pins de tensió, trobem altres pins en la placa que tenen característiques especials:

- AREF: Explicat anteriorment.
- Reset: Amb una tensió baixa, es reinicia el micro-controlador. Normalment ve acompanyat d'un botó per reinicialitzar tota la placa.

Tots els pins esmentats es poden veure a la figura 12.4.

La placa d'Arduino pot ser programada amb el software d'Arduino (Fig.12.5), que es pot trobar totalment gratuït en la pagina web. A la web d'Arduino (www.arduino.cc) el software més modern que es pot trobar és l'Arduino 0022. El software és un programa senzill, bàsic i fàcil d'utilitzar on podrem trobar, en la mateixa descàrrega, exemples de programes. El programa disposa de diferents llibreries que no totes estan per defecte i que s'han de descarregar gratuïtament des d'Internet. Per poder incorporar el programa desitjat en la placa Uno, s'ha de configurar el compilador per a la placa Arduino Uno i connectar el cable USB.



Estructur
Fig. 13.1

Fig. 12.5

13 La construcció

13.1 Disseny i construcció del xassís

Primer de tot ens hem decantat cap a la construcció de l'esquelet del robot submarí, el xassís. El xassís del submarí és la part indispensable del nostre submarí, aquesta

estructura tindrà la funció de suportar tots els elements que el formen i serà la base del nostre submarí.

Després de debatre i observar diferents models de robots submarins, com el que trobem en la foto (Fig.13.1.1), vam arribar a la conclusió que el nostre submarí haurà de tenir una estructura de cub rectangular. Vam haver de tenir en compte la grandària i la forma per a que el submarí estigués equilibrat i fos manejable per l'aigua. Per aconseguir aquestes característiques, haurem d'aconseguir que no oposi molta resistència d'avanç amb l'aigua i que sigui una estructura molt simètrica, per no tenir problemes a l'hora d'equilibrar-lo i ficar els motors. Hem d'aconseguir que el pes en l'estructura estigui repartit per a que els motors funcionin fent una força igual a ambdós cantons, per pujar i baixar i per avançar o retrocedir. Hem de tenir cura a l'hora d'escollir el material i la forma d'aquest per fer-ho. La forma que han de tenir els materials hauran de ser formes molt corbades per oposar menys resistència. És per això que vam decidir fer l'estructura amb tubs de PVC i amb colzes que afavorien el moviment. La forma cilíndrica del tub vam veure que tenia molt poca resistència i el PVC era un material fàcil d'adquirir al mercat i no gaire pesant. Haurem de tenir en compte que un submarí extremadament gran serà més difícil de maniobrar. En aquest apartat també vam haver de valorar que el nostre submarí seria propulsat per 6 motors i tindria dos elements de contacte per saber si ha xocat amb la paret. Les dimensions també van venir donades pels elements de llast que hauria de portar el submarí per poder tenir la flotabilitat necessària. És per això que en l'estructura hem hagut de deixar un espai per a aquets elements. La situació dels elements de llast era un punt a tenir en compte al haver d'estar en llocs específics per a que l'aparell estigués el suficientment equilibrat. La situació dels elements de llast i de més característiques sobre aquets les explicarem en l'apartat de la construcció de la flotabilitat.

A partir de les característiques esmentades anteriorment, vam creure convenient que el nostre submarí tingués la següent estructura amb les següents mides:

Les eines que farem servir per la construcció del xassís seran:

- Serra
- Cargols
- Regle
- Rotulador permanent
- Paper de vidre
- Cinta aïllant

- Descargolador

Per a aconseguir el model desitjat necessitarem les següents peces:

- 4 tubs de PVC de 25 cm de llargada i 25 mm de diàmetre, els que corresponen als tubs verticals.
- 5 tubs de PVC de 25 cm de llargada i 25 mm de diàmetre, els que corresponen als tubs d'aquesta mida en horitzontal.
- 10 tubs de 15 cm de llargada i 25 mm de diàmetre que corresponen a la part lateral del submarí.
- 2 tubs de 45 cm de llargada i 25 mm de diàmetre que corresponen a la part superior.
- 10 colzes en forma de T i 25 mm de diàmetre.
- 16 colzes a 90° i 25 mm de diàmetre.

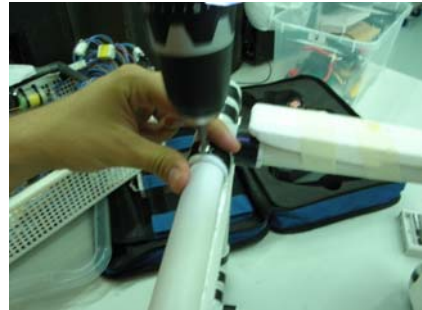


Fig. 13.1.2 Procés d'unificació de l'estructura.

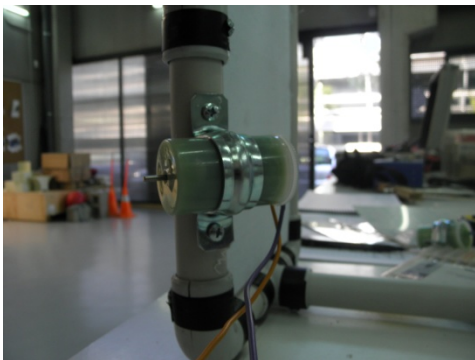


Fig. 13.1.3

El xassís del submarí és la part essencial del nostre submarí, aquesta estructura tindrà la funció de suportar tots els elements que el formen. Les característiques que haurà de tenir l'estructura, serà rígida, acoblada amb colzes i amb zones per suportar els elements de llast. Per a la construcció del xassís s'haurà de, primerament, marcar els diferents trossos de tubs. Per tant, marcarem els tubs amb les mides

desitjades per després tallar-les amb la serra. Les peces que necessitarem pel nostre submarí seran les esmentades anteriorment.

Un cop marcats tots els tubs amb les seves respectives mesures vam començar a tallar-los amb una serra de mà. Quan totes les peces van estar serrades, les vam polir amb paper de vidre. Per acabar, les peces hauran de ser verificades amb la cinta mètrica per poder continuar amb la construcció.

Per ajuntar les peces, les anirem posant a mida que les anem tallant. Les peces les anirem unint

amb els colzes i les unificacions en forma de T. Quan totes les peces estan del tot muntades, procedirem a collar (Fig.13.1.2) els colzes amb el tubs per a que l'estructura estigui totalment rígida. Els collarem amb cargols i el descargolador.

Per subjectar els motors (Fig.13.1.3) també farem servir la mateixa tècnica, utilitzar cargols i el descargolador, i els collarem amb unes anelles de 30 mm de diàmetre. Aquestes estaran collades amb els mateixos cargols. El diàmetre del motor estancat és de 32 mm, però per a que estigui més subjecte vam creure convenient utilitzar una anella de 30 mm. Altres opcions que teníem era subjectar-los amb dos barres de ferro als tubs de l'estructura amb brides però per poder escollir i per poder experimentar i canviar la posició dels motors vam creure més convenient utilitzar aquesta tècnica que era més manejable.

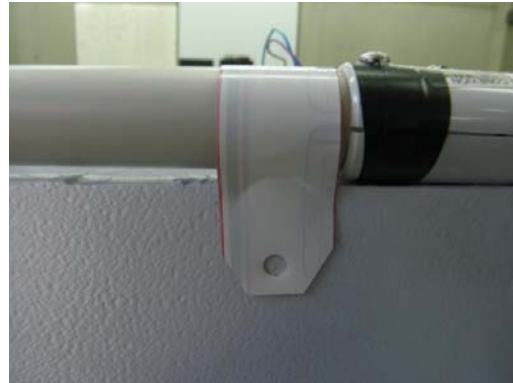


Fig. 13.2.1

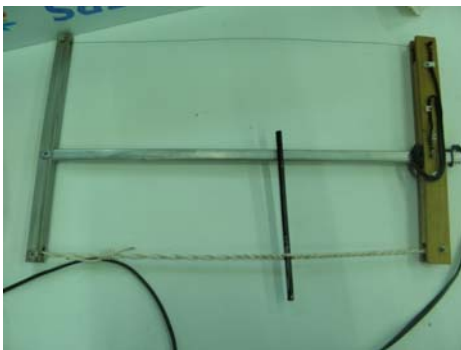


Fig 13.2.2. Eina per a tallar el porexpan.

13.2 La flotabilitat.

Per a que el nostre submarí pogués anar per sota de l'aigua, vam decidir que hauria de submergir-se a partir d'unes forces artificials (els motors) i que si cap força externa actuava, el submarí es mantindria amb una flotabilitat neutre sense enfonsar-se o emergir a la superfície.

Per tant, abans de fer cap sistema de llast, vam decidir en quin lloc i quina quantitat de llast hauríem de ficar.

Vam decidir ficar planxes de porexpan (Fig 13.2.1), per ser un material que té flotabilitat positiva, que abunda en el mercat i és econòmicament assequible. Per a subjectar el porexpan amb els tubs de l'estructura del submarí, vam utilitzar unes pinces fetes de plàstic i subjectades amb brides. Les pinces fetes de plàstic només tenen un ús estètic.

La localització d'aquestes planxes en el nostre submarí va haver de ser pensada. Eren grans forces de fregament que oposaven el moviment del submarí. Vam pensar que les hauríem de situar en els laterals del submarí perquè l'únic moviment que no serà totalment pur serà el moviment lateral.

L'única oposició al moviment si les col·locàvem en els laterals era a l'hora de girar. Com que mai no produiríem aquest moviment en estàtic i sempre estava o anat cap endavant o cap endarrere, al girar no oposava tanta resistència com ficar-lo en la part superior o part inferior a l'hora de pujar o baixar. Per aconseguir un major equilibri, s'ha d'intentar que els elements de llast estiguin en la part superior i les parts que pesen més a la zona inferior del submarí; si la distància entre el pes i el llast és major, l'equilibri cada cop serà més anivellat i si pateix un canvi bruscat o una força externa que fa que el fiqui cap en una posició incorrecta, que ell mateix torni a la seva posició inicial.

Les planxes que vam trobar en el mercat eren molt gruixudes, de 30 mm. Per tant, vam haver d'utilitzar una eina, que ens van deixar a la universitat, que era semblant a una serra, que utilitzava la corrent elèctrica per escalfar un fil de ferro que, amb el contacte amb el plàstic del porexpan, aquest es desfeia i podia ser tallat o donar la forma desitjada. Vam tallar dos peces idèntiques amb la forma de la part lateral del submarí que apareix reflectit a continuació juntament amb les altres perspectives del nostre submarí.

Planta expressada en decímetres:

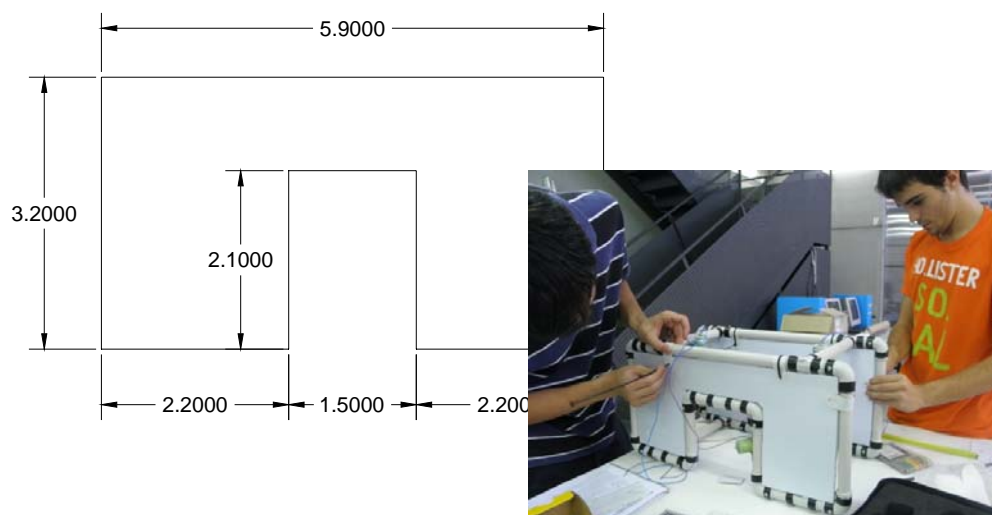
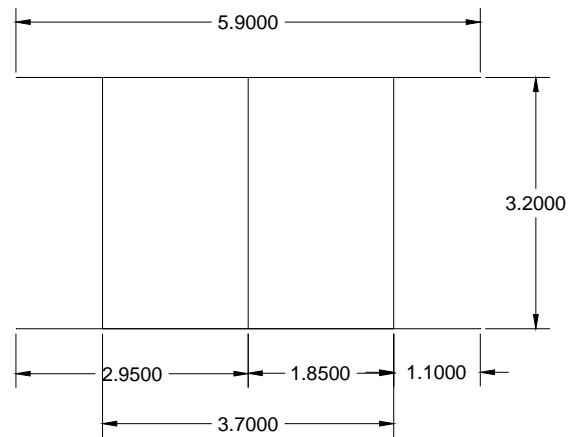
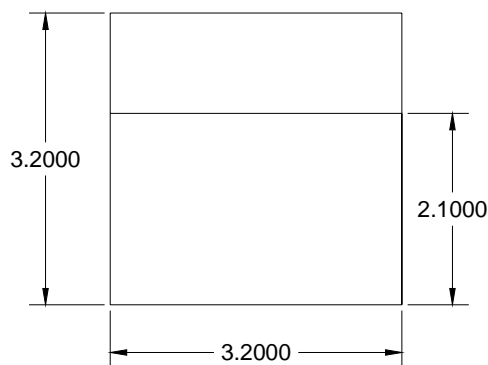


Fig. 13.2.3

Alçat expressat en decímetres:



Perfil expressada en decímetres:



Al haver-les tallat, ens vam adonar que tenien un volum molt gran i, per tant, desplaçaven molt volum a l'aigua i el submarí flotaria i no aconseguiríem la flotabilitat neutre desitjada. Aleshores vam fer els següents càlculs:

Tenint en compte els següents valors i, a diferencia dels plànols anteriors, les mesures són menors pel gruix del tub:

$L_1=530 \text{ mm}$

$$H_1=75 \text{ mm}$$

$L_2= 160 \text{ mm}$ on a i b = volum de llast ; T el volum parcial; T_{tot} el volum total

$$H_2=190 \text{ mm}$$

$$D= 15 \text{ mm}$$

Calcularem els volums parcials:

$$a = H_2 * L_2 * D = 190\text{mm} * 160\text{mm} * 15\text{mm} = 456\text{cm}^3$$

$$b = H_1 * L_1 * D = 75\text{mm} * 530\text{mm} * 15\text{mm} = 596,25\text{cm}^3$$

I, posteriorment, el volum T i el volum total T_{tot} :

$$T = b + 2 * a = 596,25\text{cm}^3 + 2 * 456\text{cm}^3 = 1508,25\text{cm}^3$$

$$T_{\text{tot}} = 2 * T = 2 * 1508,25\text{cm}^3 = 3016,5\text{cm}^3$$

Ens vam adonar que el nostre submarí, únicament amb les planxes i sense contar el volum desplaçat pels tubs i els motors, hauria de pesar 3 kg. L'estructura del nostre submarí pesa 2336 g, i per tant no arribava als 3 kg mínim que havia de pesar. Per a que la diferència no fos tan gran i per estabilitzar més el submarí, posant pesos a la part inferior i els elements de llast a la part superior, vam afegir dues barres de ferro que pesaven 540 g, fent que l'estructura peses 2876 g en total que s'apropava més als 3 kg mínims. Per arribar a una solució al nostre problema, vam utilitzar uns estri que ens va deixar la Universitat de Girona. Vam decidir que el problema l'havíem de solucionar a partir d'una experiència pràctica amb aquest estri i comparant-lo amb el nostre submarí.

Es tractava d'un totxo que li podíem afegir elements de llast per així experimentar amb les proporcions que necessitàvem per al nostre submarí. En aquesta pràctica vam experimentar també el lloc on posar els elements de llast. Ens vam adonar que el punt de flotabilitat d'un cos per a que estigui estable hauria de ser el mateix que el punt de gravetat. Després de fer les proves amb el totxo, vam col·locar el nostre

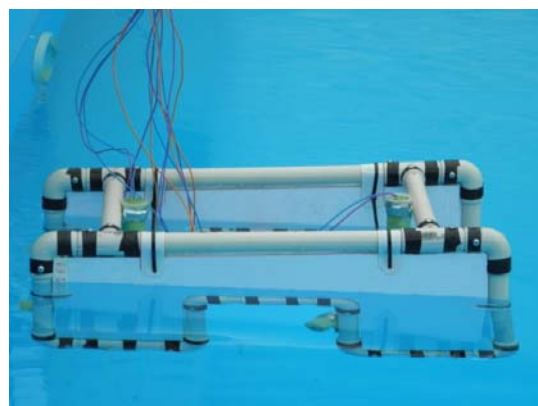


Fig.13.2.4

submarí a l'aigua i ens vam adonar que gràcies a la simetria que té, el punt de flotabilitat coincidia més o menys amb el punt de gravetat. Però, com esperàvem, el submarí tenia flotabilitat positiva i la part davantera tenia més llast que la part posterior. Va ser aleshores que vam decidir fer uns retocs als elements de llast per a que acabés d'estar del tot equilibrat i amb una flotabilitat neutre.

Un cop amb les planxes tallades i col·locades al submarí amb les brides i els pesos afegits, vam ficar l'aparell a l'aigua i encara tenia flotabilitat positiva, però tenia un desequilibri. Aquest fet es donava al tenir els motors en la part posterior i cap pes que el contrarestés a la part davantera. Per arreglar el problema vam tallar 8 cm de llast per la part posterior i 10 cm de la part davantera amb un cúter.

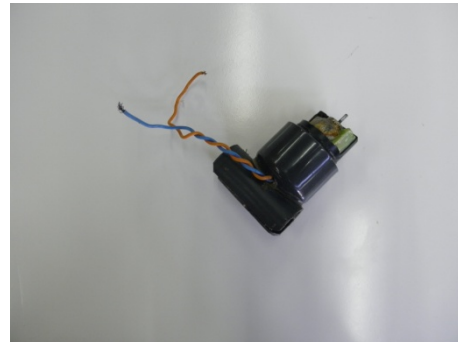


Fig. 13.3.1

En l'última prova de flotabilitat vam comprovar que el submarí estigués ben equilibrat amb una flotabilitat neutre i també vam comprovar la seva estabilitat envers una força externa que el fes canviar de la seva posició natural. En aquest cas, si això passava, ell sol canvia la posició que se l'ha dictat i a partir del punt de flotabilitat, torna a la posició estable i equilibrada.

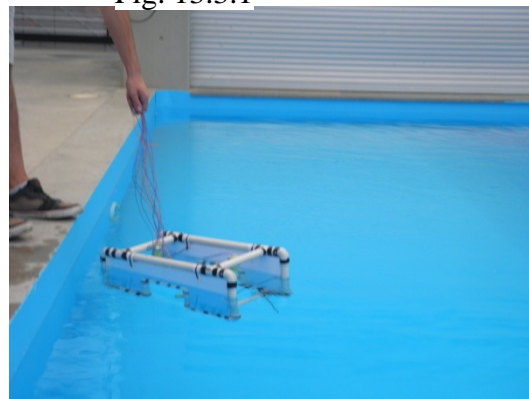


Fig. 13.2.5

13.3 Estancament i aplicació dels motors al submarí

Treballar amb un aparell aquàtic planteja, sovint, punts a tenir en compte. És important que si volem aplicar cossos elèctrics, els protegim bé per a aïllar-los de l'aigua i evitar, així, que es malmeti.

Pel que fa al motor, haurem de curar la seva estancació com la seva eficàcia. Per tant, diversos models són els que ens van ensenyar en una de les nostres visites a la Universitat de Girona.

Model 1: El primer dels quals també aconseguia l'estancament amb cera solidificada, però aquest anava en un altre envàs, que era massa ampli i això ocasionava forats dins d'aquest on no hi havia cera i l'aigua podia fluir fins arribar a l'interior, malmetent el motor. A part, tal i com podem observar en la imatge, l'adaptador del envàs del motor al que seria el xassís del robot, tampoc era tan segur i estable, i es podia treure i posar amb facilitat.



Fig. 13.3.3

Model 2:

En la imatge (Fig.13.3.2) observem un model que conserva el mateix model d'envàs per protegir el motor, i estancar-lo amb cera, però presenta una desviació alhora d'ajuntar-se amb el tub de PVC. I és que aquest nou model consisteix en collar amb dos cargols les bases de les brises a una de les cares de l'envàs i aplicar-li la brida quan s'ajunti amb el PVC tot lligant-la.



Fig. 13.3.2

Finalment, abans d'arribar al model definitiu, a la vista vam tenir un últim disseny que presentava més similituds al nostre model. Ja deixava d'utilitzar l'antic envàs ample i que permetia forats d'aire, per començar amb el rodet de càmera que s'ajustava més al cos del motor i, al no ser tant gran, no hauria de ser emplenat amb tanta cera i no s'escalfaria tan ràpidament el motor.

Model 3:

El fet és que amb aquest model només presenta un canvi a l'hora d'ajustar-se al cos del robot submarí. En comptes de fer-ho amb dos anells metàl·lics, realitzava aquesta operació collant brides al PVC i posteriorment les collaríem amb les volanderes.

En aquest motor, com en tots els demés, el fet de que es quedessin forats d'aire sense cera, no era només per la forma que no ajustava del tot el motor, sinó també perquè introduïen directament la cera calenta i la deixaven secar.

Model 4:

Per això, una innovació que vam aplicar al nostre motor va ser escalfar la cera amb aigua a 75 graus perquè baixés completament fins a la base de l'envàs i s'assequés sense

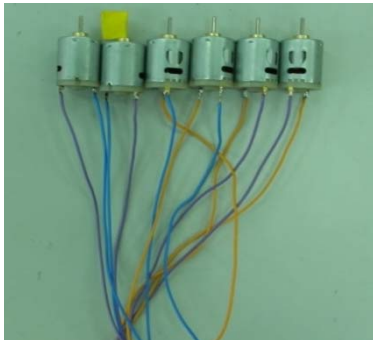


Fig. 13.3.4

formar bombolles. El nostre model també va corregir l'adaptació del motor al submarí, a partir d'uns "anells metàl·lics" que adaptaven i fixaven amb millors resultats, el motor ja estancat.

Un cop hem decidit com serà el nostre motor, caldrà donar pas a la construcció i preparació d'aquest. Per tal d'adaptar-lo al nostre submarí, necessitem realitzar els següents passos.

Aquest és el procediment a seguir:

Primer de tot, agafem dos cables de 50 cm de diferents colors per a cada motor. Els colors seran el blau, el taronja i el lila. Aquests es combinaran entre ells en forma de : blau-taronja, blau-lila, lila-taronja. Segons la posició on estiguin situats i la seva funció, aniran emparellats per combinacions (els davanters, tindran la combinació de blau- taronja, els de darrera tindran el blau-lila i els que faran que el submarí emergeixi o submergeixi, lila-taronja) (Fig. 13.3.4).



Fig. 13.3.5

Pel que fa als pols on aniran connectats els cables, podem dir que els colors càlids aniran al pol positiu, i els altres, al pol negatiu. En general, en totes les combinacions, el color taronja serà considerat sempre càlid (que anirà al pol positiu) i el blau sempre serà el color fred, que es connectarà al pol negatiu. Pel que fa al lila, s'adaptarà a la combinació en cada cas.

A continuació, marquem amb permanent el signe del positiu (Fig. 13.3.5) que està representat al costat de la borna del motor per saber on s'haurà de connectar cada cable.

Un cop hem tallat els cables de 50 cm, els hi pelarem les puntes per poder embolicar-les i soldar-les amb estany, i així mateix acabar de tallar la punta soldada i poder soldar-les

novament però a les bornes del motor. Un cop realitzat aquest procés, agafem unes plantilles de plàstic circulars que entren per l'eix de l'hèlix. Primer es col·loca una petita i després una gran, i finalment aquestes són precintades juntament amb el motor, per a que no es separin de l'eix. Posteriorment i per acabar d'estancar alguns punts del motor, aplicarem silicona calenta (Fig. 13.3.6). Acte seguit, tallem uns trossos de cartró que situarem a la part inferior del motor per a que no entri la cera tampoc per allà, i també hi ficarem silicona per a estancar-lo.

Un cop hem previngut els llocs per podria entrar la cera o l'aigua, agafarem el motor i li col·locarem un anell de coure a la part superior (on hi ha l'eix) i una protecció cilíndrica amb un forat al mig que cobrirà l'eix. Tota aquella superfície serà omplerta de cera.

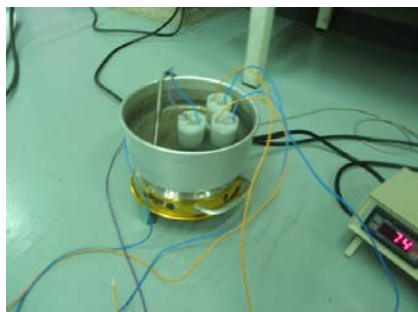


Fig. 13.3.7

Un cop s'ha assecat la cera al voltant de l'eix, traiem l'anell de coure que li donava la forma i el cilindre que protegia l'eix. Tot just acabar aquest procediment, conclourem la introducció de la cera, col·locant el motor a dins del rodet de fotografia i introduint-li cera pel cul del motor, quedant així l'eix de l'hèlix a l'altre costat. Un cop recobert l'espai buit, els cables queden en aquell cantó i els fem passar per la tapa del rodet de manera que quan tanquem, quedin a fora. Posteriorment, escalfem els motors (Fig. 13.3.7) amb aigua a 75 °C i d'aquesta manera la cera pujarà i quedarà el motor fixat a dins del rodet i completament estancat. Un cop la cera s'ha fos i ha pujat per tot el rodet a causa de la temperatura, només caldrà esperar altre cop a que s'endureixi.

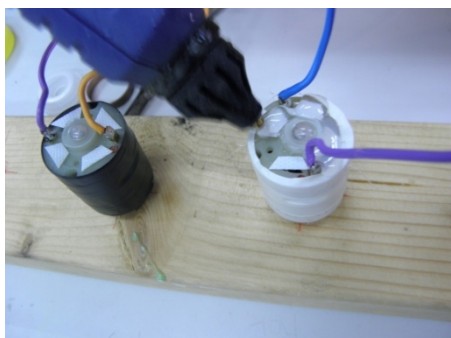


Fig. 13.3.6

Un cop finalitzat aquest pas, només caldrà situar l'hèlix en el seu eix. Per fer-ho, caldrà col·locar dues volanderes, l'hèlix i una volandera, en aquest ordre, per a fixar l'hèlix en l'eix.

Amb aquest model plantejat s'aconsegueixen bons resultats i viabilitat per fer-lo funcionar per sota l'aigua. D'altra banda, però, suposarà un

inconvenient el fet de l'estancament perquè es sobreescalfarà més fàcilment i retallarà, així mateix, la vida del motor.

13.4 Reed switch

L'any 1936, W. B. Elwood va inventar un interruptor elèctric que s'activava a l'entrar en contacte amb la presència d'un camp magnètic.

El reed-switch (Fig. 13.4.1) està format per dues plaques de ferro i magnètiques que es troben hermèticament tancades en una capsula de vidre. Aquestes dues plaques es troben situades una davant de l'altra a certa distància entre elles.

Amb l'aparició del camp magnètic que genera un iman o bobina, aquesta es mou generant el contacte. Quan el camp magnètic desapareix, les plaques tornen a la seva posició, perdent, així, el contacte. Per tant, si els contactes es troben oberts es tanquen, i si es troben tancats, s'obren amb la influència del camp magnètic. El bany del metall de rhodum, que es troba en la majoria de reed switch, el fa més resistent i li dona més durabilitat al producte. A l'interior de la càpsula de l'aparell sovint es genera el buit o s'hi troba un gas, com ara el nitrogen, per a incrementar les seves característiques.

En el submarí, el reed-switch s'haurà de trobar en unes altres condicions a les quals no està acostumat a treballar, l'aigua. Per això hem hagut d'adquirir un reed-switch que està encapsulat per protegir-lo.

Acte seguit, el situem a la part frontal del submarí, enganxat als dos tubs més davanters de l'aparell a esquerra i dreta. Finalment, enganxem una peça rectangular d'amplada com el diàmetre del tub a la part superior d'aquest tub, on comença el colze, per a que estigui lleugerament inclinada respecte el vertical, i arriba fins a la meitat

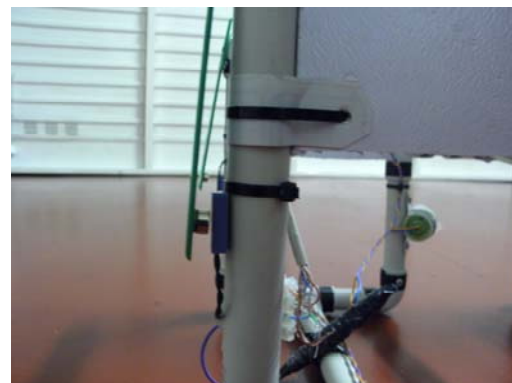


Fig. 13.4.2

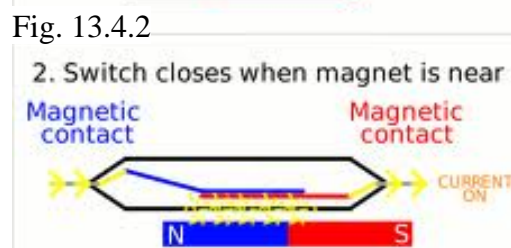


Fig. 13.4.1

del tub (on es troba el reed-switch) (Fig. 13.4.2). Aquesta peça conté un iman i sobresurt del cos del submarí, avançant-se. Per tant, el xoc d'algun objecte extern mou la peça allargada i la fa impactar amb el reed-switch. L'iman aconsegueix crear el camp magnètic i les plaques que s'han ajuntat fan d'interruptor d'un camp elèctric que rep l'Arduino en forma d'entrada, i comprovem que ha xocat. Després de corregir el xoc, a través de la programació, la peça torna al seu lloc i el camp magnètic es perd. Podem observar aquesta peça allargada (verda en la imatge) que conté un iman i que es situa prop del reed-switch encapsulat (blau en la imatge).



Fig. 13.5.1

13.5 L'electroimant

Al nostre submarí l'hem afegit un estri per a que pugui interactuar amb el medi en el qual se li demani treballar. Aquest estri serà un electroimant que permetrà poder agafar objectes metàl·lics quan sigui activat per mitjà d'un polsador.

Un electroimant (Fig. 13.5.1) és un tipus d'iman en el que es genera un camp magnètic a partir d'un flux de corrent elèctric. La construcció d'un electroimant és senzilla i tracta d'una peça de ferro sense imantar recoberta d'un fil metàl·lic que recobreix aquest ferro en forma de bobina. Les bornes d'aquest fil de coure es van soldar amb estany a un cable a cadascuna. Un cop ajuntats, es precinta tota la superfície de la peça amb cinta aïllant per a estancar-lo i es deixen les dues bornes del cable que surtin per a poder connectar-se a la regleta que estarà en un dels colzes del submarí. D'allà, juntament amb les altres sortides dels cables dels motors, es connectaran finalment al cable umbilical.

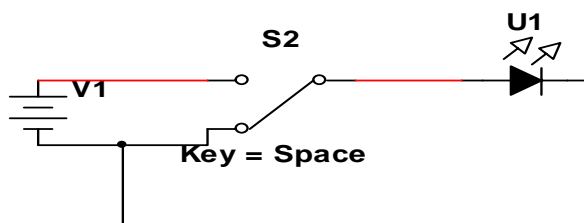
La resistència que oposava la bobina feta de coure era de 8,1 ohms. D'aquesta manera, s'aconsegueix que no es sobreescalfés la peça.

13.6 Construcció del comandament

Un dels nostres objectius del submarí es poder dirigir el robot submarí, mitjançant un comandament. A part de la direcció via ordinador o de les comandes autònomes, també pot funcionar dirigint-lo gràcies a l'ajuda del aparell que hem construït.

Aquest disposarà d'una estructura rectangular on es connectaran els botons i el joystick per al moviment del robot. Per aconseguir que els motors funcionin, el comandament haurà d'estar connectat a una font d'alimentació de 12v i, alhora, als sis motors corresponents del submarí. Com hem comentat anteriorment, els motors funcionen per igual de dos en dos, per tant, és com si treballéssim amb tres motors.

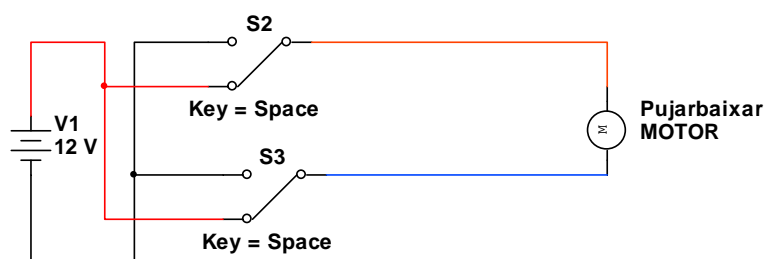
El moviment vertical treballarà amb dos pulsadors industrials i el moviment d'avanç i de retrocés, juntament amb el de gir, estarà comandat pel joystick. També disposarà d'un altre botó industrial per connectar l'electroimant. Aquets pulsadors seran uns commutadors que treballaran normalment oberts com el expressat en la següent figura:



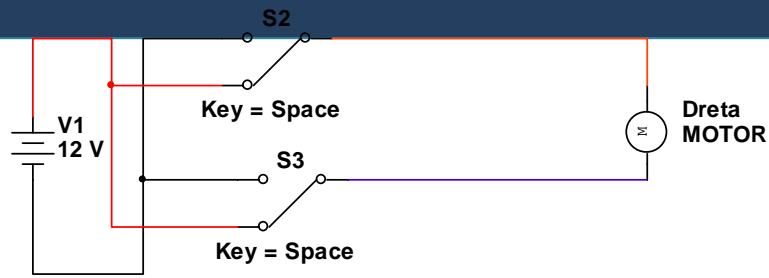
Sent S2 el commutador i U1 un element electrònic qualsevol que en l'esquema està representat com un led.

Tots els aparells tindran el mateix circuit elèctric a l'hora de fer el moviment, aquest tindrà una estructura amb colors determinats. Pels motors de pujar i baixar tenim els següents colors:

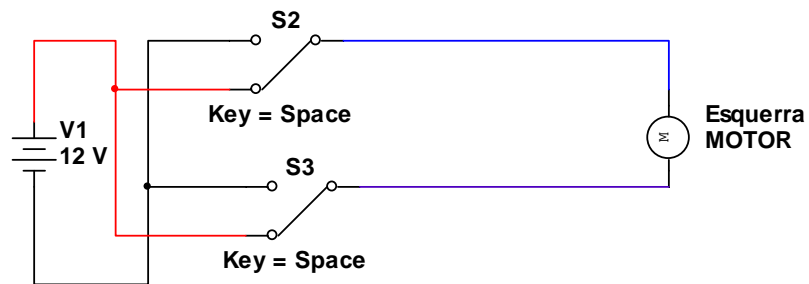
Taronja i blau per a cada borna del motor.



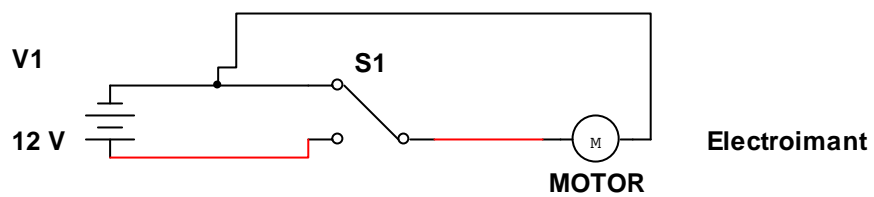
Pels motors de la part dreta tenim el taronja i lila per a cada borna del motor.



Pels motors de la part esquerra tenim els colors blau i lila.



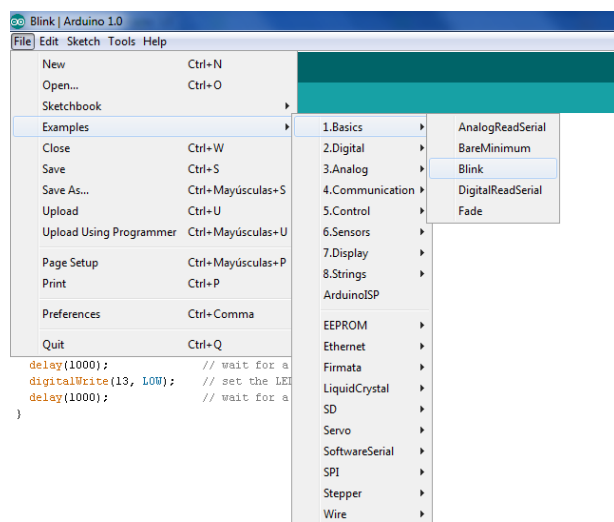
L'esquema de l'electroimant tindrà la següent forma:



14 El nostre programa

El programa que hem integrat a la nostra placa d'Arduino UNO aconseguirà donar autonomia al nostre robot. Aquest pot adoptar una trajectòria a seguir i rectificar-la si anteriorment ha obstaculitzat amb algun objecte. Per tant, el robot pot moure's en totes direccions i també és capaç de detectar quan impacta amb algun cos que l'impedeix avançar amb normalitat.

Gràcies al portal principal d'Arduino, ens hem pogut descarregar el compilador per poder programar la nostra placa. Aquest compilador, a més ofereix alguns exemples per saber com programar quines accions o per interactuar amb la mateixa placa, encenent algun led que porta integrat, per saber si funciona la comunicació. Aquests exemples els podem trobar seguint els següents passos que podem observar a la Figura 1. D'aquesta manera si li donem a file(arxiu)→ exemples(exemples)→ basics(bàsics)→ blink(pampalluguejar) podrem veure com s'encén un dels leds de la placa intermitentment.



Un cop hem observat que funciona correctament, comencem a programar.

Som conscients que així d'entrada utilitzarem unes variables per fer referència a les entrades o sortides; les haurem de declarar com a enters perquè estaran situades a un número de pin digital concret, també li haurem de donar un nom. Els sis motors s'ajuntaran en tres grups: els situats a la dreta en un (R), els de l'esquerra en un altre (L) i els de pujar i baixar(UD) en el tercer grup. Determinarem sis sortides de les quals es separen en tres i tres. Cada grup de motor se li seran assignades dues sortides (dos pins). Una d'elles, l'“enable”, farà referència a la potència del motor (de 0 a 255) i

l'altra farà referència a la direcció del motor (1 ó 0). Aquesta segona sortida del motor, quan estigui a 0, amb la nostra placa de proves i afegint un pin NOT, realment el que farem és convertir el 0 amb 1 i, per tant, girarà en el sentit contrari.

Les altres dues variables declarades (p1 i p2) fan referència al polsador 1 i 2, que són els dos sensors. Aquests són entrades perquè envien informació a la placa i no al revés.

```
// declarem totes les variables, li donem un nom,  
// i un número de pin digital on es connectaran.  
  
//int = declarar variable en un enter, ara especificarem en cada cas:  
int enUD = 3; // sortida dels motors de pujar i baixar que determina la potència, es troba en el pin 3.  
int UD = 2; // sortida dels motors de pujar i baixar que determina si estan encesos o no, es troba en el pin 2.  
int enR = 5; // sortida dels motors de la dreta que determina la potència es troba en el pin 5.  
int R = 4; // sortida dels motors de la dreta que determina si estan encesos o no es troba en el pin 4.  
int enL = 6; // sortida dels motors de l'esquerra que determina la potència es troba en el pin 6.  
int L = 7; // sortida dels motors de l'esquerra que determina si estan encesos o no es troba en el pin 7.  
int p1= 8; // polsador 1 esquerra ( no necessita cap entrada enable, perquè no es tracta d'un motor, no regulem la potència), es troba en el pin 8.  
int p2= 9; // polsador 2 dreta ( no necessita cap entrada enable, perquè no es tracta d'un motor, no regulem la potència), es troba en el pin 9.
```

Un cop declarades les variables amb les que treballarem, inicialitzem la funció `setup()` que serveix per inicialitzar variables i pins, per a declarar si són sortides o entrades.

```
void setup(){ // inicialitza les variables  
// indiquem en cada variable, si es tracta d'una entrada o d'una sortida.  
pinMode(enUD, OUTPUT); // el pin on es troba és una sortida.  
pinMode(UD, OUTPUT);  
pinMode(enR, OUTPUT);  
pinMode(R, OUTPUT);  
pinMode(enL, OUTPUT);  
pinMode(L, OUTPUT);  
pinMode(p1, INPUT); // el pin on es troba és una entrada.  
pinMode(p2, INPUT);  
}
```

Posteriorment ens iniciem en l'anàlisi del següent pas, es tracta del `loop()`. En l'interior d'aquesta funció marcarem la trajectòria que volem assolir indicant les següents funcions, com podem observar a la imatge inferior:

```
,  
void loop(){  
// aquí apareix la trajectòria que es traçarà indefinidament si no hi ha cap xoc.  
down(2000); // volem que s'activin els motors per a baixar, durant un temps de 2000 ms(el temps s'indica en milisegons).  
forward(4000);  
up(1000);  
right(2500);  
forward(4000);  
}
```

Cada una d'aquesta funció cridarà el seu codi especial, que es situa més a l'inferior del programa i el paràmetre "x" (que està entre parèntesi) és una variable que s'ha

d'introduir a la funció per a que funcioni i indica el temps em milisegons d'execució de cada funció.

Parlem d'un loop que en anglès vol dir bucle, perquè les funcions que hi hagin escrites en aquest apartat es repetiran indefinidament si no es presenta cap xoc.

En aquest apartat hem fet crida d'una trajectòria corrent que podria seguir el robot submarí.

A continuació, observem quina és la composició de cada funció. Agafant els exemples de la funció `up()` sabent que respecte les altres canviarà estructuralment la crida d'uns altres motors(pins) i del temps, que el faran moure diferent.

```
void up(double x){ // es tracta de la funció up() i s'executarà durant x milisegons, per això aquesta variable
//del temps és un int (enter) ja que no obtindrem divisions del temps, simplement ho dividirem en un ms, sempre treballarem en enters.
  analogWrite(enUD, 255); //activem a màxima potència el pin dels motors de pujar, que és tracta d'un enable.
  //Ho fem mitjançant els pins digitals que també poden actuar com a analògics ja que hem d'introduir un número determinat, no 0 ó 1.
  digitalWrite(UD, HIGH); // activem el pin digital dels motors de pujar i per tant indiquem el sentit de gir que és horari.
  for( int y = 0 ; y<=x ;y++) // amb aquest for aconseguim que y vagi de 0 al temps indicat.
  {
    delay(1); // cada vegada que augmenti la y, esperarà un milisegon per a avançar en el temps.
    comprovar(); // cada vegada que avanci un milisegon cridarà la funció comprovar que aquesta vigilarà si s'ha provocat un xoc.
  }
  analogWrite(enUD, 0); // quan s'hagi acabat el temps determinat, desconnectarà els pins donantli la potència 0.
  delay(1000); // s'esperarà 1 segon (1000 ms) abans de realitzar la següent operació.
}
```

A la crida de la funció `up`, introduïm amb ella un temps determinat que indicarà el final d'aquesta execució.

A continuació amb `analogWrite()` activem els pins dels motors per a pujar en la màxima potència (255) i aquest pin es tractarà d'un enable, també anomenat PWM que poden treballar com a analògics, perquè hem de donar un número determinat de potència. Si treballessin com a digitals només podríem dir si estan activats o no, i és el cas de la funció `digitalWrite()` que al estar `HIGH` voldrà dir que estarà activat i a efectes pràctics, l'eix del motor es mourà en sentit horari.

Com podem veure a la imatge, la crida del `for` serveix per a fer augmentar una variable al temps que hem marcat. Cada vegada que avanci en una unitat, s'esperarà un milisegon tal i com indica `delay(1)`. Així, cada milisegon estarem comprovant si s'ha establert un contacte al reed-switch o no, per mitjà de l'operació `comprovar()`.

Finalment, tornarem a establir contacte amb el pin PWM per tornar-lo a un valor de 0, aturar el motor. Estarà aturat durant un segon (`delay(1000)`), haurà acabat la funció `up()`

i continuarà amb el programa tornant altre vegada al bucle inicial si no s'ha establert cap xoc.

Si s'ha establert un xoc, en serem informats gràcies a la funció *comprovar()*.

```
void comprovar(){ // comprovarà els tres xocs per a saber on s'ha produït l'impacte.
  xoce(); //comprova el xoc esquerra.
  xocd(); // comprova el xoc dret.
  xocdos(); // comprova el xoc frontal, és a dir, amb els dos pulsadors. |
}
```

Amb aquesta comanda ara detallarem quin pulsador ha tingut la col·lisió o si l'han tingut els dos.

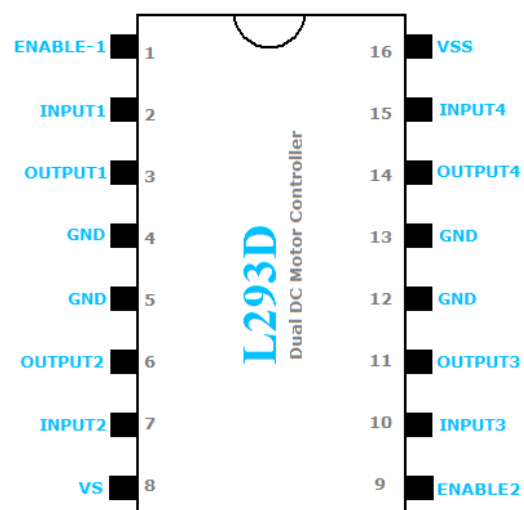
Observem l'exemple del cas de que impacti el pulsador 1, el que es troba a l'esquerra amb les anotacions corresponents:

```
.
void xoce(){
  if((p1 == HIGH)&&(p2 == LOW)) // condiciona si el pulsador 1 està connectat ( ha rebut el xoc) i el pulsador 2 no.
  {
    backward(3000); // rectifica la trajectòria retrocedint 3 segons (altra vegada cridant el mètode backward).
    right(3000); // i després girarà a la dreta durant 3 segons
  } // quan acabi aquest rectificat continuarà amb el bucle inicial.
}
```

15 Circuit de la placa

Per poder fer servir els motors del submarí necessitem un voltatge de 12 volts i una potència de 5 watts. La placa programable Arduino només ens permet alimentar els motors amb un voltatge de 5 volts. Per tant, ens vam veure obligats a trobar una solució al nostre problema. La solució que vam trobar efectiva va ser comprar un dispositiu que controlés motors a partir dels pins de la placa programable i d'una font externa. Al mercat, els dispositius que ens permetien controlar motors d'un voltatge de 12 volts o superior eren dispositius que únicament controlaven 2 motors i alhora ocupaven tots els pins de sortida i d'entrada del nostre Arduino uno. Al ocupar tots els pins de l'Arduino, no ens permetia utilitzar uns sensors de xocs en un futur. Per això, al resoldre el problema el qual ens havíem topat, vam haver de decidir entre utilitzar dos arduinos o dissenyar nosaltres mateixos els propis dispositius. Va ser una oportunitat per incrementar la nostra motivació i ens vam decantar per dissenyar el nostre propi dispositiu amb l'integrat L239D, el xip que els dispositius comparats anteriorment disposaven. Aquest integrat només necessita dos pins de l'Arduino Uno i, per tant, encara ens quedaven vuit pins per a poder construir el sensor de xoc.

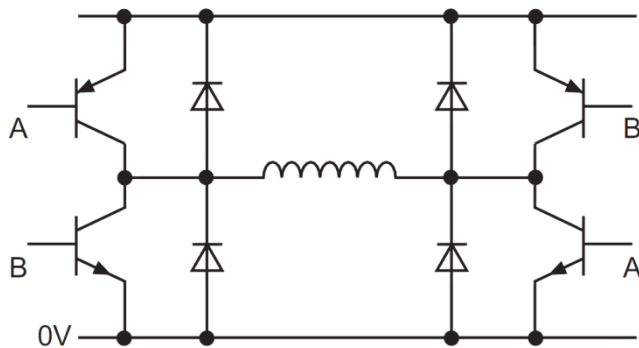
L'integrat L239D pot suportar fins a quatre motors amb una única direcció i dues si es vol utilitzar amb doble direcció. Aquest integrat ens deixa canviar de direcció els motors sense canviar la seva velocitat i poder canviar la seva velocitat sense canviar la direcció. Aquest fet es produeix gràcies al pin número 1 i 9 del integrat, que s'anomena enable que està connectat amb els pins PWM de l'arduino, i al pont H.



Ara procedirem a anomenar les diferents entrades del xip per a que l'explicació del pont H sigui més amena. Com hem comentat i com podem observar en la imatge superior, els pins 1 i 9 són pins per poder regular la velocitat de gir i en el cas que volguéssim, aturar el motor. A més, observem que els pins 2,7,10,15 se'ls hi pot entrar corrent. Si s'utilitzen quatre motors, aquests pins van amb parelles amb els pins 3,6,11,14 respectivament. Si s'utilitzen amb dos motors quatre pins són utilitzats per un motor juntament amb el seu enable. Com podem observar a la imatge, tots els pins d'entrada i de sortida d'un cantó van conjuntament i els de l'esquerra, també. Per últim, ens trobem

amb els pins 8 vs i 16 vss. El pin 8 es tracta de l'alimentació que se li vol donar al motor i el pin 16 serà l'alimentació de l'integrat, que es tractarà de 5 volts.

Per explicar el pont H, primer haurem de veure per a que se li diu d'aquesta manera. El nom és degut a la forma que adopten els transistors que porten l'integrat en el seu

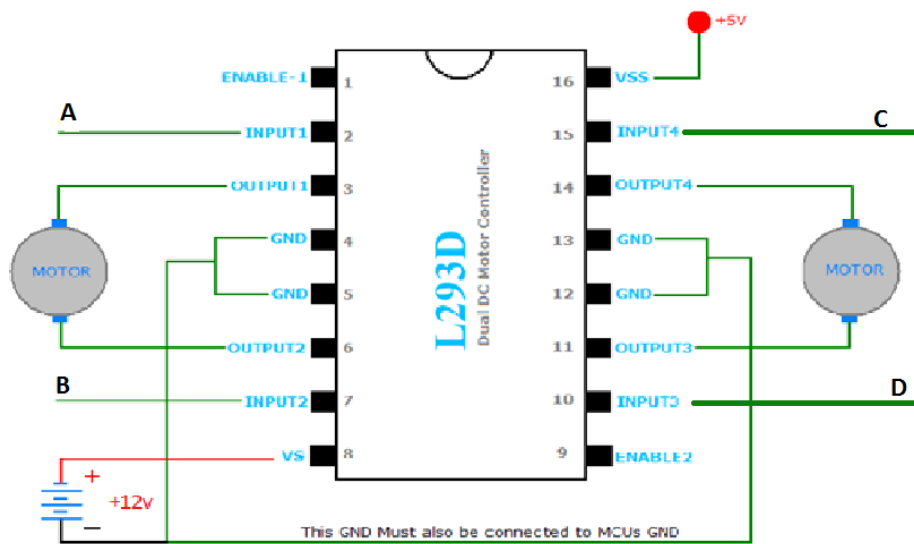


interior com podem veure en la següent imatge:

Podem observar que els valors d'A i B són les entrades del xip, la línia de d'alt és el xip enable que permet controlar el flux d'energia i la línia de sota

correspon al terra, els zero volts. Els símbols que trobem repetits en les línies verticals són díodes per fer segur el motor i no permetre que l'hi entri directament cap voltatge. També podem observar quatre transistors, que són els que permeten el flux o no de l'energia a partir del corrent de base que són els pins d'A i B. Per últim, observem el motor que el trobem representat com el símbol que es troba en el centre.

Per tant el nostre circuit tindrà l'estructura següent:



Per a
ens

que no

ocupessin tants pins, les lletres B i C seran iguals a les A i D respectivament però digitalment negades. Per tant, quan per exemple l'A tingui els 5 volts, la B disposarà de 0 volts i el motor funcionarà amb sentit horari. En el moment que A tingui el valor de 0 volts, B al negar-se amb una porta NOT tindrà el valor de 5 volts i el motor girarà en sentit antihorari. És per això que per a que el motor pari, l'enable haurà de ser igual a

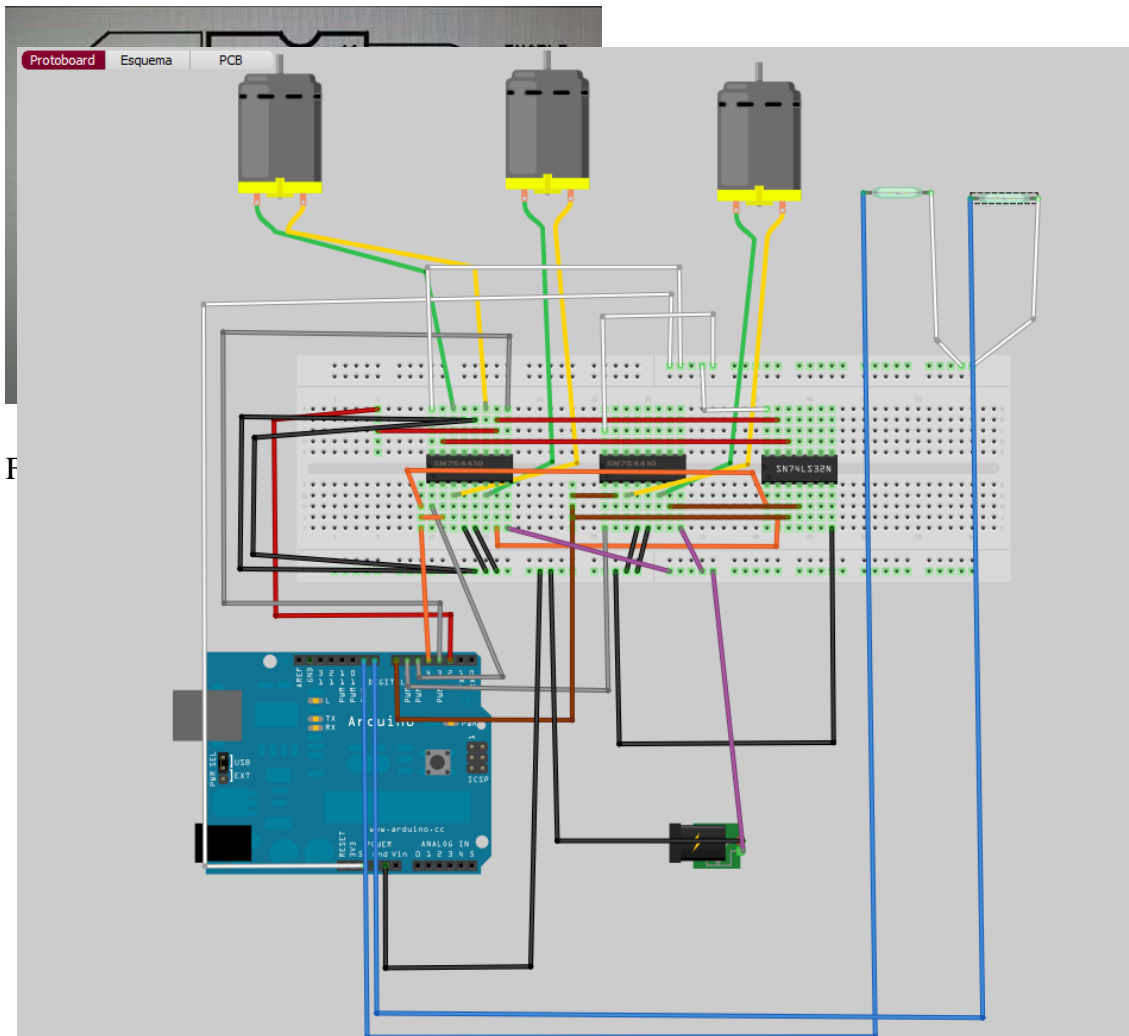
zero volts. Per tant, tenim que necessitem un pin PWM i un pin digital per a cada motor. Al repartir els motors en els dispositius, ens adonem que necessitem dos dispositius L239D per a controlar tres motors i una porta lògica 74LS que conté 14 pins i que es alimentada amb 5v amb un pin a zero volts. Aquests pins són el 7 el 14 respectivament. Per tant en la porta lògica trobem 6 parelles que actuen per a negar sent les imparelles els pins d'entrada i els parells els pins de sortida des de 1 fins a 6 i al revés, des del pin 8 fins el 13. Aquesta porta lògica la utilitzem per negar els pins que venen de l'Arduino i determinar el sentit de gir.

Aplicat als nostres motors, el motor de pujar i baixar anirà comandat per els pins superiors a 9 del primer dispositiu L239D i per els pins 2 i 3 de l'Arduino, sent el 3 l'enable. El motor de la dreta anirà comandat per els pins inferiors a 9 del primer dispositiu L239D i per els pins 4 i 5 de l'Arduino, sent el 5 l'enable. El motor de l'esquerra anirà comandat per els pins inferiors a 9 del segon dispositiu L239D i per els pins 6 i 7 de l'Arduino, sent el 6 l'enable. La taula de la veritat de l'integrat serà la següent:

EN	A	B	Motor
HIGH	HIGH	LOW	El motor girarà horàriament
HIGH	LOW	HIGH	El motor girarà antihoràriament
LOW	X	X	El motor s'atura

En el nostre circuit també trobarem el que hem anomenat anteriorment el reed-switch, el contacte de xoc que s'establirà en els pins 8 i 9 de l'Arduino.

Tot configurat amb la placa Arduino i la placa on reposen tots els components, sumant-li els motors, el reed-switch i la font d'alimentació trobem que el nostre circuit final tindrà aquesta estructura:



En la primera prova que vàrem fer amb els motors del submarí, els dispositius L239D ens van fumejar i vam haver de trobar una solució. Investigant en els laboratoris, vam utilitzar un polímetre per mesurar l'amperatge que rebien els motors. En primer lloc, vam calcular amb motors sense estancar i el resultat ens sortia de 800 mA. Seguidament, vam calcular quans ampers rebien i vam tenir els resultat de 1.9A el motor de pujar i baixar, el de la dreta de 1.3A i el de l'esquerra 1.7A. Tots aquests resultats sense mantenir l'oposició de l'aigua. També vam calcular quan mesurava a l'aigua i vam obtenir que eren de 2.3A el de pujar i baixar i 2.1A el de la dreta i el de l'esquerra. Veien aquests resultats podem afirmar que els motors necessiten més energia per posar-se en marxa que per fer moure el submarí.

Buscant una solució al problema en concret, ens vam mirar la fulla de característiques que el fabricant ens atorga i ens vam adonar que el L239D només tolera amperatges de fins a 1A i com a màxim pics de 2A però sense ser repetitius. Això ens va portar a pensar que no podríem fer servir aquests xips i vam recercar pel mercat i vam trobar una solució amb el dispositiu L6203. Aquest podrà suportar fins a 4A i per això podrà suportar l'amperatge dels motors. Per tant, podrem crear un circuit similar, tenint en compte, com es pot observar a la figura(), que només es pot utilitzar un motor si es fa servir el pont H, que haurem de fer ús de tres integrats com aquest per al funcionament dels motors. El funcionament de l'enable amb el canvi de direcció negant una sortida de l'Arduino continuarà sent completament igual. Per tant, aconseguirem que els motors puguin romandre sota l'aigua amb un amperatge superior a 2A i sense que l'integrat se'ns cremi.

16 Resultats obtinguts

Davant dels resultats finals obtinguts, en referència als nostres objectius inicials amb els que enfrontaven el projecte, obtenim una valoració positiva. Cal destacar que com a objectiu primari hem arribat a construir un submarí que el podem controlar manualment amb un comandament a distància mitjançant un cable umbilical, a més de poder operar amb una trajectòria prèviament establerta amb un programa. Hem assolit l'anàlisi de les diferents classes de submarins, que ens ha servit per valorar quin tipus era el més

adequat i quin s'adaptava millor a les nostres possibilitats. El pressupost total ha estat assequible perquè hem aconseguit executar un aparell capaç de submergir-se i controlar-se amb materials econòmicament accessibles. La previsió a l'hora de fer el muntatge en el taller ha estat l'adequada ja que hem utilitzat material per a la nostra seguretat i per a la de l'ambient. A més a més, durant la construcció, hem pogut familiaritzar-nos amb eines i mètodes que no havíem experimentat anteriorment. Aquest és el cas d'eines específiques que hem utilitzat al taller de la Universitat de Girona que ens permetien realitzar operacions sofisticades, com ara fondre el plàstic. També programes de caire tècnic com ara l'Autocad, el Multissim o el Frizing ens han servit per al desenvolupament dels dissenys d'aquest invent. El compilador de la placa Arduino ens ha donat molts bons resultats i treballar correctament amb ella ens ha estat molt satisfactori. Hem après a fer un circuit lògic en una placa de proves que ens a permès crear un pont entre l'ordinador i el robot submarí. El nostre submarí també disposa d'altres aplicacions que el permeten interactuar amb l'ambient de treball, l'aigua. Aquests dispositius són l'electroimant i el polsador de xoc.

17 Cost econòmic

Peça	Cost (€)	Quantitat	Total
Tub de tres metres de 25 mm de diàmetre	12.00	1	12.00
Colzes de PVC	12.00	1	12.00
Motor CEBEK C-	6.26	6	37.56

6043			
Xip L239D	6.40	2	12.80
Xip L6203	8.1	3	24.3
Brides	0.9	1	0.9
Porexpan 2 m · 2 m · 0,02 m	3.23	1	3.23
Total			102.79

18 Conclusions

El que creiem que és el més important en un treball no és només acabar-lo i haver aconseguit els propòsits que s'havien establert. El més important és acabar-lo sent conscients dels coneixements i l'experiència que s'han adquirit durant aquest. És doncs, durant el treball, on aprens lliçons que realment creies que estaven fora de l'abast del que anaves a confeccionar. Lliçons que et donen una base per continuar treballant el dia de demà en àmbits similars.

Relacionar una classe de primer de batxillerat de programació amb aconseguir fer moure un robot en un ambient aquàtic és, per a nosaltres, plaent i ens reitera que el que fem avui ens servirà per resoldre problemes en un futur.

El que hem pogut observar en el nostre treball, principalment encarat a la pràctica, és que per realitzar un submarí hem de prendre atenció en distints aspectes que són primordials per al maneig.

Per començar, és necessari decidir una estructura, atorgar-li una forma al cos del submarí. Després d'estudiar quins aspectes hauríem de tenir en compte si el cos fos totalment tancat, observem que els materials que s'han d'emprar canvien, com també ho fa els mecanismes d'immersió i emersió. Alhora, dirigir-lo és més difícil i hem de disposar d'uns motors més potents. Tot aquest conjunt ens porta a un pressupost inaccessible i una fiabilitat menys bona que el model actualment realitzat. El disseny d'estructura oberta permet, doncs, més agilitat i més bons resultats, també ens permet localitzar el problema més fàcilment, en cas de que no funcioni algun aspecte. D'altra banda, un cop volem situar el robot a l'aigua, hem de tenir en compte que algunes peces no poden treballar amb aigua perquè es danyaria la seva estructura interna. És important doncs, estancar els motors que són el principi del moviment, i amb ell, les hèlixs que l'acompanyen. També cal prestar atenció en les connexions dels cables per mitjà de regletes i en el més mínim detall, cal que tot estigui ben protegit. Situar els motors en una posició o una altra ens donarà més rapidesa i desviarà menys el cos del submarí. També cal tenir en compte les aplicacions que s'han afegit com ara l'electroimant o els polsadors, que són aparells que si bé ja són sensibles per a la seva pròpia estructura o els materials que el conformen, en contacte amb l'aigua poden patir lesions fàcilment.

Un cop ja podem submergir l'aparell, s'ha de curar la flotabilitat. Qualsevol robot submarí haurà de tenir una flotabilitat neutre.

Pel que fa al cablejat que ajunta el submarí al comandament, s'ha de pensar quin seria el circuit adient, connectar cada borna al seu respectiu lloc per tal de complir amb les funcions del comandament. Finalment, el cablejat que funciona amb l'Arduino ha de traçar un circuit lògic per tal de que mitjançant els correctes xips, i connectant els cables en els pins adequats, puguem transmetre correctament la informació del programa, transformar-la amb la placa de proves, i efectuar les operacions programades amb encert.

Així doncs, amb la completa funcionalitat que li hem atorgat al nostre aparell i obtenint bons resultats, hem pogut satisfer tot objectiu anteriorment establert. Fer-ho amb les nostres mans i amb el que hem après tots aquests anys ha significat més del que poguéssim haver imaginat.

Per tot això, volem agrair principalment a la nostra tutora la Júlia Fernandez Nofrerias per la seva atenció, dedicació i per haver-nos guiat durant aquests projecte. A més a més, agrair a en Xavier Valldeoriola Mas per la seva atenció i oferir-nos material tècnic per al treball. Agrair especialment a la Universitat de Girona, en particular als professors Xavier Cufí i Miquel Villanueva per fer possible la part pràctica del submarí, oferir-nos material tècnic i estar sempre disponibles.

Per a nosaltres, aquest és el primer mar en el que ens hem endinsat sense veure terra i que, finalment, hem creuat.

19 Bibliografia

En aquestes pàgines citades a continuació, hem extret informació sobre els submarins, les seves peces i la seva història:

- <http://www.amarre.com/html/historias/embarcaciones/submarinos3.php>
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Submarino>

Llibres explicatius dels submarins també hem recercat informació en llibres com:

- Historia de los submarinos escrit per Jeff Tall
- Submarinos del mundo escrit per Robert Jackson

Per a la construcció i per tenir en compte diferents aspectes sobre els submarins incloent-hi la història i el seu funcionament hem utilitzat els llibres:

- [Build Your Own Underwater Robot and other wet projects](#) per Harry Bohm i Vickie Jensen.
- [Build your own Programmable Lego submersible](#) Harry Bohm i Vickie Jensen.
- [Introduction to underwater technology & vehicle design](#) per Harry Bohm i Vickie Jensen.
- Dossier de muntatge d'un submarí ideat per la UdG.

Per a poder programar la placa arduino hem utilitzat les següents pàgines webs:

- www.arduino.cc
- <http://www.tecnosalva.com/arduino-pr%C3%A1ctica-n%C2%BA-2-control-mediante-pulsadores>

Per al circuit lògic hem utilitzat les següents pàgines web juntament amb els corresponents fulls del fabricant de cada dispositiu:

- <http://luckylarry.co.uk/arduino-projects/control-a-dc-motor-with-arduino-and-l293d-chip/>
- <http://luckylarry.co.uk/arduino-projects/control-a-dc-motor-with-arduino-and-l293d-chip/>

