

Treball de Recerca

FABRICACIÓ D'UNA EMBARCACIÓ DIRIGIDA PER CONTROL REMOT

- Àmbit de Ciències Experimentals, Informàtica -

ÀLEX MARTÍ GUIU
PABLO IRIARTE TARRÉS

TUTOR: JOFRE PLA PÀMIES

2n de Batxillerat
Escola Frederic Mistral - Tècnic Eulàlia
FUNDACIÓ COLLSEROLA

Barcelona, 2017-2018

Nota d'agraïments:

Ens agradaria donar les gràcies a l'equip FabLab d'ESADE (Universitat Ramon Llull) a Sant Cugat pel suport i la formació que ens han proporcionat per a poder fer realitat el nostre treball. També ens agradaria agrair als programes de disseny informàtic Fusion 360 i Circuitlab el fet que disposin d'una versió gratuïta per a estudiants. Així doncs, també volem donar les gràcies al nostre tutor del treball Jofre Pla Pàmies per a la seva dedicació i ajuda amb el treball i a les escoles Frederic Mistral Tècnic Eulàlia i Ramon Fuster per la facilitació d' aules, materials i serveis. Per acabar, també voldríem agrair el suport i els consells del nostre tutor de classe Josep Cunill, que ens ha proporcionat la seva experiència sempre que hem tingut dubtes.

Pròleg:

Aquest treball ha estat realitzat amb una metodologia i uns procediments simples però molt efectius. Hem seguit la metodologia de la prova-error en què bàsicament es busquen contínues solucions als problemes que se'ns presenten. Per tant, creiem que ens ha fet créixer com a persones autònomes ja que en dinàmica d'equip hem après a fer front a situacions adverses, així com construir a partir de situacions favorables.

“El creixement és un procés de prova i error: és una experimentació. Els experiments fallits formen part del procés en igual mesura que l'experiment que funciona bé”

- Benjamin Franklin

ÍNDEX

1. Introducció, presentació i bases teòriques
 - 1.1. Introducció al projecte
 - 1.2. Evolució en la tria de projecte
 - 1.2.1. Dubtes inicials
 - 1.2.2. Aplicació mòbil (Àmbit comercial)
 - 1.2.3. Ajuntament de sant Cugat
 - 1.2.4. Submarí
 - 1.3. El nostre projecte definitiu
 - 1.4. El Perquè de la nostra tria
 - 1.4.1. Inspiració i motivació per a fer aquest projecte
 - 1.4.1.1. Àmbit del batxillerat que fem
 - 1.4.1.2. Futurs estudis universitaris
 - 1.4.1.3. Un xic de passió i *hobby*
 - 1.5. Definició inicial de la nostra idea
 - 1.5.1. Què es el sistema arduino?
 - 1.5.1.1. Definició
 - 1.5.1.2. Tipus de placa existents
 - 1.5.1.3. Entrades i sortides (PWM)
 - 1.5.2. Tipus d'embarcació
 - 1.5.3. Propulsió i motorització
 - 1.5.4. Parts d'un vaixell (nomenclatura nàutica)
 - 1.5.5. Comportament de l'aigua marina com a medi líquid
 - 1.5.5.1. Densitat i Fricció
 - 1.5.5.2. Salinitat i oxidació
 - 1.5.6. Que vol dir un objecte a control remot ?
 - 1.5.6.1. Tipus de control remot existents
 - 1.5.6.2. Bluetooth (tipus de control remot escollit)
 - 1.5.7. FabLab (formació per al projecte)
2. Objectius del nostre projecte
3. Procediments i construcció (cos de la memòria)
 - 3.1. Passos per a la construcció
 - 3.1.1. Pluja d'idees

- 3.1.2. Selecció de la millor idea sobre el vaixell
- 3.1.3. Primers esbossos
- 3.1.4. Tipus de pla emprats
 - 3.1.4.1. Elèctric
 - 3.1.4.2. Zenital
 - 3.1.4.3. Tridimensional
- 3.1.5. Construcció del sistema elèctric Arduino
 - 3.1.5.1. Reunió del material necessari
 - 3.1.5.1.1. Descripció, procedència, pes i preu dels materials
 - 3.1.5.1.2. Descripció i procedència de la maquinària emprada
- 3.1.6. Instal·lació del sistema elèctric a l'embarcació
 - 3.1.6.1. Determinació de la potència i el voltatge dels motors
 - 3.1.6.2. Instal·lació de la placa base i la placa shiel sobre d'aquesta
 - 3.1.6.3. Instal·lació dels motors
 - 3.1.6.4. Instal·lació de la placa Bluetooth
 - 3.1.6.5. Instal·lació de la bateria
 - 3.1.6.6. Muntatge del sistema de propulsió (instal·lació de les hèlix)
 - 3.1.6.7. Instal·lació final, unió de totes les peces
- 3.1.7. Elaboració del casc de la nau
 - 3.1.7.1. Aspectes tècnics i forces que hi interactuen (Física)
 - 3.1.7.2. Disseny del casc amb un programa informàtic
 - 3.1.7.3. Impressió en 3D del casc
 - 3.1.7.4. Muntatge del casc
- 3.1.8. Distribució del sistema elèctric
- 3.1.9. Distribució del pes
- 3.1.10. Tapa del casc i muntatge de l'estructura sobre la coberta
- 3.1.11. *Antifouling* i pintura
- 3.1.12. Elaboració del control remot amb la app i la programació
- 3.1.13. Proves finals de l'embarcació
 - 3.1.13.1. Prova d'estanquitat, estabilitat i flotabilitat
 - 3.1.13.2. Prova dels controls
 - 3.1.13.2.1. Timó de direcció mecànica
 - 3.1.13.2.2. Propulsió
- 3.2. Problemes que ens hem trobat durant el procediment
 - 3.2.1. Problemes amb les solucions que hi hem trobat

4. Conclusions del treball
 - 4.1. Conclusions generals del treball
 - 4.1.1. Hem assolit els objectius?
 - 4.2. Conclusions experimentals
 - 4.2.1. Pràctiques
 - 4.2.2. Teòriques
 - 4.2.3. Comparació disseny-model obtingut
 - 4.3. Valoracions personals (subjectives) i globals
 - 4.3.1. Balanç
 - 4.4. Preu final del projecte
 - 4.5. Què milloràriem o faríem diferent ara que hem acabat? Nous temes pel futur
5. Bibliografia
 - 5.1. Llibres
 - 5.2. Internet (llocs web/videos)

ANNEX

- Materials
- Màquines o aparells

1. Introducció, presentació i bases teòriques

1.1. Introducció al projecte

1.2. Evolució en la tria

1.2.1. Dubtes inicials

D'ençà que vàrem iniciar la pluja d'idees per a la tria del tema del nostre treball de recerca vam tenir molts dubtes. Va ser una decisió que ens semblava de molta importància i que en cap cas volíem dur a terme de forma precipitada o imprudent. De fet, les idees que anàvem posant sobre la taula eren molt diverses i ens va costar molt esforç escollir-ne una que s'adaptés als nostres interessos i possibilitats en un nivell de batxillerat. El procés de tria va tenir diverses fases, ja que vam canviar fins a dues vegades de tema abans d'acabar triant-ne el definitiu, és per això que creiem important redactar el procés de tria, que en el nostre cas va resultar molt llarg i feixuc.

1.2.2. Aplicació mòbil (Àmbit comercial)

La idea inicial era fer una aplicació per a dispositius mòbils, ja que pensem que la informàtica és un camp que té molt futur i on encara hi ha coses per aportar i inventar. A causa del nostre interès per la programació i per l'anàlisi de la societat actual, vam decidir després de descartar moltes possibles *apps* que volíem crear una plataforma per involucrar-nos socialment en la nostra ciutat, Sant Cugat. La nostra idea era posar el nostre gra de sorra per a millorar Sant Cugat. Aquesta idea es basava en una *app* on l'usuari pogués avisar l'ajuntament de tot tipus de desperfectes que hi trobessin, com ara fonts que no funcionen, fanals que gasten massa llum, escombraries trencades, etc. La idea era introduir un sistema de geolocalització al programa de manera que es pogués fer una foto del desperfecte amb la seva ubicació per poder-la compartir amb l'ajuntament.

1.2.3. Ajuntament de sant Cugat

Després d'obtenir diversos contactes a partir de coneguts, vam aconseguir una reunió amb el director de tecnologia de l'Ajuntament de Sant Cugat, el que dirigia els programes web i *apps* de l'Ajuntament. Vam estar al voltant d'una hora explorant les opcions que teníem i explicant-li la nostra idea, tanmateix, ens va explicar que aquesta idea ja existia (s'anomenava Els Ulls de la Ciutat) en format web i que era una web molt senzilla i molt millorable, que no tenia la suficient qualitat per solucionar el problema. També ens va

explicar que havien contractat una empresa de programadors que en sis mesos publicarien una app amb moltes funcions, i una d'elles seria la versió millorada de "*Els Ulls de la Ciutat*" que era igual que la que nosaltres havíem ideat. Va ser aleshores quan vam intentar explorar altres aspectes per ajudar la ciutat amb una app, sense èxit.

1.2.4. Submarí

Davant la urgència de posar-nos a treballar per qüestions de temps vam retornar a una idea que ja ens havíem plantejat quan estàvem triant tema, que consistia a fer alguna cosa relacionada amb el mar. Se'ns va ocórrer fer un submarí que ens permetés estudiar el fons marí i que fos capaç de fer immersions i de moure's per l'aigua. Quan vam començar a cercar sobre submarins i els possibles mètodes de construcció que podíem dur a terme, ens vam adonar que el Bluetooth, mètode de comunicació que volíem utilitzar, no funciona a través de l'aigua a no ser que aquesta estigui desionitzada. També, una vegada vam començar amb la programació Arduino i vam anar al "FabLab", una escola que després explicarem amb major profunditat a demanar consell, vam decidir que tenint en compte l'electrònica necessària i la poca experiència que teníem era millor decantar-nos per la construcció d'un vaixell, on el problema de l'estanquitat es reduïa de manera considerable.

1.3. El nostre projecte definitiu

1.4. El Perquè de la nostra tria

1.4.1. Inspiració i motivació per a fer aquest projecte

1.4.1.1. Àmbit del batxillerat que fem

Ambdós, Àlex Martí i Pablo Iriarte fem un batxillerat purament tecnològic on estudiem matèries com la química, la física, les matemàtiques i la programació. Aquest conjunt d'assignatures escollides en el procés de selecció demostra les nostres inquietuds en l'àmbit escolar davant la tecnologia, la ciència i l'avantguarda. És per això, que hem cercat un projecte que combini aquests camps temàtics, arribant, d'aquesta manera, a la tria d'un treball on s'hi combinen el disseny i construcció d'una embarcació per ràdio-control utilitzant programes sofisticats de disseny per ordinador, impressions tridimensionals, programació Arduino i sistemes Bluetooth així com els factors que cal tenir en compte per a la tria dels materials, l'estabilitat i de la capacitat de conducció del vaixell.

1.4.1.2. Futurs estudis universitaris

Ambdós tenim prou decidit i pensat que farem un grau d'enginyeria, uns estudis que es basen en el disseny, reparació i construcció d'estructures, peces, transports i tot tipus de materials i maquinària. Així doncs, amb aquest petit projecte de recerca esperem adquirir coneixements, a petita escala, de com es realitza la construcció d'un objecte complex, des del seu disseny fins a la valoració del seu funcionament.

1.4.1.3. Un xic de passió i hobby

Des de la infància ens ha agradat construir coses, màquines així com desmuntar-les i tornar-les a muntar per a entendre'n el seu funcionament. Ambdós, grans fans dels jocs de construcció per peces, on, a partir d'unes instruccions escrites, muntàvem una forma, figura o estructura complexa. Així doncs, l'un amb una gran passió per la construcció de maquetes i estructures i la programació i l'altre pel mar, els vaixells i com a patró llicenciat, engegarem aquest projecte de recerca de batxillerat.

1.5. Definició inicial de la nostra idea

La nostra idea, així doncs, és dissenyar i construir una embarcació que es dirigeixi mitjançant un control remot assumint-ne els riscos que comporta la construcció d'un objecte dotat d'una electrònica complexa que ha d'ésser semisubmergible. El vaixell que volem elaborar haurà de disposar d'un sistema de propulsió mecànica i un control a distància basant-se en una programació electrònica que hem decidit que farem amb llenguatge "Arduino". Pel que fa al casc del vaixell, provarem dissenyar-lo amb un programa informàtic d'ordinador per a imprimir-lo posteriorment en tres dimensions. El projecte inclourà, també, les proves que durem a terme amb l'exemplar per tal d'evaluar-ne el seu funcionament.

1.5.1. Què és el sistema arduino

1.5.1.1. Definició

L'Arduino és un llenguatge de programació basat en l'ús d'una placa de circuit imprès que té com a objectiu facilitar el disseny de circuits electrònics amb microcontroladors. A partir d'aquí, l'Arduino ofereix moltíssimes opcions gràcies a la possibilitat d'afegir-hi plaques secundàries més especialitzades que ofereixen un gran nombre de possibilitats i funcions. En són exemples la placa Bluetooth, la placa sonar, la placa webcam, etc.

1.5.1.2. Tipus de placa existents

Existeixen diferents versions d'Arduino. En funció del nostre projecte podem triar la que s'adapti millor al projecte en qüestió:

- ❑ **Placa sèrie:** És la placa bàsica i fa servir una interfície que pot ser utilitzada, a més a més, per a la programació de la mateixa placa o per a comunicar-se amb altres elements externs que utilitzin el port sèrie, com per exemple un PC.
- ❑ **Placa USB:** És una evolució de la placa sèrie que incorpora un port USB per a comunicar-se amb el PC.
- ❑ **Placa de prototips:** Aquesta placa està pensada per a poder incorporar *hardware* addicional al disseny base de l'Arduino. Disposa d'una matriu de forats en la que s'hi pot afegir el nostre hardware addicional. No disposa de port sèrie ni USB, per la qual cosa és necessari disposar d'una altra placa per a programar el xip.
- ❑ **Bluetooth:** És l'última versió en la qual es treballa. Elimina la necessitat de cables per a comunicar-se amb el PC o qualsevol altre dispositiu electrònic que disposi de bluetooth, com per exemple un telèfon mòbil.

1.5.1.3. Entrades i sortides (PWM)

La placa base consta de 14 entrades que funcionen a una potència de 5 volts. Cadascun dels pins de la placa té unes característiques i funcions determinades. La meitat dels pins de la placa tenen una funció anomenada PWM que serà la que ens permetrà controlar els motors i regular-ne la velocitat. Aquesta tècnica PWM funciona encenent i apagant els motors en intervals molt petits de temps, de manera que passat un període de temps breu, la mitjana de la velocitat durant aquell interval sigui la que es desitgi. Prenent com a exemple la placa de 5 Volts (la més comuna) es pot ajustar la velocitat de rotació d'un motor simple segons la necessitat de l'usuari fent servir intervals de voltatge, aportant 5v quan s'utilitza el motor i 0 quan no s'utilitza.

1.5.2. Tipus d'embarcació

El nostre prototip d'embarcació no tripulada es pot classificar de forma general en el grup d'embarcacions d'esbarjo, i dins d'aquest, en el subgrup d'embarcacions especials, ja que la

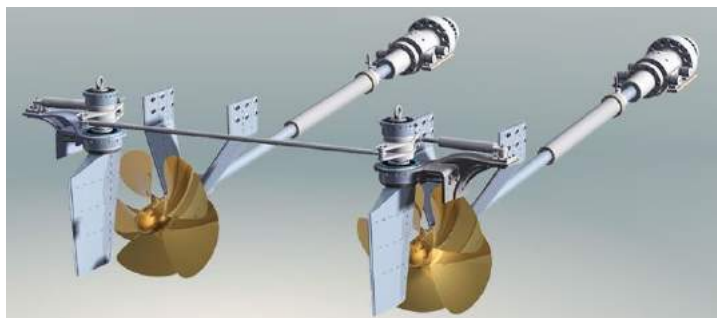
seva finalitat no és militar ni el transport de passatgers o càrrega de mercaderies. Quant al tipus d'embarcació segons el sistema de propulsió, hem decidit construir-ne una del tipus motoritzada perquè obtindrà energia cinètica gràcies a la conversió d'energia elèctrica mitjançant uns motors i unes hèlixs. Pel que fa a la forma de sustentació es pot classificar en "sustentada hidrostàticament" i dins d'aquesta en "de desplaçament convencional".

Hem dissenyat un model inicial procurant aportar-li un cert aspecte d'esportivitat i aerodinàmica, així com modern i futurista. Per a l'elaboració del disseny exterior, explicat amb més detall posteriorment, hem dut a terme una recerca a Internet relacionada amb "els vaixells del futur" on hem obtingut imatges de dissenys encara no existents però que han inspirat la nostra creativitat a l'hora de pensar un bon disseny per a l'exterior. Tots reunien les mateixes característiques: Eren dissenys molt simples i no gaire ornamentats. La majoria eren de colors foscos (negres i grisos) i en cap cas combinaven gaires gammes cromàtiques.



1.5.3. Propulsió i motorització

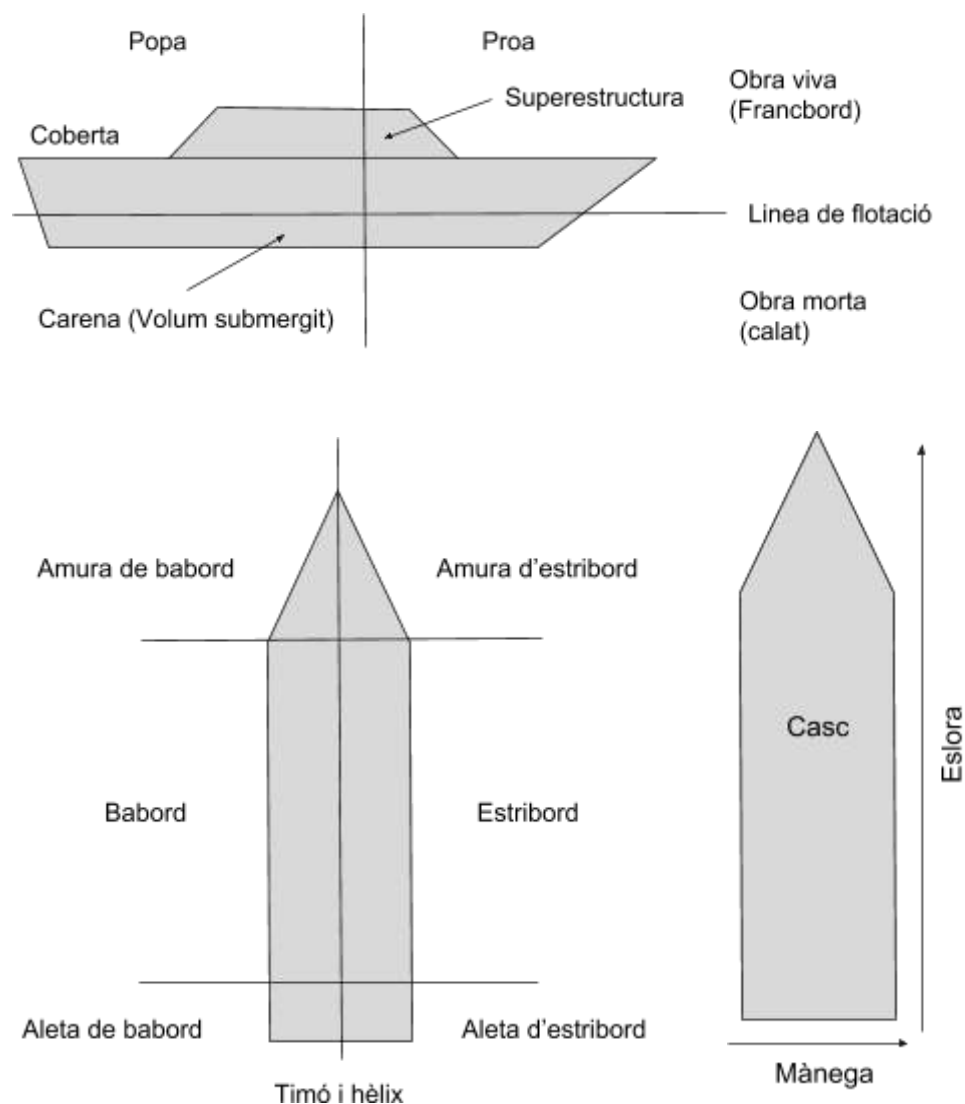
L'embarcació que volem construir no funcionarà amb un sistema de propulsió mitjançant la força humana ni eòlica sinó que es desplaçarà gràcies a una força dinàmica. Els vaixells que funcionen mitjançant la força mecànica poden estar propulsats per diferents tipus de motors: Turbina de vapor, turbina de gas, motor dièsel, motor elèctric o sistema de propulsió per energia nuclear. En el nostre cas, el vaixell comptarà amb dos motors elèctrics de 12 volts extrets, com més tard explicarem, d'unes impressores de l'escola. Aquests motors disposen d'un rendiment notablement alt però numèricament desconegut. Al cilindre de sortida d'aquests motors (de diàmetre "x") se'ls unirà, mitjançant



una peça metàl·lica amb dos forats de diàmetres “x” i “y”, una bara metàl·lica d’una longitud “z” i diàmetre “y” al final dels quals s’hi fixaran les hèlixs.

1.5.4. Parts d’un vaixell (Nomenclatura nàutica)

A continuació, trobem diversos esquemes de les parts i seccions d’un vaixell que hem realitzat perquè considerem molt important presentar quines són les parts que integren una embarcació per a poder parlar amb major propietat i usar un vocabulari més específic i adequat durant el treball.



1.5.5. Comportament de l'aigua marina com a medi líquid

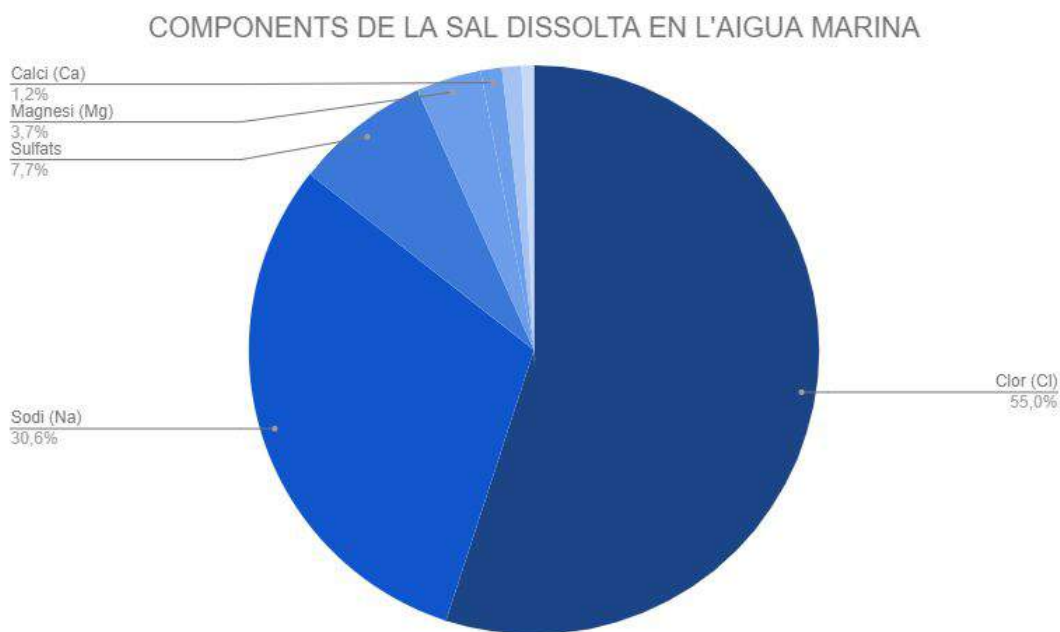
L'aigua de mar o aigua salada, que és el medi pel qual es desplaçarà el nostre vaixell, és una solució basada en aigua que compon els oceans i mars de la Terra. És salada per l'alta concentració de sals minerals dissoltes que hi conté, un 35% (3,5% o 35 g / L) com a mitjana. La densitat mitjana en superfície és d'1,025 g / ml, sent més densa que l'aigua dolça i l'aigua pura. A major contingut en sal més baix és el seu punt de congelació, de manera que l'aigua del mar es converteix en gel sota els -2 ° C. Per tant, el nostre vaixell haurà de fer front a unes condicions d'humitat alta, grans concentracions de sal i poder navegar en aigües les temperatures de les quals no siguin inferiors als 2 graus sota zero.

1.5.5.1. Densitat i Fricció

Qualsevol aparell que hagi de mantenir-se en moviment en un medi no-ideal, està exposat a una força de fricció, la intensitat de la qual depèn de la densitat del material en què ha de desplaçar-se i de la morfologia de l'artefacte que realitza el desplaçament. Així doncs, el nostre vaixell ha de tenir la potència necessària per poder avançar malgrat l'esforç de resistència que fa l'aigua sobre el cos. També experimenta fregament amb l'aire, però, al costat del que li fa l'aigua, és gairebé negligible.

1.5.5.2. Salinitat i oxidació

L'aigua de mar presenta una elevada conductivitat elèctrica, a la qual hi contribueixen la polaritat de l'aigua i l'abundància d'ions dissolts. Les sals en aigua es dissocien en ions. Un ió és un àtom amb càrrega elèctrica, sigui positiva o negativa, i que, per tant, intercanvia electrons amb el medi: poden absorbir i alliberar electrons a les molècules veïnes. La conductivitat de l'aigua varia sobretot amb la temperatura i la salinitat (a major salinitat, major conductivitat), i el mesurament permet, una vegada controlada la temperatura, conèixer la salinitat. Així doncs, l'aigua suposa un gran inconvenient per a l'electrònica, doncs un circuit electrònic pot deixar de funcionar en qüestió de segons si entra en contacte amb aigua. A més, l'aigua salada està composta per molècules d'aigua (H₂O) però també de sal (NaCl), un compost iònic que deteriora molt els objectes. També hi trobem dissolts altres elements i substàncies però en menors quantitats. El següent gràfic mostra els components de les sals que trobem dissoltes en l'aigua:



1.5.6. Que vol dir que es dirigirà per control remot?

Això vol dir que serem nosaltres mateixos qui controlarem el nostre vaixell des d'una distancia determinada, a partir de qualssevol dispositiu mòbil o "tauleta" emparant el Bluetooth, és a dir, sense utilitzar cap cable que connecti la nau amb aquest dispositiu.

El telecomandament o telecontrol consisteix en l'enviament d'indicacions a distància mitjançant un enllaç de transmissió (per exemple, a través de cables, ràdio, Bluetooth...), emprant ordres enviades per controlar un sistema o sistemes remots que no estan directament connectats al lloc des d'on s'envia el telecomandament. La paraula ve de dues arrels *tele* = distància (grec), i *commandament* = encomanar/comandar (llatí).

1.5.6.1. Tipus de control remot existents

En el control remot l'emissor transmet ordres als electrodomèstics o altres aparells electrònics a través d'infraroigs o tecnologies semblants. Així doncs, el control remot pot dur-se a terme per infraroigs, Wifil o Bluetooth. S'utilitza la radiació infraroja, inventada per Robert Adler per evitar interferències amb les ones de ràdio i microones utilitzades per molts altres dispositius (telèfons mòbils, televisors, GPS, els estàndards Wifi, Bluetooth...). Les bases del control remot per infraroigs en el seu estat més simple les trobem en els comandaments de les televisions, on el comandament envia des de la punta una ona infraroja al receptor que té la

televisió. Aquest mètode però, a l'igual que el Wifi, té molt poc abast en termes de distància, es per això que ens hem acabat decantant per utilitzar el sistema Bluetooth.

1.5.6.2. Bluetooth (Tipus de control escollit)

El Bluetooth és una especificació industrial per les Xarxes d'Àmbit Personal (PAN, Personal Area Network) sense fil, que bàsicament vol dir que serveix per connectar els dispositius que es pot portar a sobre o a una distància pròxima. Amb el Bluetooth es pot obtenir una forma de connectar i intercanviar informació entre dispositius com telèfons mòbils, ordinadors, portàtils, impressores i càmeres digitals a través d'una forma segura, de baix cost mitjançant ones de ràdio de baixa freqüència.

El Bluetooth permet a aquests dispositius comunicar-se quan es troben a l'abast, encara que no estiguin a la mateixa habitació, fins a un límit de 100 metres entre ells depenent de la classe de potència del producte. Els productes poden estar disponibles en alguna d'aquestes tres classes de potència:

- ❑ Classe 1 (100 mW): Té l'abast més gran, de fins a 100 metres tot i que el consum és més elevat.
- ❑ Classe 2 (2.5 mW): És la més comuna i ens permet una distància de fins a 10 metres
- ❑ Classe 3 (1 mW): És la menys usual i ens permet una transmissió de 10 centímetres a un màxim d'1 metre.

1.5.7. FabLab (Formació per al projecte)

Un FabLab (acrònim de l'anglès Fabrication Laboratory o Fabulous Laboratory) és un taller de fabricació digital d'ús personal, és a dir, un espai de producció d'objectes físics a escala personal o local que agrupa màquines controlades per ordinadors. La seva particularitat resideix en la seva grandària i en la seva forta vinculació amb la societat més que amb la indústria. Aquest tipus de taller, a Sant Cugat, està situat a ESADE Creapolis. Gràcies a un contacte familiar vam aconseguir realitzar unes classes a càrrec d'un programador expert en Arduino; les aules disposaven de moltes eines digitals i mecàniques que



ens van resultar de molta utilitat. Vam realitzar dues sessions d'1,5 hores per tal d'adquirir un bon nivell en el llenguatge de programació Arduino.

2. Objectius del nostre projecte

Ens hem proposat uns objectius principals que hem decidit dividir en tres grups fonamentals:

- ❖ El primer, és aconseguir construir una embarcació eficient i funcional, entenent com a eficiència un disseny modern i avantguardista, aerodinàmic i estable, que contingui totes les parts indispensables d'un vaixell, així com les característiques principals d'aquests, és a dir, que suri, que navegui correctament i que efectivament sigui estanc i disposi d'una certa estabilitat. Per funcionalitat entenem que sigui de fàcil control i que disposi de totes les comoditats per al seu ús, com ara un sistema de càrrega de bateries senzill, i un disseny exterior rígid i no massa recarregat ni delicat.
- ❖ En segon lloc, pel que fa als aspectes més pràctics i tècnics, ens agradaria aconseguir un bon mètode de propulsió, gir i un circuit elèctric capaç de generar energia cinètica que permeti la navegació de la nau a partir de l'energia elèctrica proporcionada per la bateria. Ens agradaria, també, considerar com a objectiu la possibilitat de realització del projecte, és a dir, la capacitat de poder fer realitat el disseny plantejat i aconseguir dirigir a distància la nostra construcció, sigui de la forma que sigui, però mitjançant qualsevol dispositiu mòbil. Els punts més tècnics que conformen a grans trets aquests objectius apareixen exposats a continuació en una llista de pics:
 - Reutilitzar els motors de la impressora proporcionada per l'escola.
 - Aconseguir un disseny que sigui estanc, estable i suri.
 - Construir mitjançant la impressió tridimensional un casc pràctic i estètic (aerodinàmic, futurista).
 - Elaborar un circuit elèctric que funcioni a partir del material Arduino, una bateria i els motors de impressora.
 - Programar nosaltres mateixos el sistema elèctric.
 - Encabir el sistema elèctric dins l'embarcació i fer-ne una bona distribució dels pesos per a aconseguir-ne el màxim rendiment i flotabilitat.
 - Disposar d'un bon sistema de càrrega per a la bateria.
 - Aconseguir realitzar un sistema de control remot no gaire complex per a conduir el vaixell mitjançant qualsevol dispositiu mòbil.

- Aconseguir la navegació de la nau, incloent-hi la possibilitat d'avanç cap endavant, enrere, a un costat i a l'altre.
 - Dur a terme proves del prototip i poder-ne fer un anàlisi del seu funcionament.
- ❖ També, com a objectiu lúdic esperem realitzar un projecte ordenat i ben temporitzat, on s'hi pugui trobar un mètode clar, objectiu i extremadament pautat de disseny i construcció. Pel que fa als nostres objectius de caràcter més personal i subjectiu, ens agradaria aprendre a petita escala com funciona la construcció d'un artefacte o dispositiu des de la idea inicial fins al final de la mateixa construcció, des d'una idea i un primer disseny fins a una valoració final del seu funcionament. Així doncs, considerem aquest projecte com una presa de contacte amb el món del disseny, la indústria i l'enginyeria. També creiem que suposa una gran oportunitat per a fer una pràctica a petita escala de com funcionen aquests procediments a la vida laboral.

3. Procediments i construcció (Cos de la memòria)

3.1. Passos per a la construcció

3.1.1. Pluja d'idees o "brainstorming"

Per a dur a terme una bona organització en el projecte hem considerat veritablement necessari començar realitzant una pluja d'idees pel que fa als aspectes més concrets en el disseny de la nostra embarcació. Tanmateix, ens ha calgut, a priori, cercar informació a internet per a poder prendre decisions més encertades en alguns aspectes de caire tècnic que posteriorment desenvoluparem amb major profunditat. Gràcies a la pluja d'idees inicials hem pogut pautar més exactament alguns matisos com ara la morfologia final del casc, tenint en compte les seves mides (eslora i mànega) i la forma i pes que tenen els motors, bateria i sistema elèctric. També hem determinat la ubicació del motors i les hèlixs així com la forma de la coberta i l'interior per a optimitzar-ne el rendiment i assegurar-ne la flotabilitat. Ha estat amb paper i bolígraf com hem enregistrat aquests punts a partir dels quals elaborarem el nostre disseny inicial.

3.1.2. Selecció de la millor idea sobre el vaixell

Abans de fer els primers esbossos i el corquis, ens ha fet falta, d'alguna manera, estructurar el procediment que seguirem. Per això ha estat crucial començar tenint present una primera idea de la forma i el volum dels sistemes elèctrics i de propulsió per després elaborar a ordinador el disseny final del casc. El fet de començar el vaixell des de zero implica la necessitat de seguir una línia de treball el més elaborada possible en la que cal anar definint els passos següents a partir dels anteriors i el que es té fins aquell punt. És important tenir en compte que no podem saltar-nos aquest procediment i anar directament al disseny final perquè la probabilitat de cometre errors i negligències creixeria exponencialment.

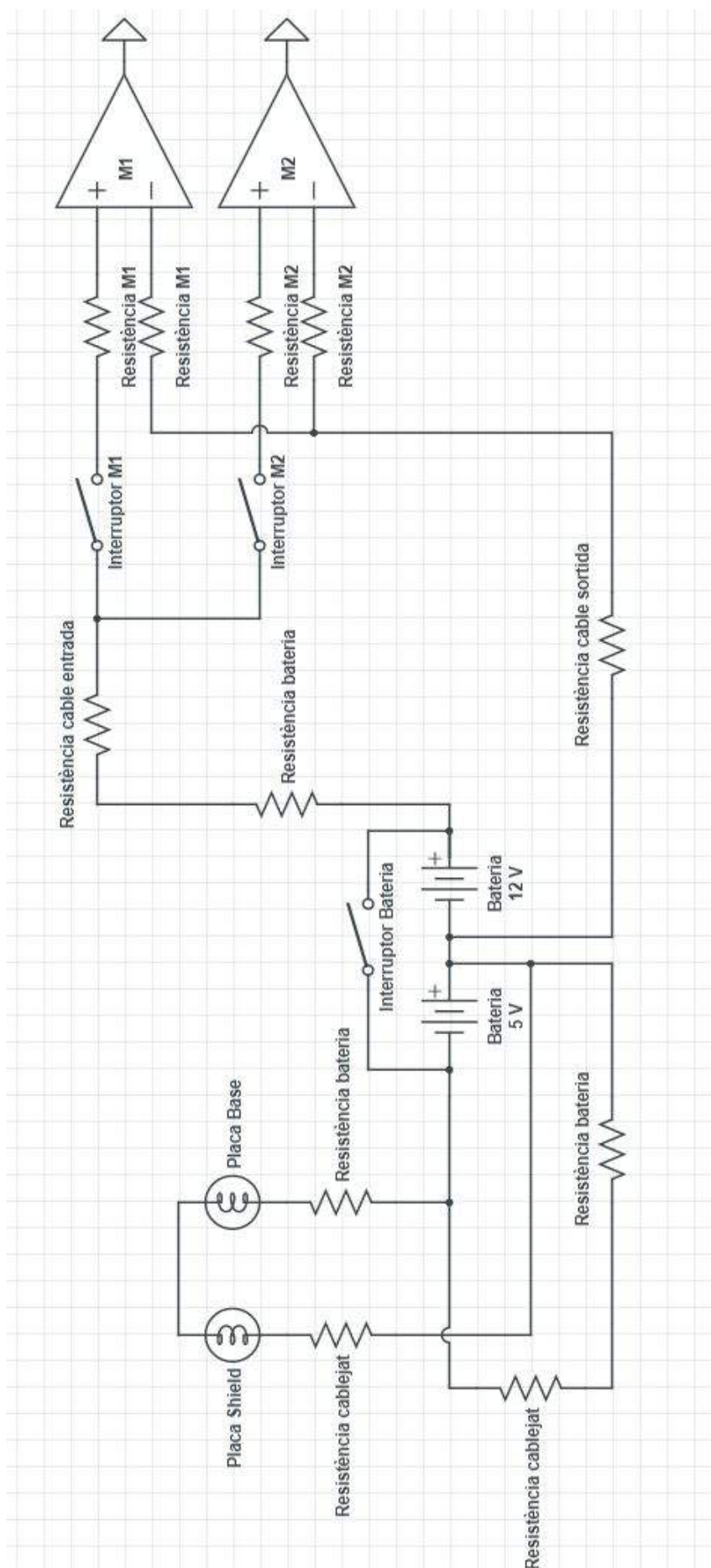
3.1.3. Primers esbossos

Vam realitzar els primers esbossos a paper, amb un llapis de grafit. La idea era determinar d'una manera senzilla i a "*grosso modo*" les característiques bàsiques que tindrien els dissenys definitius de la nostra nau. Aquest procés també va servir per a donar-nos una idea de la possible forma que podria adquirir el nostre vaixell.

3.1.4. Tipus de pla emparats

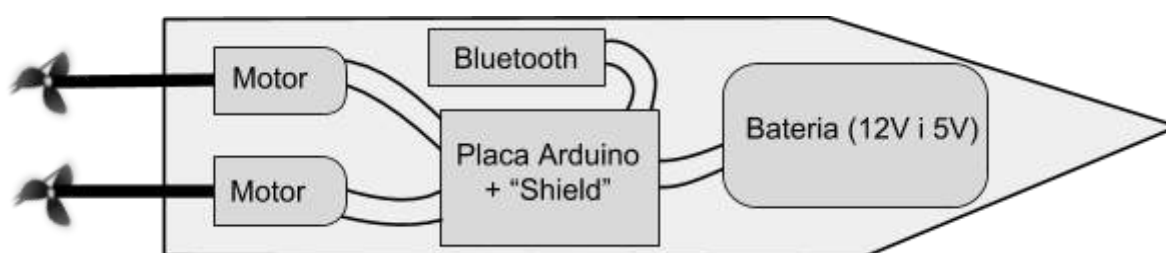
- Pla Elèctric (circuit)

El nostre circuit estarà accionat per una bateria que proporcionarà un voltatge constant de 5 i 12 volts amb una resistència interna negligible. També considerarem negligible la resistència interna dels cables de coure per on circulen els electrons. La bateria consta de dos pols, un de positiu d'on surt el corrent i un de negatiu que es coneix com a "ground". La sortida de 5V proporcionarà corrent a la placa *shield*, i a la placa base que únicament consumeixen energia. La bateria de 12V accionarà els dos motors, que també tenen les seves resistències respectives. Els motors tenen dues entrades, la positiva i la negativa.



- **Pla bidimensional (pla zenital de la distribució dels objectes)**

Com es pot veure a la imatge, la intenció de realitzar aquest tipus de plànol és poder aprofitar de la millor manera l'espai disponible dins del casc del vaixell. Hem decidit posar la bateria al davant per deixar espai al darrere per als motors. Ambdós, la bateria i els motors són els objectes més pesats que haurà de transportar el vaixell, és per això, que els hem situat als extrems (popa i proa). La "intel·ligència" (placa Bluetooth, arduino i el *shield*) de la nau estarà establerta al mig d'aquesta, ja que és la part més accessible i la més segura en cas que entrés aigua accidentalment.



Esquema de la planta del vaixell a no escala

- **Pla tridimensional (impresora 3D)**

Aquest pla mostra una visió en 3 dimensions del model de vaixell que volem construir i està realitzat mitjançant totes les idees recollides en els processos anteriors:



3.1.5. Construcció del Sistema Elèctric

3.1.5.1. Reunió del material necessari

El material que hem utilitzat per fer el nostre projecte prové de llocs diferents. La major part dels materials els hem aconseguit a través de la web internacional de compra "Amazon" que disposa d'una gran selecció de productes per a escollir. També vam emprar dues impressores espatllades que l'escola (Frederic Mistral Tècnic Eulàlia) ens va oferir gràcies a la col·laboració del departament d'informàtica de la mateixa. D'aquestes impressores vam extreure'n els motors de 12v i diversos cables. A més, també hem utilitzat la impressora 3D que ens ha proveït el Ramon Fuster per a imprimir el casc del vaixell.



3.1.5.1.1. Descripció, procedència, pes i preu dels materials

Annex (taula)

3.1.5.1.2. Descripció i procedència de la maquinaria emprada

Annex (taula)

3.1.6. Instal·lació del sistema elèctric a l'embarcació

El sistema electrònic és bastant complex, ja que compta amb diverses parts que hem hagut de programar i muntar juntes. Aquest sistema està compost per la unió de les següents peces (*l'listat breu a continuació*), que s'han d'encaixar mitjançant soldadures i unions de cable diverses i que resulten certament complicades, pel que en alguns casos ens farà falta l'ajuda de maquinària i diferents aparells.

- ❑ Placa base arduino

- ❑ *Shield* Arduino
- ❑ Mòdul Bluetooth Arduino
- ❑ Bateria 12V i 5V amb carregador
- ❑ Cables de coure
- ❑ Estany sòlid per soldar
- ❑ Motors de 12 V
- ❑ Vares de Ferro d'acer inoxidable
- ❑ Adaptadors metàl·lics
- ❑ Hèlixs de plàstic

(Els materials estan explicats i especificats a la taula del annex, així com el seu pes i cost)

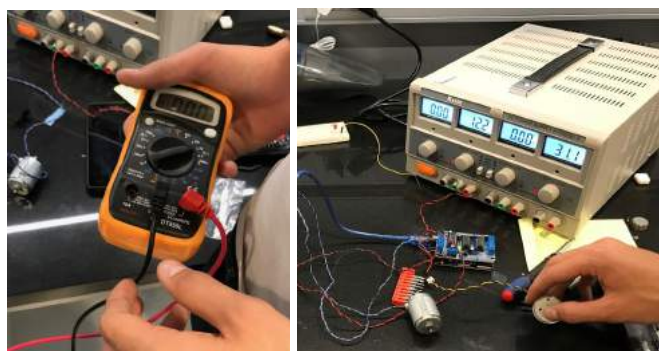
Per ajuntar totes aquestes peces i crear el nostre sistema electrònic vam seguir els següents passos (Al marge de la programació que vam fer abans de tot això):



Imatges del nostre lloc de treball a FabLab Sant Cugat

3.1.6.1. Determinació de la potència i el voltatge dels motors

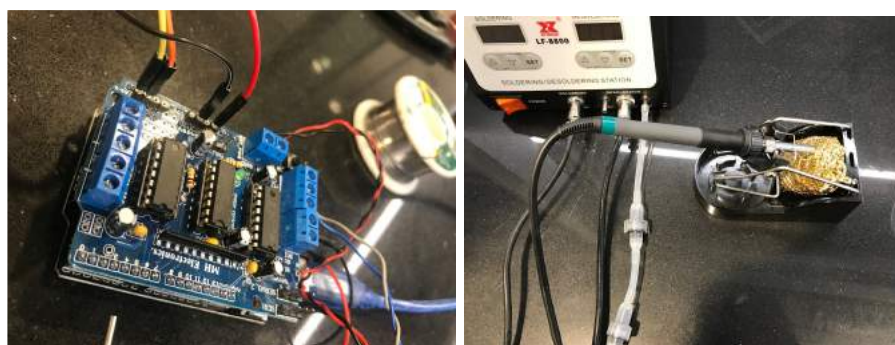
Primer de tot, a causa de la poca informació que disposàvem sobre el funcionament dels motors extrets de les impressores d'escola, va escaure mesurar amb un polímetre i amb un comprovador de tensió el voltatge i la intensitat dels motors. D'aquesta manera, vam poder determinar amb major precisió que eren de 12V, per tant vam saber que la bateria hauria de ser també de 12V com a mínim i recarregable si era possible.



3.1.6.2. Instal·lació de la placa “*Shield*” sobre la placa Base

Per la programació i l'ús dels motors, vam comprar una placa shield d'Arduino que està més especialitzada a aquests i al control de la seva direcció i velocitat. Llavors, vam acoblar a la placa base el *shield* Arduino, que s'uneix a la part superior de la primera. Vam haver d'afegir manualment ports PWM a sobre el *shield*, ja que no en teníem suficients a causa que aquesta tapa la majoria dels ports disponibles que conté la placa base. També vam haver de soldar al *shield* uns ports extres amb la soldadora i una mica d'estany perquè el corrent elèctric pogués fluir per ell.

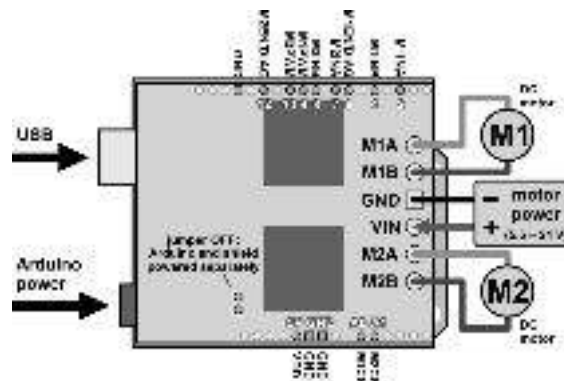
La placa base d'Arduino controla tot allò electrònic a través del mòdul de Bluetooth del qual rebrà totes les ordres que enviem. Llavors, és essencial que aquesta placa estigui al centre del vaixell. La placa és la convencional, l'Arduino UNO (model obtingut per Elegoo a través d'Amazon).



3.1.6.3. Instal·lació dels motors

Després, vam utilitzar dues de les quatre sortides que conté el *shield* per a connectar els motors a través de cables (dos per cada motor: un de positiu i un de negatiu). Els cables de coure que van fins als motors també són reutilitzats de la mateixa impressora que vam

desmuntar. Els vam soldar amb estany i una soldadora als motors per tenir una bona connexió resistent i fiable. Llavors, vam emparar els motors, i els vam connectar amb els cables de coure al *shield* Arduino, on mitjançant caragols vam acabar la connexió amb la placa. Va escaure soldar els cables de coure amb els motors per aconseguir una connexió fiable i perfectament funcional.

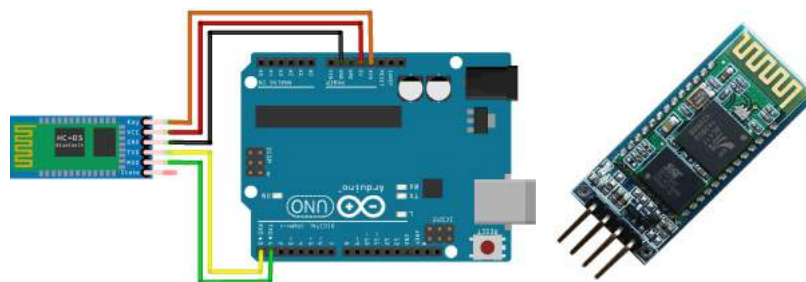


Esquema connexió motors al arduino

Com podem veure a la imatge, els motors (M1 i M2) estan connectats a les sortides amb un cable negatiu (fosc) i un de positiu (ocupant-ne 4 sortides en total).

3.1.6.4. Instal·lació de la placa Bluetooth

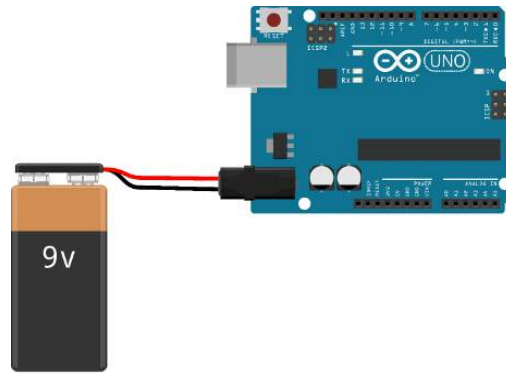
Després, utilitzant els ports "extra" que havíem acoblat al shield, vam enllaçar el mòdul Bluetooth a la placa base mitjançant quatre cables. Dos d'aquests cables estan connectats al transmissor i al receptor mentre que els altres dos estan connectats a la potència d'entrada i a la de sortida, coneguda com a "ground". A la placa Arduino, el transmissor i el receptor tenen els seus pins, mentre que el de la potència anirà a un dels pins que hem afegit amb la màquina de soldar sobre el shield. Amb la següent imatge, veiem com funcionen les connexions de manera esquematitzada.



Procediment de connexió de la bateria a la placa base

3.1.6.5. Instal·lació de la bateria

Tot seguit vam connectar la bateria al arduino per a donar-li la potència necessària per a funcionar (5V) i també vam utilitzar i modificar el seu carregador per connectar-la al *shield* on hi dóna 12V pels motors.



Procediment de connexió de la bateria a la placa base

3.1.6.6. Muntatge del sistema de propulsió (instal·lació de les hèlix)

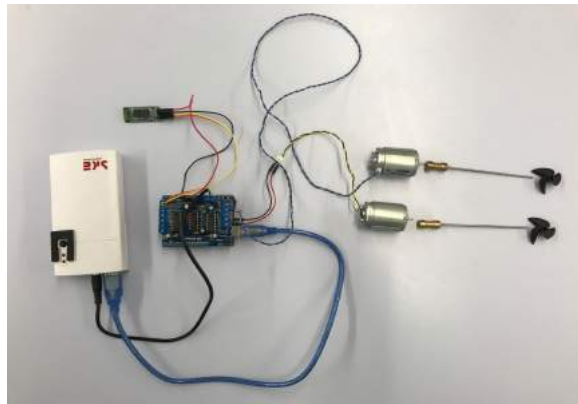


A cada motor, se li hi connecta un adaptador (3 mm, 3 mm) i s'ajusta a l'eix que surt del motor. Tot seguit, se li connecta a l'altra banda de l'adaptador, l'eix de 100 mm, i al final d'aquest segon eix, una hèlix. Aquesta, amb cola d'alta efectivitat està unida a l'eix. Per fer això, hem emparat la silicona de la pistola i hem ajuntat l'eix amb l'interior de l'hèlix, que tenia un diàmetre interior superior al diàmetre de l'hèlix. Hem introduït silicona a l'espai entre

els dos diàmetres i l'hem deixat assecar. També ens hem ajudat de “superglue” per tenir més resistència. Les hèlixs són dextrogiros.

3.1.6.7. Instal·lació final, unió de totes les peces

Finalment, les connexions i el sistema elèctric van quedar així: *(fotografia a sota)*. En els passos següents vam centrar-nos en el casc.

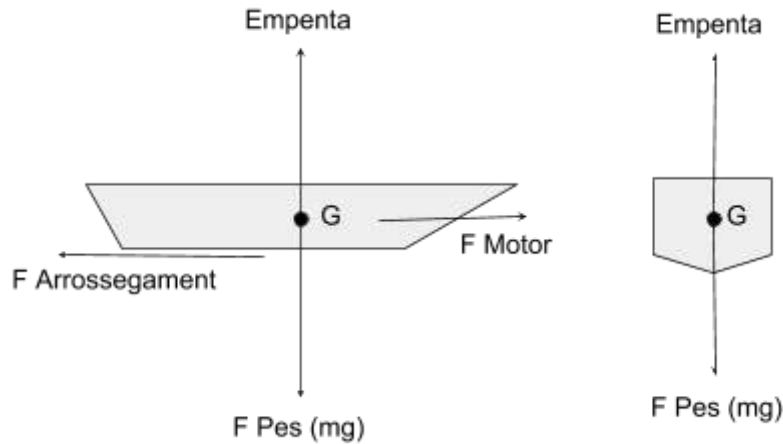


Imatge de la xarxa elèctrica construïda (incloent-hi els motors i bateria)

3.1.7. Elaboració del casc de la nau

3.1.7.1. Aspectes tècnics i forces que hi interactuen

Del casc en depenen la flotabilitat, estabilitat i bon funcionament del vaixell, per tant és una de les parts més importants del nostre projecte. Les conseqüències d'un petit error en el disseny d'aquesta delicada part poden ser molt greus per al desenvolupament del programa, així doncs, cada petit detall en el disseny del casc conta, així com la seva morfologia i la seva estructura. D'aquesta manera, ens hem fixat en els vaixells grans que podem trobar al mar, rius i llacs de Catalunya.



Esquema de les forces que interactuen amb l'embarcació

A continuació, hi tenim presentades les equacions que hem fet servir per a calcular la força necessària que ha de realitzar el motor per a vèncer la resistència que ofereix l'aigua i aconseguir desplaçar-se; També hi hem calculat la proporció entre la massa que carrega el vaixell i el volum que queda submergit. Hem fet l'esquema de forces en l'eix vertical i horitzontal, aplicant el principi d'Arquimedes pel que fa al volum submergit.

$$\Sigma F_x = 0$$

$$F_{mot} > F_{arr} \text{ si } a \neq 0$$

$$F_{mot} = F_{arr} \text{ si } v = k$$

$$\Sigma F_x = 0$$

$$F_{mot} - F_{arr} = 0$$

$$F_{mot} = F_{arr} [N]$$

$$\Sigma F_y = 0$$

$$E - mg = 0$$

$$E = mg$$

$$\rho V_{sub} g = mg$$

$$\rho V_{sub} = m$$

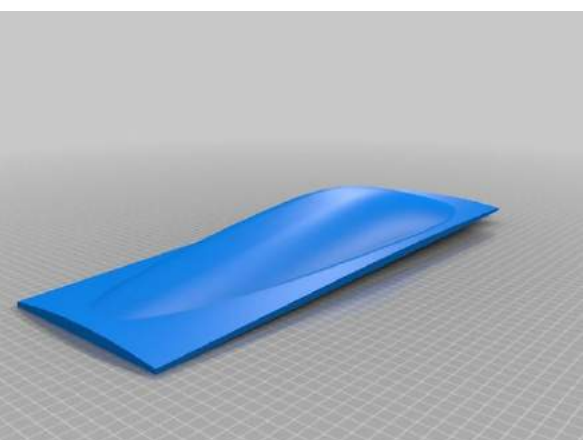
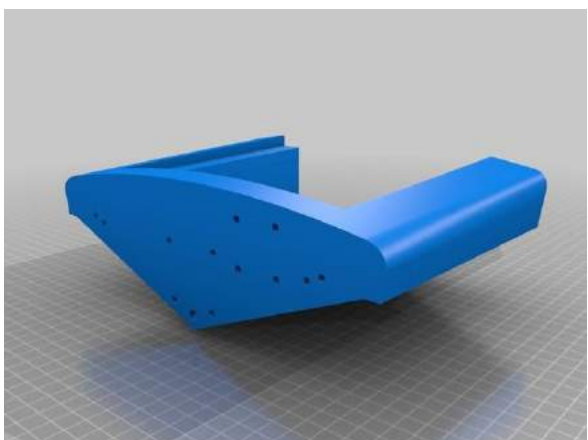
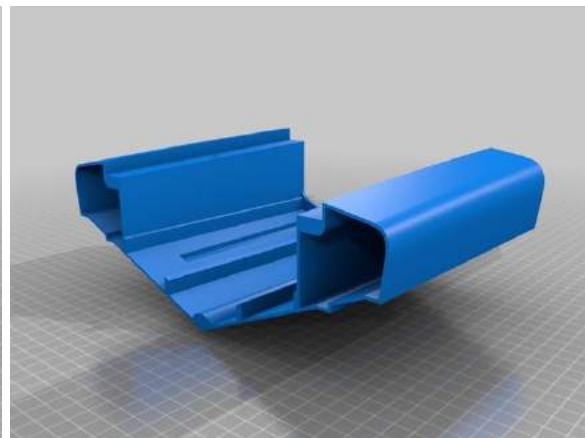
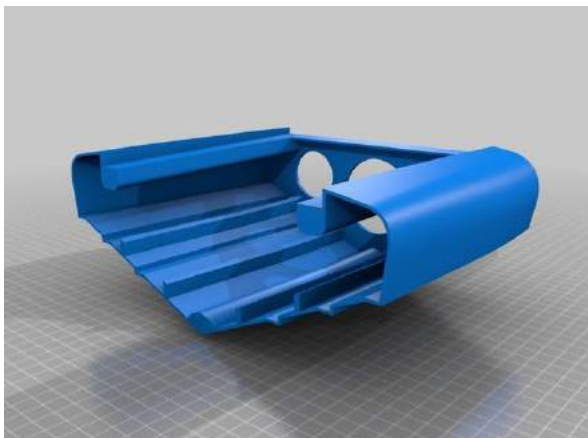
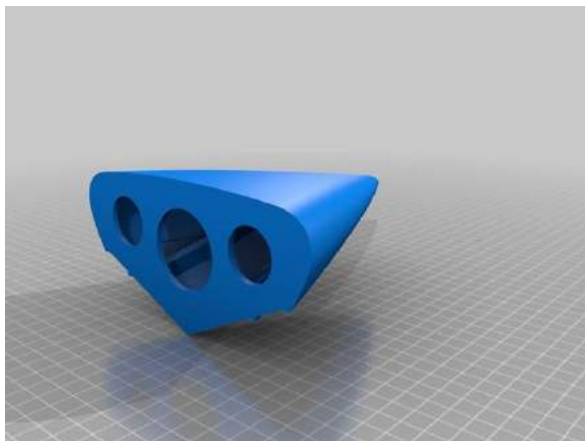
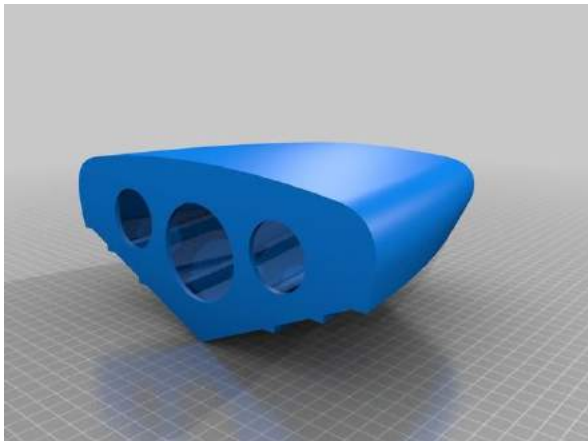
$$m = V_{sub} [kg/l]$$

3.1.7.2. Disseny del casc amb un programa informàtic

L'embarcació té una línia moderna, futurista, aerodinàmica, esportiva i simple que ens ofereix una impressió de netedat i simplicitat. Per a aconseguir aquestes característiques, vam començar realitzant cursos de formació online gratuïts, així com tutorials i vídeos a internet per a saber fer funcionar un programa de disseny 3D assistit per ordinador anomenat "Fusion 360". Aquest programa resulta gratuït per a estudiants com nosaltres,

només cal introduir-hi a la pàgina del registre i descàrrega el nom del centre on estudiem. Al adonar-nos de la complexitat que suposava dur a terme el disseny, vam arribar a una web que contenia dissenys ja realitzats, anomenada Thingiverse, d'on vam extreure el nostre disseny. Després de revisar-lo, observar-lo i valorar-lo, vam decidir que seria el millor candidat per al nostre projecte.

El casc del nostre vaixell està format per 6 peces estructurals: Una tapa i 5 peces que configuren el casc de l'embarcació. A continuació, trobem una foto del disseny individual de cada una d'aquestes peces:



Un cop vam descarregar-nos les peces, vam portar els arxius a l'escola Ramon Fuster, on, a partir d'un ordinador especial vam poder obrir i escalar els arxius per a preparar-los per a la impressió. Aquesta escala va ser del 55%, ja que el model inicial era massa gran i no cavia a les plataformes d'impressió.

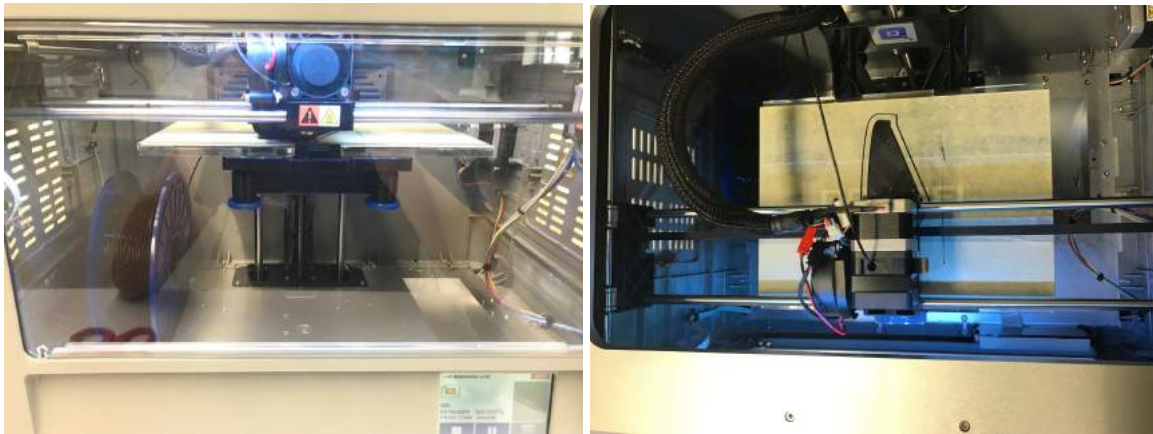


3.1.7.3. Impressió en 3D del casc

Per a construir el disseny prèviament elaborat vam emprar una impressora de 3 dimensions que ens va facilitar la mateixa Fundació Collserola, a l'escola Ramon Fuster de Bellaterra. Les impressores 3D requereixen molt temps per a imprimir qualsevol peça, la nostra impressió, en particular, va tenir una duració total de més de 5 dies. En aquesta fase, la impressió, ens vam trobar amb bastants problemes i inconvenients. El primer va ser, l'elecció del material, però vam acabar optant pel filament de la marca comercial "Dremel", de diàmetre 1,75 mm. Aquest filament està fet d'un material anomenat PLA o àcid poli-làctic, un polímer derivat de l'àcid làctic que es produeix a partir de recursos 100% renovables (blat, remolatxa, blat de moro i altres productes rics en almidó). Té una densitat d'1,25 g/cm³ i el seu punt de fusió, oscil·la entre els 120 i els 170 graus. Té un percentatge d'elongació molt superiors als d'altres plàstics derivats del petroli, cada rotlle disposa de 162 metres de filament, i per al nostre projecte n'hem necessitat aproximadament 1 i mig, el que ens duu a una despesa d'uns 243 metres de filament



Dremel. Hem decidit emprar el color negre, perquè creiem que és un color elegant, que aporta modernitat i uniformitat a embarcació. Un cop vam obrir el document en format, ens vam adonar que no hi cabia a la impressora per culpa de les mides, que passaven dels límits permesos de la plataforma d'impressió, així doncs, vam haver d'ajustar l'escala al 55% com hem explicat prèviament. El següent problema va ser que es necessitaven molts suports per a sostenir la figura impresa per la seva forma, però vam descobrir que reorientant-la i posant-la al revés, passava a ser una figura molt més estable.



3.1.7.4. Muntatge del casc

Un cop vam tenir impreses les 9 peces que conformen el casc va caldre ajuntar-les, per això, ens va fer falta una cola anomenada "Araldite ràpid", formada per dos components separats: Una resina i un enduridor que reaccionen a barrejar-se. Amb un procés d'enduriment molt breu, és ideal per a unions ràpides. A més omple tot tipus de cavitats que hi hagi entre les dues superfícies a acoblar. Uneix pràcticament tots els materials amb excepció d'uns pocs tipus de plàstics. Resisteix temperatures des de -30 °C a + 65 °C, i masses de fins a 320 kg / cm², també és resistent a la majoria de dissolvents orgànics i inorgànics, així com a cops i vibracions.



3.1.8. Distribució del sistema elèctric

El sistema elèctric va estar posat de tal manera que s'impedeix qualsevol contacte amb l'aigua que suposaria un considerable perill pel nostre vaixell. Vam intentar distribuir al llarg de l'eslora de la nau tot allò que podia resultar afectat per l'aigua de manera molt pensada tenint en compte, també, altres factors com ara la distribució equilibrada del pes al llarg del vaixell així com les necessitats de connexió dels diferents aparells que integren el sistema electrònic Arduino. De fet, per un tema d'espai i de distribució de pesos, vam foradar una part interna del vaixell que estava buida per poder posar-hi la bateria com es veu en la imatge inferior. Vam emprar una serra i una soldadora per fer aquest "forat". Després, vam distribuir les peces de manera que la bateria queda al davant amb el cable gruixut al costat plegat amb cintes i gomes de pollastre. Al mig està la part Arduino amb la placa, el shield i el Bluetooth amb les seves connexions pertinents. Finalment, a darrere estan els dos motors que seran la base de la propulsió de la nostra llanxa. Cal remarcar que per fer les proves en finals del vaixell en l'aigua, vam posar tot lo elèctric menys la bateria en una bossa de plàstic per protegir-ho més.

3.1.9. Distribució del pes

Per a no posar en perill l'estabilitat de l'embarcació, cal que tots els pesos estiguin ben equilibrats, es per això que vam intentar aplicar tot allò que hem après a física i una tècnica que és necessària en qualsevol tipus de treball d'aquest tipus: la prova i error. Vam distribuir els pesos de manera que la bateria quedava al mig. Al centre vam situar l'Arduino i el *shield*, mentre que els motors van quedar a la part del darrere, un a cada costat, perfectament alineats.



3.1.10. Tapa del casc i muntatge de l'estructura sobre la coberta

Hem hagut d'imprimir la tapa a FabLab, ja que la impressora d'escola no tenia les dimensions suficients per a poder imprimir-la. Per segellar la tapa al casc, vam fer servir 6 cargols. A la superfície de contacte entre el casc i la tapa hi hem posat una espuma d'alta densitat per a prevenir-ne l'entrada accidental d'aigua.

3.1.11. Antifouling i pintura

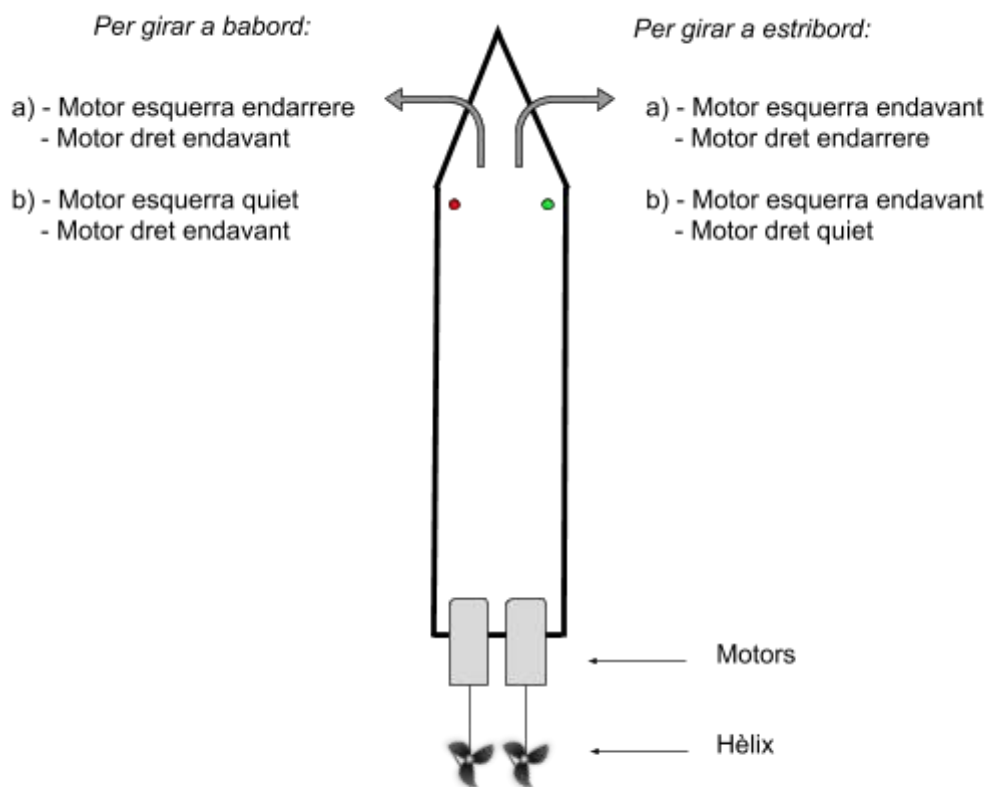
Per a prevenir l'osmosi hauríem d'haver emprat una pintura "antifouling", però a causa del seu preu elevat, la dificultat d'obtenir el producte i a la curta durada que el vaixell romandria a l'aigua, vam pensar que no faria falta. Tanmateix, vam recobrir el vaixell amb pintura de color negre mat en forma d'esprai per a donar-li consistència, resistència i un component estètic.



3.1.12. Elaboració del control remot amb la app i la programació

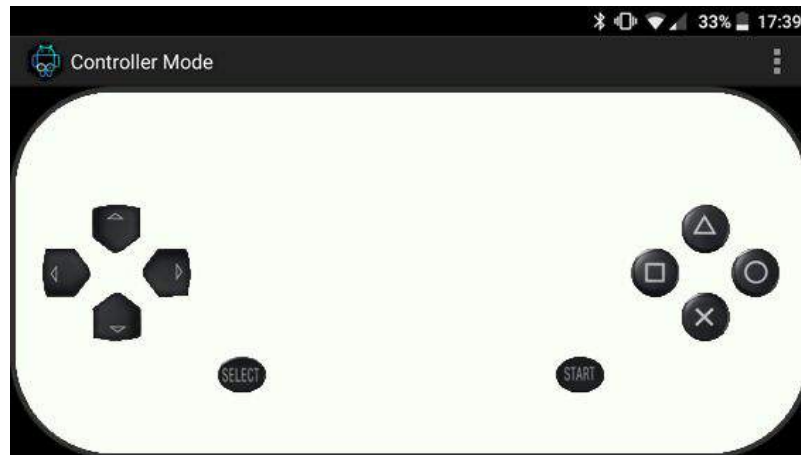
Per al control remot vam utilitzar el llenguatge de programació arduino per poder codificar les accions del motor simplifcades en nombres. Vam emparar una app ja feta molt senzilla que et permet connectar-te amb el mòdul Bluetooth del arduino i li envia nombres que després tu pots associar a una tecla o a una fletxa per facilitar el seu ús. Llavors, nosaltres ho hem programat així:

- Si l'arduino reb un 0, els motors paren
- Si l'arduino reb un 1, els dos motors van endavant
- Si l'arduino reb un 2, els dos motors van endarrere
- Si l'arduino reb un 3, l'esquerra va endavant el dret va endarrere
- Si l'arduino reb un 4, el dret va endavant l'esquerre va endarrere
- Si l'arduino reb un 5, el dret va endavant i l'esquerre esta parat
- Si l'arduino reb un 6, l'esquerre va endavant i el dret esta parat



**La OPCIÓ A ens proporcionarà un angle de gir superior que la OPCIÓ B, tanmateix, la velocitat de gir disminuirà en la primera*

Llavors, l'app que estem utilitzant anomenada "ArduinoRC" funciona a grans trets a base de números. Aquesta, l'únic que fa és enviar números a la placa Bluetooth que després l'arduino interpreta. Per facilitar el control del vaixell, vam associar cada nombre a un botó, per poder crear una espècie de "joystick" virtual amb l'aplicació. Aquí veiem com és el codi de la programació (en llenguatge Arduino) i com funciona l'app mòbil:



```
#include <SoftwareSerial.h>
#include <AFMotor.h>

AF_DCMotor Motor1(1); //M1
AF_DCMotor Motor2(2); //M2
SoftwareSerial mySerial(19, 18); // RX, TX. El pin 10(RX) va al pin TX del BT y el pin 11(TX) val al pin RX del BT

void setup() {
  // Open serial communications and wait for port to open:
  Serial.begin(9600);
  Motor1.setSpeed(255); // Definimos la velocidad de Motor1 minima =0 maxima= 255;
  Motor2.setSpeed(255); // Definimos la velocidad de Motor2 motor.setSpeed(200);
  Motor1.run(RELEASE); //motores en reposo
  Motor2.run(RELEASE);
  while (!Serial)
  {
    ; // wait for serial port to connect. Needed for native USB port only
  }

  Serial.println("Conectado puerto USB!");

  // set the data rate for the SoftwareSerial port
  mySerial.begin(9600);
  mySerial.println("conectado BT");
}

void loop() { // run over and over
  char val = 0; // 48 en codi ASCII

  if( mySerial.available())
  {
    val = mySerial.read();
  }

  if( val == '0' ) // Stop
  {
    Serial.println("Stop");
    Motor1.run(RELEASE);
    Motor2.run(RELEASE);
  }
  if( val == '1' ) // Endavant
  {
    Serial.println("Ir hacia delante");
    Motor1.run(FORWARD);
    Motor2.run(FORWARD);
  }
}
```

```

if( val == '2' ) // Endarrere
{
    Serial.println("Ir hacia detras");
    Motor1.run(BACKWARD);
    Motor2.run(BACKWARD);
}
if( val == '3' ) // Costat
{
    Serial.println("girar E");
    Motor1.run(BACKWARD);
    Motor2.run(FORWARD);
}
if( val == '4' ) // Altre costat
{
    Serial.println("girar D");
    Motor1.run(FORWARD);
    Motor2.run(BACKWARD);
}
if( val == '5' ) // Altre costat
{
    Serial.println("girar F");
    Motor1.run(FORWARD);
    Motor2.run(RELEASE);
}
if( val == '6' ) // Altre costat
{
    Serial.println("girar G");
    Motor1.run(RELEASE);
    Motor2.run(FOWARD);
}

/*

if (mySerial.available()) // hi ha algo que ens han enviat?
{
    Serial.write(mySerial.read()); //llegim el BT i escribim la dada al port USB(PC).
}
else if (Serial.available()) // hi ha algo que ens han enviat?
{
    mySerial.write(Serial.read()); //llegim el port USB y escribim la dada al BT.
}*/

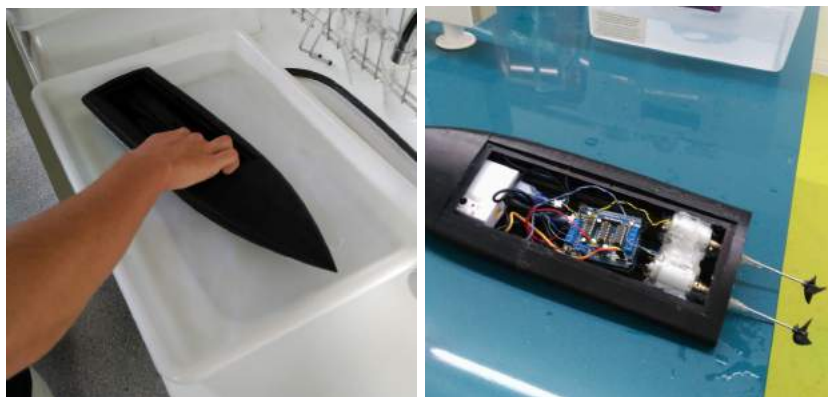
}

```

3.1.13. Proves finals de l'embarcació

3.1.13.1. Prova d'estanquitat, estabilitat i flotabilitat

El nostre vaixell, com qualsevol instrument o aparell que funcioni en medis aquàtics requereix ser estanc, impermeable i tenir una flotabilitat determinada, així doncs, cada pas de la construcció ha estat provada en medi aquàtic per a assegurar-ne el bon funcionament. Per comprovar la flotabilitat simplement vam utilitzar una cubeta de laboratori que vam emplenar amb aigua, i curiosament vam posar-hi el vaixell per veure si flotava amb tot el pes ja a dins. Efectivament flotava, i teníem un marge just per poder fer la embarcació funcionar i conservar l'estanquitat.



A partir d'aquí, per a acabar de desenvolupar el vaixell hem anat fent proves aquàtiques i trobant errors. Al corregir-los hem anat millorant el disseny per a assolir l'estanquitat total. El primer prototip que ja hem provat a l'aigua en una piscina ha estat una versió de prova per veure si el sistema muntat a la tapa funcionava. Llavors, hem emparat un velcro que hem posat a l'interior per fer pressió, i un esparadrap per tapar les escletxes. El prototip era així:



3.1.13.2. Prova de controls

Hem comprovat l'abast en metres del bluetooth, i aquest supera els 30m, cosa que ens permet molta facilitat per maniobrar. Pel que fa als controls d'avanç i direcció han resultat funcionar perfectament.

❑ Primera prova (endavant i enrere): Aquesta primera prova la hem realitzat a una piscina particular. Hem volgut protegir l'interior mitjançant cinta adhesiva per a assegurar-ne la total estanquitat durant el test. Els resultats han estat satisfactoris, tanmateix, un motor no ha funcionat degut a que un cable s'havia despenjat. Com a incident estructural, cal remarcar que s'ha després un tros de silicona que feia suport al tub contra la part exterior del casc. Quant a la velocitat i potència ens ha sorprès positivament ja que malgrat només funcionar un motor ha funcionat més ràpid del que esperàvem.

❑ Segona prova (endavant i enrere): En aquesta segona prova ja havíem aconseguit corregir els errors de la primera, de manera que vam tornar a soldar un dels cables al motor, vam reenganxar la silicona del tub, etc. En aquesta, la estanquitat també estava en un procés experimental però que ens treia del pas. En aquesta prova, vam utilitzar unes cintes d'esparadrap per tapar les juntes de la tapa, simplement com a mesura de seguretat extra.

Video de la prova: https://youtu.be/fETXQ_YwCGo

❑ Tercera prova (endavant, enrere i gir): En aquesta prova no es va presentar cap inconvenient, tot i que ens vam adonar que va entrar una mica d'aigua al vaixell, però no sabíem d'on. Llavors, vam tornar a ensiliconar les juntes més exposades a mullar-se, i també vam aprofitar per afegir una 3a capa de pintura negra (en part per tapar aquesta silicona).

Video de la prova: <https://youtu.be/ZyLVZT7npOs>

❑ Quarta prova: Aquesta última prova ha estat lliure i definitiva. Ha servit per a gravar un vídeo final del funcionament del vaixell per a la futura exposició mostrant-hi tots els moviments possibles que pot realitzar. En aquesta prova, tot ha funcionat molt correctament, es a dir, els motors i controls han operat perfectament i no hi ha entrat aigua. Aquesta prova ens permet afirmar i concloure que el vaixell ha estat construït correctament.

3.1.13.2.1. Timó o “trim” de correcció de rumb ajustable

A causa de la complexitat de programació d'un servo d'arduino, vam optar inicialment per usar dos motors. Això implica que quan un gira i l'altre no, s'aconsegueixi un desplaçament

lateral. Tenint en compte això, depenent dels resultats de les proves vam considerar que potser hauríem d'utilitzar un *trim*, una “aleta” per corregir el rumb en cas que es desviés de manera molt notable. Tanmateix, veient a la primera prova que l'error en el rumb era molt petit i quasi negligible, vam concloure que no seria necessari l'ús d'un timó de correcció.

3.1.13.2.2. Evaluació de la propulsió i motorització

Els motors han funcionat correctament, i hem aconseguit que el vaixell es desplaci de manera eficaç, recte i sense cap problema. A part, la velocitat punta i l'acceleració han estat notables, i ens han sorprès positivament.

3.2. Problemes al llarg del procediment amb les solucions que hi hem trobat

- Aigua i els forats dels eixos dels motors: Tub de ferro

El problema que possiblement ha estat més difícil de resoldre i el que ha requerit més temps ha estat el dels eixos i l'aigua. Per entrar en context hem de primer explicar la arrel del problema. La idea inicial per als eixos era fer dos forats al casc per passar l'eix que després es connectaria amb l'hèlix, però després ens vam adonar que al fer un forat al casc, per molt petit i ajustat a l'eix que fos (2 mm), entraria aigua igualment. Llavors, després d'estudiar com ho resolen molts vaixells i com ho han fet moltes persones vam veure que la solució més adequada era que el teu disseny 3D tingues ja dissenyat un tub que sortís del interior a l'exterior amb un diàmetre interior igual al de l'eix. El problema era que nosaltres ja teníem el casc imprès, sense tal tub. Per tant, vam pensar que el adequat seria trobar dos tubs metàl·lics que fossin d'exactament 2 mm de diàmetre interior. A causa de l'exactitud que necessitàvem, no vam trobar tubs de les característiques que ens anaven bé quan vam buscar-los a Amazon, Alibaba, eBay, etc. Vam estar al voltant d'un mes buscant els tubs, plantejant-nos i provant coses com utilitzar un freno de bicicleta, amb una premsa posar-lo recte, i després utilitzar-lo com a tub. Després de buscar a fons, vam trobar la solució en algo que no ens esperàvem. Una joguina que teníem d'infància, un helicòpter teledirigit, tenia dos eixos on hi havien dos tubs metàl·lics pels quals passaven els cables. Després de treure'ls, vam veure com eren d'exactament 2 mm de diàmetre interior, perfectes pel nostre barco. Llavors, vam enganxar els dos tubs al casc amb silicona, passant l'eix per dins i posant hi greix per màquines, de



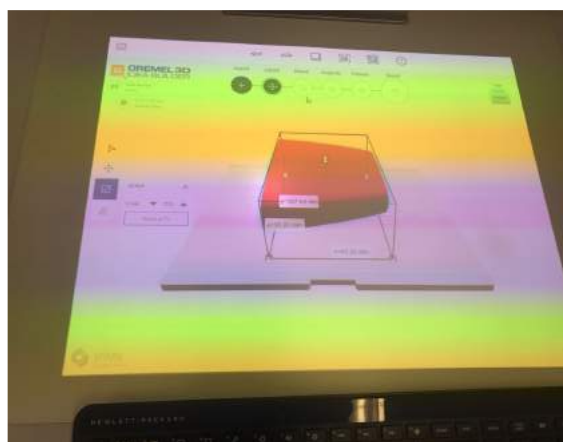
manera que l'eix girava per dins del tub, i l'aigua no podia entrar al vaixell. Cal recordar que tot el que fa funcionar el vaixell és electrònic i amb l'aigua s'espallaria.

- Eixos

Nosaltres havíem demanat per Amazon que els eixos fossin de 3 mm de diàmetre i de 200 cm de llarg, però ens van arribar d'uns 2,3 mm de diàmetre i de 100 cm de llarg. L'error en la llargada no ens va afectar, però el del diàmetre sí, i el vam solucionar unint l'eix a l'adaptador collant més els caragols i unint l'altra banda de l'eix a l'hèlix amb silicona calenta i deixant-la assecar per crear una unió resistent. Aquest error va ser degut al fet que a la pàgina d'Amazon deia que era de 200 cm, però a l'especificació tècnica posava les dues opcions. Tot i això, aquest error va ser només una anècdota, ja que no ens va afectar en gairebé res.

- Problema escala model i suports necessaris per a sostenir la impressió

Després de baixar-nos tot el model del vaixell que vam escollir que procedent de la web "Thingiverse", vam procedir a imprimir-lo amb la impressora 3D del Ramon Fuster. Llavors, ens vam adonar que el model era massa gran per la impressora, un model que estava partit en 5 peces i la tapa. Després de veure això, vam decidir escalar totes les peces al 55% per reduir la mida del vaixell i fer-lo més accessible. També això ens va permetre imprimir les peces a la impressora, ja que aquestes reduïdes al 55% ja cabien a la plataforma d'impressió.



- Problema escala tapa vaixell

A l'hora d'escalar les peces del model 3D que vam triar, vam veure que la tapa no cabia en la plataforma màxima d'impressió de la impressora 3D del Ramon Fuster, així que vam haver de sol·licitar al FabLab l'ús d'una impressora seva més gran per fer la tapa a l'escala que necessitàvem (55%). De fet, el disseny original que vam treure del Thingiverse era per un vaixell d'una llargada al voltant del doble que el nostre, i vam decidir escalar totes les peces al 55% perquè el vaixell tingués una llargada més reduïda però també perquè cabés tot el material. Llavors, una vegada vam imprimir totes les peces al 55%, va arribar l'hora d'imprimir la tapa. Aquesta no cabia tampoc a la plataforma d'impressió al 55%. Per fer una prova, la vam imprimir el màxim gran que es podia, al 52%. Així i tot, vam decidir demanar al FabLab l'ús de la seva impressora 3D que era més gran per imprimir la tapa del vaixell correctament. Després d'editar correctament i de nou la tapa amb el format ".stl" vam imprimir la tapa al FabLab amb una duració de 9 h i 40 mins. Després d'això, el casc i tota l'embarcació estava ja complet i acabat.



- Problema tapa que no tanca per la alçada dels motors i ocultar silicona

Al treure els suports de la tapa i disposar-nos a provar-la posada a l'embarcació ens vam adonar d'un problema que de fet ja teníem assumit que passaria. Aquest era que degut a la inclinació i alçada dels motors la tapa no tancava perfectament per darrere, cosa que deixaria entrar l'aigua. Llavors, vam pensar en elevar tota la zona on es posa la tapa per assolir una superfície recta i que aquesta tapa tanqués sense escletxes. Després d'estar pensant, vam decidir posar unes gomes per finestres que tenen forma de dents i que si posàvem unes a la tapa i unes al vaixell permetrien un "engranatge" que ens permetria assolir la estanquitat. Una vegada instal·lades aquestes gomes, necessitàvem tenir molta

pressió cap a baix (pressió de la tapa al vaixell per evitar forats) i vam optar per dues solucions molt útils. La primera, molt simple, va ser posar un velcro sobre els motors i enganxant-se a l'interior de la tapa de manera que una vegada enganxats, farien pressió. La segona, més complexa però més útil, va ser posar 6 cargols que després ens permetessin treure'ls però que quan en ús, ens donessin molta pressió i per tant també molta estanquitat. També hem hagut d'ocultar la silicona que estava als tubs, que estèticament quedava molt malament, i a més se'ns va desenganxar en la primera prova. Llavors, vam utilitzar uns taps que vam trobar negres per millorar aquesta part i així també ocultar la silicona.



- Problema de la falta d'espai per a la bateria

Hem hagut de tallar una paret interior i fondre-la per aconseguir espai per posar la bateria. Ho hem fet emparant una soldadora, que gràcies a la seva alta temperatura ens ha permès fondre el plàstic amb facilitat. Per acabar de retocar-ho, hem utilitzat una llima.

- Problema aigua que ens entra per les "juntres" de les peces del casc

Durant la segona prova i la tercera, després d'haver-les realitzat amb molta cura, ens vam adonar que a dins del vaixell havia entrat una mica d'aigua per les juntes de les diferents peces del casc. Llavors, vam realitzar diferents experiments per tal de determinar per on ens estava entrant l'aigua en concret. Així i tot, ens va resultar impossible determinar exactament per on entrava, però sabent el gran risc que comportava, ja que si l'electrònica es mulla s'espatlla, vam decidir prendre acció. Dons, vam emparar una pistola de silicona per posar una fina capa de silicona a totes les juntes que vam considerar més vulnerables per aconseguir més estanquitat. Per acabar, vam afegir una capa més de pintura que ens aportava una mica més de consistència i d'impermeabilitat.

4. Conclusions del treball

4.1. Conclusions generals del treball

Després d'haver acabat el projecte considerem estrictament necessari extreure'n unes conclusions, realitzar un balanç i redactar una valoració personal des del punt de vista de l'opinió sobre el treball realitzat. Creiem que ha estat un projecte molt complet en el que hem treballat àmbits molt diversos com ara el de la programació, el disseny assistit per ordinador, l'electrònica, la nàutica i el funcionament de les impressores 3D així com la manipulació d'arxius informàtics tridimensionals. Aquesta pluralitat d'aspectes a tenir en compte és a la que hi han de fer front milions d'enginyers arreu del món que fan possible l'avenç tecnològic i econòmic de la societat actual. Per a facilitar-ne la comprensió d'aquest apartat hem volgut dividir-lo en petites seccions segons la part del projecte que analitzen, des dels aspectes més teòrics i objectius fins aquells més subjectius i personals.

4.1.1. Hem assolit els objectius?

Havent acabat el Treball de Recerca, una conclusió indispensablement ha de evaluar si s'han assolit els objectius inicials. A partir d'això, podem afirmar que sí, hem assolit els nostres objectius de manera molt satisfactòria i exitosa. Creiem que hem aconseguit realitzar-los gràcies a la bona coordinació entre nosaltres, i, principalment, gràcies a un mètode de treball molt pautat i estrictament temporitzat i estructurat. També ha estat possible gràcies a la col·laboració del nostre tutor i a la formació rebuda a les classes de programació de FabLab Sant Cugat.

4.2. Conclusions experimentals

4.2.1. Pràctiques

Com hem dit abans, hem pogut assolir els nostres objectius plantejats a l'inici del projecte, i per tant, construir allò que el mateix títol indica: Una embarcació dirigida per control remot. Això suposa haver superat amb èxit els reptes proposats. Així i tot, creiem important destacar l'aparició de problemes o inconvenients de forma inesperada al llarg del treball que hem exposat en apartats anteriors. A continuació trobem un llistat on s'hi exposen aquelles conclusions més tècniques i concretes:

- ❑ En un projecte de construcció o creació d'un producte (físic) sempre s'ha de fer front a problemes inesperats i cal solucionar-los a mesura que van sorgint. Aquest mètode és molt enriquidor i fomenta la actitud crítica i solucionadora.
- ❑ Realitzant aquest projecte, ens hem adonat que la interacció de l'electrònica amb l'aigua es un problema molt més greu i difícil de solucionar del que ens pensàvem.
- ❑ En una construcció d'un prototip experimental, cada detall compta, i un de petit pot afectar a tot el conjunt i fer que aquest no funcioni. Això és el que ens ha passat per exemple amb el fet que quan apretàvem una mica massa els caragols de la tapa, els motors no funcionaven, i no identificàvem l'origen de l'error. Al final, fent proves, vam poder trobar aquesta senzilla font d'error i la vam solucionar.

4.2.2. Teòriques

Pel que fa a les conclusions teòriques, hem assolit un gran coneixement relatiu a tot allò naval i/o aquàtic així com relatiu al món de la programació. Això ho podem veure en aquest llistat:

- ❑ Una embarcació ha de suportar dos tipus de força en contra del seu desplaçament: La força d'arrossegament amb l'aigua i la força de fricció amb l'aire, encara que aquesta sigui gairebé negligible.
- ❑ Si realitzem les equacions de força en l'eix vertical, prenent el principi d'Arquimedes, podem observar com el volum submergit d'un objecte que sura a l'aigua és directament proporcional a la massa que té, i en el nostre cas, fins i tot es corresponen els valors (kg/l).
- ❑ L'aigua, com que té salts dissoltes és conductora de la electricitat, i com a tal, es capaç de "destruir" un sistema elèctric en qüestió de segons, es per això que cal mantenir la electrònica fora d'àmbits aquosos o amb alta humitat.
- ❑ El fet de obtenir la capacitat de gir gracies a dos motors, suposa que sempre, a causa de les negligències del factor humà a la hora de construir el vaixell, aquest desvii el seu rumb uns graus a l'hora de navegar, es per això que en aquests casos cal afegir-hi un timó estàtic però ajustable manualment per tal de corregir la desviació en fer proves. Molts aparells teledirigits que és comercialitzen disposen d'un instrument així denominat "trim" que resulta essencial per al control de l'aparell.
- ❑ El bluetooth és un molt bon sistema de comandament a distància, doncs pot arribar a funcionar a distàncies superiors als 55 metres sense pèrdues de connexió ni control.

- ❑ La distribució del pes és clau per a assegurar l'equilibri i flotabilitat d'una embarcació, essent les bateries i els motors els objectes més pesants.
- ❑ Uns motors d'impressora poden servir per a fer navegar un vaixell.
- ❑ Les impressores 3D tarden molt temps en imprimir els arxius que se li presenten degut a la exactitud i precisió que segueixen.
- ❑ Tant les plaques Arduino com *shield* com els motors com la bateria tenen resistències internes. El cablejat també té resistència malgrat que es pot negligir.
- ❑ L'eix de rotació de l'hèlix mai pot estar en contacte directe amb el casc de l'embarcació ja que degut a les altes velocitats de gir que assoleix, desgasta el material que l'envolta suposant un perill per a la estanquitat de l'interior de la embarcació. És recomanable utilitzar un tub per dintre del qual giri l'eix.
- ❑ El material més car ha resultat ser la bateria, a diferència de tot el material elèctric que hem considerat que tenia un preu inferior al que pensàvem.
- ❑ Les hèlix es poden dividir en levogires o dextrogires segons el sentit en que roten, i les seves diferents combinacions aporten diferents moviments, angles de girs i direccions. Creiem que el fet de tenir dues hèlixs ens ha permès realitzar moltes combinacions de moviment per a la nau.
- ❑ La programació és molt complexa, però dins d'aquesta complexitat es pot buscar simplificar al màxim la dificultat de les accions per a facilitar-ne el seu ús. N'és un exemple el que nosaltres hem fet amb els nombres del 0 al 6.

4.2.3. Comparació disseny-model obtingut

A continuació trobem dues imatges, a l'esquerra el disseny inicial que vam fer abans de dur a terme la construcció de l'embarcació, i a la dreta trobem una imatge real de el resultat obtingut:



Disseny dibuixat a escala i 3D



Prototip final

4.3. Valoracions personals (subjectives) i globals

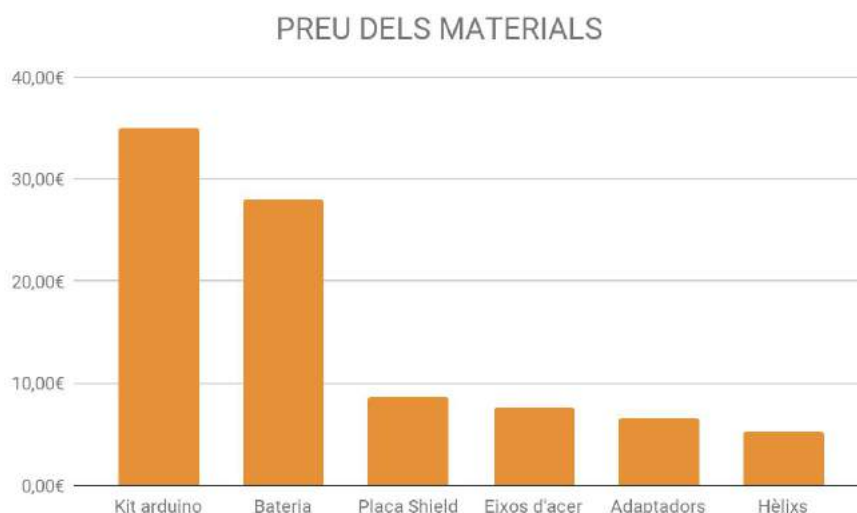
4.3.1. Balanç

Ens agradaria deixar ben clar que el balanç de la feina feta és absolutament positiu des de tots els punts de vista. Hem aconseguit assolir els objectius, hem dut a terme un procés estrictament pautat i redactat, i la coordinació entre nosaltres ha estat òptima. Hem après molt realitzant tot el treball i creiem que ha estat una molt bona experiència de contacte amb els camps de la enginyeria, la informàtica i la ciència en general.

4.4. Preu final del projecte



Gràfic que mostra la divisió del cost total en material i formació



Gràfic que mostra ordenats, els preus de cada material

El cost total del projecte ha estat de 221,21 euros, el que suposa un cost per persona de 110,6 euros. Com podem observar als gràfics del document, la formació privada que hem rebut de “FabLab” Sant Cugat suposa la majoria de les despeses, tanmateix, no ho considerem una despesa ja que per a nosaltres ha suposat un enriquiment del nostre coneixement en el camp de la tecnologia, que ens resultarà molt útil per a la resta de la nostra formació acadèmica i professional. Pel que fa al cost dels materials, com podem observar al segon gràfic, el Kit d’iniciació arduino i la bateria han estat els productes més cars, seguits per la placa “Shield”, els eixos d’acer inoxidable, els adaptadors metàl·lics i les hèlixs, que no superen en cap cas els 10 euros d’import.

4.5. Què millorariem o fariem diferent ara que hem acabat?

Després d'acabar el projecte considerem que hi ha pocs aspectes a millorar, tanmateix, ens agradaria subratllar el gran número de diferents graus d'aprofundiment en què es pot dur a terme un projecte. Així doncs, creiem que hem estat capaços d'adaptar el nostre projecte a un nivell de batxillerat. El projecte es podria millorar en un futur, és a dir, s'hi podria aprofundir més (nivell de treball de final de carrera) i tècnicament podríem modificar el sistema de gir emprant un *servo* i un timó a la popa que marqués la direcció del desplaçament, cosa que complicaria la construcció de la electrònica ja que és de molt difícil programació i requereix prou formació per a programar-lo, és per això que vam buscar un sistema alternatiu de gir en el nostre projecte. Aquest treball, per a millorar-lo, s'hi podria utilitzar material de millor qualitat, però degut al seu augment considerable en el preu, hem decidit moderar-nos. També, si haguéssim disposat del temps i coneixements adequats, hauria estat interessant haver-hi dissenyat el nostre propi disseny 3D, que estigués dissenyat exactament a mesura per a satisfer les nostres necessitats. Així i tot, creiem que el disseny que hem escollit no s'allunya al que fariem nosaltres i s'adapta molt bé al material que tenim.

5. Bibliografia

5.1. Llibres

Per aprendre programació arduino, a part d'assistir al curs del FabLab, també vam utilitzar els següents llibres per a fer exercicis i treballar la teoria d'aquest llenguatge. Els llibres que vam utilitzar són els de les següents imatges:



5.2. Internet (llocs web i vídeos)

Per desenvolupar el projecte hem fet ús de diversos webs que ens han proveït amb la informació, productes, imatges, etc. necessaris. La gran diversitat que ofereix Internet i la possible especialització d'aquest ens han donat les eines per a fer un treball molt complet. Aquests llocs web que hi ha exposats a continuació ens han resultat molt útils, ja que ens han proporcionat molta informació sobre els aspectes més tècnics dels vaixells i del sistema arduino que desconèixiem. També hem trobat molt útil analitzar els diversos vídeos de individus que ja han construït una nau teledirigida, i com ho han fet. La llista de totes les webs que hem utilitzat és la següent:

- Recerca i compra de productes o materials
 - <https://www.amazon.es/>
 - <https://es.aliexpress.com/>
 - <https://www.ebay.es/>
- Recerca de models per impressió 3D
 - <https://www.thingiverse.com/>
 - <https://sketchfab.com/models/popular>

- <https://digilab.dremel.com/>
- Recerca de informació específica
 - <https://es.wikipedia.org/>
 - https://en.wikipedia.org/wiki/Fluid_dynamics
 - https://en.wikipedia.org/wiki/Drag_coefficient
 - <https://friccion.weebly.com/friccion-en-el-agua.html>
 - https://ca.wikipedia.org/wiki/Principi_d%27Arquimedes
 - <https://www.horizonhobby.com/category/boats>
- Recerca de informació general
 - <http://www.diccionari.cat/>
- FabLab Barcelona
 - <http://fablabbcn.org/>
- Videos YouTube
 - <https://www.youtube.com/watch?v=0UZsnhFo6ao&t=89s>
 - <https://www.youtube.com/watch?v=6e9sRfHchJU>
 - <https://www.youtube.com/watch?v=fAiE6hO3kx0&t=30s>
 - <https://www.youtube.com/watch?v=hFAkJb760CM&t=44s>
 - <https://www.youtube.com/watch?v=ouYF7LLYAG8&t=2s>
 - <https://www.youtube.com/watch?v=fVxHM2QyZ-l&t=7s>
 - <https://youtu.be/ZyLVZT7npOs>
 - https://youtu.be/fETXQ_YwCGo
- Realització del plànol elèctric
 - <https://www.circuitlab.com>

ANNEX

Llista completa de tots aquells materials que hem utilitzat

Material	Unitats	D'on prové?	Descripció	Pes	Preu
Motors	2	Frederic Mistral	Els motors emprats al projecte provenen d'unes impressores espatllades que ens va facilitar l'escola. Vam desmuntar-les fins a poder extreure'n les parts que ens interessaven. Vàrem aconseguir 5 motors dels quals n'hem triat 2, de 12 volts cadascun. Es important que funcionin amb el mateix voltatge per tal de poder utilitzar una sola bateria, que en aquest cas, ha de ser, consegüentment, de 12 volts.	-	Reciclat
Bateria	1	Amazon	La bateria és recarregable (disposa de carregador) i posseeix dues sortides que tenen un voltatge de 5 i 12 volts.	399g	27,9 €
Hèlix	2	Amazon	Hem necessitat 2 hèlixs de 3mm de diàmetre interior i uns 32mm de diàmetre exterior. Aquestes hèlixs seran les encarregades de propulsar el vaixell mitjançant la rotació dels eixos del motor. Són de plàstic i tenen tres aspes amb forma "trèvol".	18g	5,75€
Adaptadors 3mm a 3mm	2	Amazon	Ens ha fet falta comprar 2 adaptadors metàl·lics de 3mm de diàmetre interior que ens han permès ajuntar l'eix que gira del motor que és de 2,4mm de diàmetre amb la vara metàl·lica que junta l'hèlix amb el motor, de poc	17g	2,5€

			menys de 3mm de diàmetre.		
Eixos metàl·lics	2	Amazon	Mesuren 100mm de llarg i 3mm de diàmetre i uneixen l'hèlix amb el motor, ja que aquestes dues peces no poden estar connectades directament degut a que el motor no pot estar en contacte físic amb l'aigua.	10g	-
Disseny del Casc del vaixell	1	Material informàtic	La figura del casc és un disseny que hem extret d'Internet i que després hem editat per que s'adaptés a les necessitats del nostre projecte.	-	-
Kit arduino "Elegoo Uno"	1	Amazon	És un kit amb tot allò bàsic que comporta la electrònica d'Arduino. Inclou la placa base, molts mòduls específics, resistors, una bateria 5V, etc. També conté un disc amb tutorials de les bases d'arduino.	975g	34,99€
Mòdul Bluetooth arduino	1	FabLab	És el mòdul essencial per al nostre treball ja que és el qui reb les ordres del dispositiu remot i les envia a la placa base d'Arduino.	-	-
Placa "Shield"	1	Amazon	És un altre mòdul de Arduino. Facilita el control dels motors a través del Bluetooth i ens estalvia bastant codi que podria haver estat ineficient. Aquest <i>shield</i> es munta a sobre de la mateixa placa base i queda acoblat a la mateixa.	-	8,75€
Plàstic per impressora 3D	1	Ramon Fuster	És el plàstic que necessita la impressora 3D que també ens ha facilitat l'escola Ramon Fuster. Hem	-	-

			escollit el de color negre per un tema purament estètic.		
Pintura negra	1	Ferreteria	Per a pintar el vaixell, hem utilitzat una pintura negra mat per plàstics en forma d'esprai que és resistent a l'aigua	-	5,75 €

Llista completa de tots aquells aparells o màquines que hem utilitzat

Màquina	Unitats	D'on prové?	Descripció
Soldadora	1	FabLab	Un soldador elèctric o d'estany és una eina elèctrica que s'utilitza per realitzar soldadura tova, és a dir, amb material que té una baixa temperatura de fusió (entre 300 °C i 450 °C) com per exemple l'estany. Permet fer connexions elèctriques estables i fiables.
Polímetre	1	FabLab	Un polímetre és un instrument de mesura electrònic que mesura magnituds elèctriques, ja siguin actives (corrents, potencials...) o passives (resistències, capacitats,...). Pot fer mesures en corrent continu o en corrent altern, depenent de l'instrument.
Ordinador vinculat a la impressora 3D	1	Ramon Fuster	És un ordinador que permet controlar la impressora 3D d'una manera simple i fàcil, adequada per els alumnes de primària i secundària. L'hem utilitzat per editar i escalar les peces del casc i realitzar la impressió.
Impressora 3D	1	Ramon Fuster i FabLab	Un dels materials clau per al nostre projecte ha estat la Impressora 3D, que hem utilitzat per imprimir el casc del vaixell. Aquesta permet una superfície d'impressió d'aproximadament un pam de llargada.
Silicona (pistola)	-	Propi	La hem utilitzat per segellar qualsevol desperfecte i per fer que diverses zones siguin estanques.

GoPro (càmera)	-	Propi	Per fer els vídeos de les proves i per tenir plans “ <i>onboard</i> ” del vaixell en funcionament, hem utilitzat una càmera d’alta resolució i de vídeo GoPro Hero 5 Session, que ens ha anat molt bé ja que es pot mullar.
Punxó/claus	-	Propi	Per a fer els dos forats per on passen l’eix i el tub de les hèlix hem utilitzat un punxó que ens ha permès foradar el plàstic. Per a fer els sis forats on hem posat els caragols de la tapa hem utilitzat uns claus escalfats amb foc que amb una mica de força ens han proporcionat les obertures que necessitem.