

Treball final de grau

Estudi: Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials

Títol: Disseny i desenvolupament d'un ROV submergible - R2B2

Document: Memòria i Annexos

Alumne: Jordi Muñoz Galmés

Tutor: Jordi Freixenet i Xavier Cufí

Departament: ATC - Arquitectura i Tecnologia de Computadors

Àrea: ATC - Arquitectura i Tecnologia de Computadors

Convocatòria (mes/any): 06/2022

Agraïments

Abans de començar, m'agradaria agrair als meus pares i la meva família tot el suport que m'han donat al llarg de tota la carrera i en els moments de dificultat.

M'agradaria també agrair al meu amic Lluís, doncs gràcies a ell vaig aprendre a programar amb Python i JavaScript abans de començar amb el projecte i que m'han estat de molta ajuda.

Voldria també donar les gràcies a la gent del CIRS pel cop de mà donat durant el desenvolupament del projecte.

Finalment, agrair als meus tutors pels seus consells, sense els quals aquest treball no hagués estat el que és.

Índex

1. Introducció:	1
1.1. Antecedents:.....	1
1.2. Objecte:.....	2
1.3. Abast:.....	2
2. Què és un ROV?	4
3. Descripció del ROV:	5
3.1. Descripció de l'estructura:.....	5
3.1.1. <i>Xassís:</i>	5
Esquelet.....	5
Compartiment estanc:.....	7
3.1.2. <i>Suport intern:</i>	8
3.2. Graus de llibertat:.....	9
3.3. Sistema de propulsió:.....	10
3.3.1. <i>Motors:</i>	10
3.3.2. <i>Controlador Electrònic de Velocitat:</i>	11
3.4. Controlador - Raspberry Pi 4:.....	13
3.5. Bateries:.....	14
3.6. Càmera:.....	15
3.7. Cable ethernet:.....	16
4. Descripció del Software:	17
4.1. MQTT Protocol:.....	17
4.2. Raspberry Pi i Python:.....	18
4.2.1. <i>GPIO Zero:</i>	18
4.2.2. <i>OpenCV:</i>	18
4.2.3. <i>Eclipse Paho MQTT Python:</i>	19
4.3. Control remot - Interfície Web:.....	19
4.4. Reproducció de vídeo en directe:.....	20
4.5. Comportament autònom:.....	20
4.5.1. <i>Segmentació per color:</i>	21
4.5.2. <i>Connected - Component Labeling:</i>	21
5. Desenvolupament i construcció del robot:	22
5.1. Compartiment estanc:.....	22

5.2. Disseny, construcció i muntatge de l'esquelet:.....	24
5.2.1. Disseny de les peces:.....	24
5.2.2. Fabricació de les peces:.....	24
5.2.3. Muntatge de l'esquelet:.....	26
5.3. Suport intern:.....	29
5.4. Cablejat i segellat de la carcassa:.....	31
5.5. Soldatge i electrònica:.....	33
5.6. Col·locació dels elements en el suport intern:.....	36
5.7. Muntatge final:.....	39
6. Interfície Web:.....	42
6.1. Versió de PC:.....	43
6.2. Interfície en telèfon mòbil:.....	45
7. Proves i resultats:.....	46
7.1. Experiment 1: Funcionament dels Motors.....	46
7.2. Experiment 2: Impermeabilitat.....	47
7.3. Experiment 3: Proves en sec i comprovació dels motors.....	49
7.4. Experiment 4: Flotabilitat.....	51
7.5. Experiment 5: Funcionament dins l'aigua.....	52
8. Resum del pressupost:.....	54
9. Conclusions:.....	55
10. Relació de documents:.....	57
11. Bibliografia:.....	58
12. Glossari:.....	60
A. Manual d'ús:.....	61
B. Manteniment de les juntes tòriques:.....	62

Índex de figures

Figura 1: A l'esquerra el R2B2-nano de Pau Roure, a la dreta el robot de Ferran Veciana	1
Figura 2: Fotografia del Girona 1000 al CIRS.....	4
Figura 3: Es pot apreciar la diferencia de mides entre un dels nous motors (esquerra) respecte l'antiga estructura (dreta).....	6
Figura 4: Diferents propostes de disseny per al nou esquelet fetes amb OpenScad.....	6
Figura 5: Model 3D de l'esquelet final dissenyat amb OpenScad.....	7
Figura 6: Exemple d'un dels models de compartiments estanc de BlueRobotics.....	8
Figura 7: Suport intern desenvolupat per el projecte.....	8
Figura 8: Sis graus de llibertat del moviment de un vaixell [6].....	9
Figura 9: Fotografia d'un dels nous propulsors utilitzats.....	10
Figura 10: Representació del funcionament de un motor brushless [7].....	11
Figura 11: A l'esquerra un Afro ESC 30A i a la dreta un Basic ESC.....	12
Figura 12: Esquema de connexió de un ESC. Imatge extreta de BlueRobotics.....	13
Figura 13: Raspberry Pi 4 - model B.....	13
Figura 14: Charmast Mini PowerBank 10400mAh.....	14
Figura 15: Bateria Li-Po 3S, 6000mAh, 11.1V, 50C.....	15
Figura 16: Càmera amb lent d'ull de peix.....	16
Figura 17: Esquema de funcionament del protocol MQTT [13].....	17
Figura 18: Cast Acrylic Tube (3" Series).....	22
Figura 19: O-Ring Flange.....	22
Figura 20: Dome End Cap (3" Series).....	22
Figura 21: Aluminium End Cap with 4 holes (3" Series).....	22
Figura 22: Enclosure Vent and Plug.....	23
Figura 23: M10 Cable Penetrator (6mm Cable).....	23
Figura 24: Tapa d'alumini amb un nou forat al mig.....	23
Figura 25: Tapa d'alumini amb els cinc penetradors integrats.....	23
Figura 26: Suport per motor horitzontal.....	24
Figura 27: Suport per motor vertical.....	24
Figura 28: Anell davanter.....	24

Figura 29: Anell posterior.....	24
Figura 30: Fresadora.....	25
Figura 31: Peces acabades de fresar.....	25
Figura 32: Forats amb rosca de l'anell davanter.....	26
Figura 33: Motors horitzontals.....	27
Figura 34: Motors verticals.....	27
Figura 35: Conjunt de peces del ROV abans de ser muntades.....	27
Figura 36: Esquelet abans de ser fixat amb el compartiment estanc.....	28
Figura 37: Esquelat unit al compartiment estanc.....	28
Figura 38: Peces que conformen el suport intern. El cargol a sobre el cercle blanc no s'ha fet servir.....	29
Figura 39: Suport intern muntat.....	30
Figura 40: Suport intern amb les bateries i la Raspberry.....	30
Figura 41: Cables dels motors amb capsal.....	31
Figura 42: Cables dels motors tallat.....	31
Figura 43: Cables introduïts per els penetradors. Part exterior.....	32
Figura 44: Cables introduïts pels penetradors. Part interior.....	32
Figura 45: Penetradors amb resina.....	32
Figura 46: ESCs amb els cables d'alimentació soldats.....	33
Figura 47: Cables d'un Basic ESC soldats a un dels motors.....	34
Figura 48: Connector IDC.....	35
Figura 49: Soldatge dels cable dels ESCs amb el connector IDC.....	35
Figura 50: Connectors RJ45 i alicates per premsar-los.....	36
Figura 51: Cable ethernet amb el connector RJ45 inserit.....	36
Figura 52: Càmera instal·lada en el suport intern.....	37
Figura 53: Bateria LiPo col·locada en el suport.....	37
Figura 54: Raspberry situada en l'estructura interna.....	38
Figura 55: Col·locació de la Power Bank i els controladors.....	38
Figura 56: Carcassa amb el suport a l'interior.....	39
Figura 57: Carcassa amb l'esquelet abans de ser muntat.....	39
Figura 58: Tapa posterior de la carcassa amb els tancadors.....	40

Figura 59: ROV completament armat.....	40
Figura 60: Vista frontal del ROV, es pot apreciar la càmera a dintre de la carcassa.....	41
Figura 61: Pantalla d'inici de l'aplicació.....	42
Figura 62: Pantalla de control per PC.....	43
Figura 63: Captura de pantalla de la interfície de control per mòbil.....	45
Figura 64: Test de funcionament i control dels motors. (5 de maig de 2022).....	46
Figura 65: Robot amb paper a l'interior abans de ser submergit.....	47
Figura 66: Robot submergit durant un test d'estanquitat.....	47
Figura 67: Els topes situats a proa i popa eviten que les tapes es surtin. (10 de maig de 2022).....	48
Figura 68: Nou enresinat. (11 de maig de 2022).....	48
Figura 69: Es pot observar la gota en el cable vermell. (20 de maig de 2022).....	49
Figura 70: Es pot apreciar l'òxid en el motor.....	50
Figura 71: Proves amb els ESCs ja soldats als motors. (26 de maig de 2022).....	50
Figura 72: Fotografia presa durant el test de flotabilitat. (31 de Maig de 2022).....	51
Figura 73: Fotografia presa pel ROV durant el test de funcionament en aigua. (31 de maig de 2022).....	53
Figura 74: S'observen les juntes tòriques situades en els seus carrils de la tapa.....	62
Figura 75: Eina per extreure les juntes tòriques dels carrils.....	63

1. Introducció:

El present treball descriu les diferents seccions i sistemes que conformen un robot submergible de baix cost que pot ser operat remotament.

1.1. Antecedents:

El curs 2019/2020, un estudiant de grau de la Universitat de Girona va desenvolupar un projecte titulat "Disseny i desenvolupament d'un robot submarí amb una Raspberry Pi - R2B2" desenvolupat per l'estudiant de grau Ferran Veciana [1], que al mateix temps partia d'un altre treball de màster titulat "Plataforma col·laborativa R2B2" de l'estudiant Pau Roura [2]. En ambdós treballs, els estudiants van desenvolupar un robot submergible teleoperat de baix cost, els quals es mostren en la Figura 1.

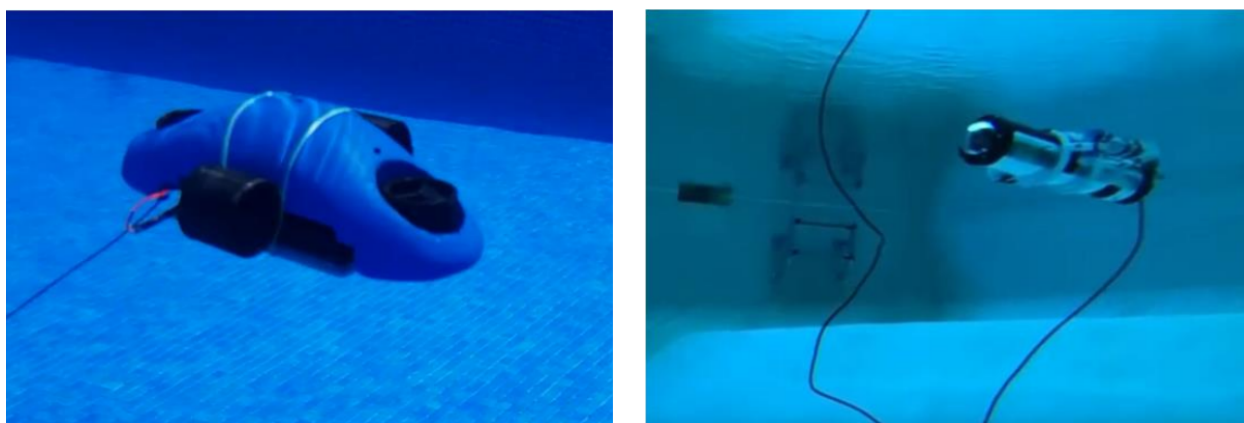


Figura 1: A l'esquerra el R2B2-nano de Pau Roura, a la dreta el robot de Ferran Veciana

El primer robot, dissenyat i desenvolupat per Pau Roura i anomenat R2B2-nano, tenia dos problemes importants: el primer consistia en que per tal d'aconseguir que fos estanc, era necessari cobrir-lo tot de resina, fet que obligava a desmuntar tota l'estructura en cas de que es volgués fer algun canvi; el segon eren els motors, els quals no tenien gaire potència. Inicialment es volia que aquest robot fos "jugable", però la potència dels motors feia que es mogués molt a poc a poc.

Ferran Veciana va ser capaç de resoldre el problema de la carcassa de forma satisfactòria. En concret, va encapsular bateries, ordinador de control, càmera i l'electrònica de control dels motors dins una carcassa estanca. No obstant, tot i que va augmentar la potència dels motors, aquesta seguia sent menor de la desitjada. A més el

robot tenia un cable de 3 metres que el connectava a una boia, amb la qual cosa l'àrea d'exploració del submergible era limitada. A més la connexió wifi amb el mòbil que controlava el robot era força inestable. Amb tot això, en el mateix treball va indicar els aspectes del robot que podien ser millorats.

Són aquestes propostes a partir de les quals es desenvolupa el projecte actual i descrit en la present memòria.

1.2. Objecte:

L'objectiu del treball consisteix en redissenyar el robot R2B2 utilitzant com a base i referència el seu predecessor, amb la vista posada a augmentar les seves capacitats però mantenint l'objectiu original de ser un robot de baix cost i que pugui ser utilitzat amb fins educatius.

Els principals aspectes que es proposen a millorar són augmentar la profunditat d'immersió de un vehicle operable remotament o ROV, per les seves inicials en anglès: *Remotely Operated Vehicle*, el qual estava limitada a tres metres; modificar l'estructura exterior que suporta els motors; refer l'aplicació utilitzada per controlar el submarí des del telèfon mòbil i, finalment, reforçar el sistema de connexió Wi-Fi que no era prou robust.

Resumint, els objectius del treball són:

1. Augmentar la profunditat d'immersió fins a 25 metres.
2. Modificar i reforçar l'estructura exterior del ROV.
3. Crear una nova aplicació per poder controlar el submergible.
4. Millorar la connexió remota.
5. Crear una estructura interna en la qual poder situar l'electrònica.
6. Millorar la potència i rendiment del sistema de propulsió.

1.3. Abast:

Amb vista als objectius proposats, el redisseny del nou robot consistirà en una sèrie de modificacions, com per exemple la modificació del xassís en el qual es situen els

motors, adaptant-lo a uns nous motors que tinguin unes característiques que proporcionin un millor comportament.

Pel que fa al programari, es pretén revisar tot el codi del ROV amb vistes a determinar si aquest haurà de ser refet de nou o si pot ser reaprofitat. Quant a l'aplicació, aquesta estava escrita amb *processing*, un llenguatge de programació cada cop menys emprat, motiu pel qual es vol tornar a crear-la des de zero.

A més, s'estudiaran diferents solucions que facin possible augmentar la profunditat a la qual es pot submergir el ROV i al mateix temps que reforcin la connectivitat d'aquest.

Finalment, al ser la continuació d'un altre treball de final de grau, és important informar que s'han reutilitzat materials, idees i programes que van ser utilitzats amb resultats satisfactoris.

Tot el codi i dissenys d'aquest projecte es troben penjats a GitHub. Es pot accedir a ells amb l'enllaç <https://github.com/Jordi-Menorca/R2B2.git>

2. Què és un ROV?

Abans de començar amb la descripció del submergible, és oportú explicar el que és un ROV.

Com ja s'ha comentat anteriorment, un ROV és un vehicle controlat remotament i generalment es refereix a submergibles que són operats des de una embarcació, a la qual estan connectada mitjançant cables [3]. Avui en dia, aquesta tecnologia és utilitzada en gran part per a l'exploració oceànica doncs al eliminar la presència de persones, permet investigar zones les quals són massa profundes perquè les persones puguin accedir de forma segura. Per altre banda, els ROV també tenen altres usos, com poden ser la inspecció de infraestructures subaquàtiques, anàlisi de l'entorn, missions de cerca i rescat, l'educació STEM (*Science, Technology, Engineering and Math*) o la recerca acadèmica, entre d'altres [4]. Els ROV es distingeixen dels AUV (*Autonomous Underwater Vehicle*) en que els primers estan connectats amb un cable i es controlen de forma remota, mentre que els AUV són vehicles autònoms i per tant requereixen de comportaments intel·ligents

A mode d'exemple, a la Figura 2, és mostra un AUV, un exemple de un robot submergible desenvolupat al Centre d'Investigació en Robòtica Submarina (CIRS) de la Universitat de Girona.

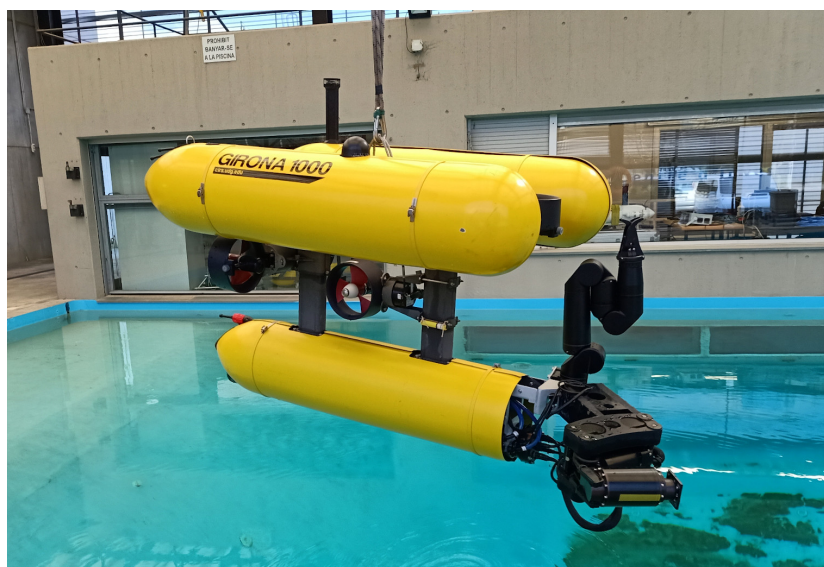


Figura 2: Fotografia del Girona 1000 al CIRS

3. Descripció del ROV:

En aquest apartat s'expliquen els components que constitueixen el robot, incloent l'estructura, el sistema de propulsió i el sistema de control, a més de descriure quines són les funcions que realitzen cadascun d'ells.

3.1. Descripció de l'estructura:

L'estructura té la funció d'unir, suportar i protegir tots els elements que constitueixen els ROV, incloent els motors i l'electrònica. Això implica que ha de ser prou robusta per no trencar-se a causa del pes dels motors, i suficientment lleugera com per evitar que el robot és submergeixi sense control. A més, és imprescindible l'existència d'una zona seca en la qual es puguin col·locar els dispositius electrònics que formen part del sistema de control.

En referència a l'estructura del submergible, aquesta està formada per dues parts ben diferenciades: la primera, el xassís o estructura exterior que està format per tots els elements que estan en contacte amb l'aigua: motors, suports, encapsulament i cable Ethernet; la segona, l'estructura interna, que inclou les bateries, els controladors dels motors, la càmera i el controlador principal.

Per últim, s'informa que l'estructura de l'esquelet ha estat dissenyada utilitzant el programa de modelat 3D de codi lliure OpenScad.

3.1.1. Xassís:

El xassís es refereix a l'estructura externa del ROV i el formen principalment l'esquelet, on es troben situats els motors, i el compartiment estanc dins del qual es col·loquen els components elèctrics del robot.

Esquelet:

L'esquelet és la secció on es troben instal·lats els propulsors del robot, aquesta estructura ha de ser suficientment robusta i gran per tal de que en ella es puguin instal·lar els motors del ROV. Inicialment, la intenció era únicament redissenyar l'esquelet amb l'objectiu de reforçar-lo i millorar l'encaix dels motors. No obstant, finalment es va decidir canviar també els propulsors per uns altres de potencia major i

per tant més grans, motiu que va obligar a plantejar una nova estructura en la qual poguessin ser instal·lats. En la Figura 3 de sota es mostra un exemplar dels nous motors al costat de l'estructura de l'anterior robot.

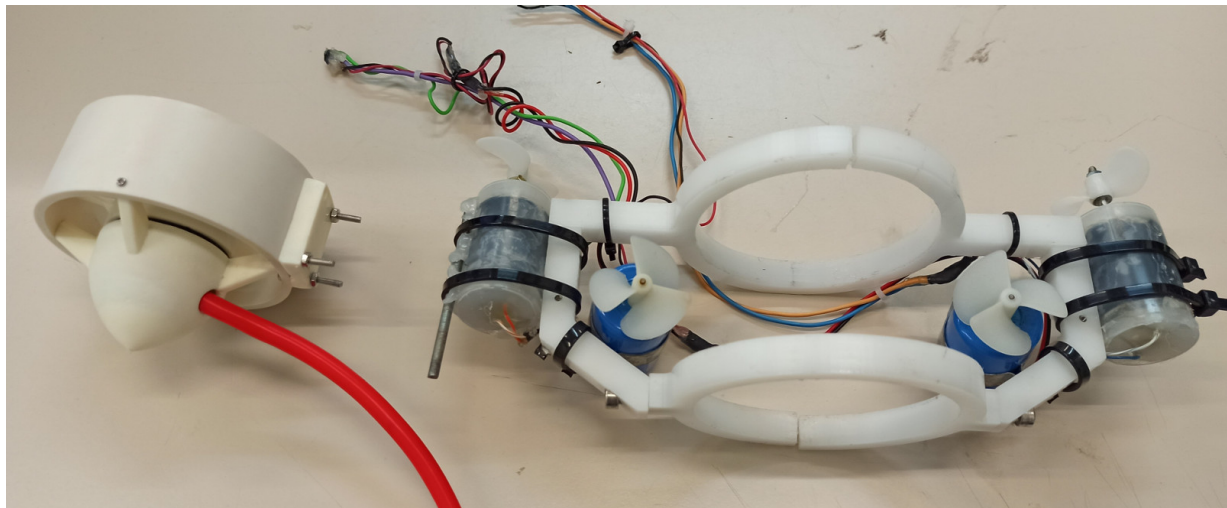


Figura 3: Es pot apreciar la diferència de mides entre un dels nous motors (esquerra) respecte l'antiga estructura (dreta).

Prenent com a referència el model del xassís anterior, considerant el com s'ha de moure el robot i el nombre de propulsors que conté, s'han plantejat diferents dissenys per al nou esquelet, els quals es mostren en la Figura 4.

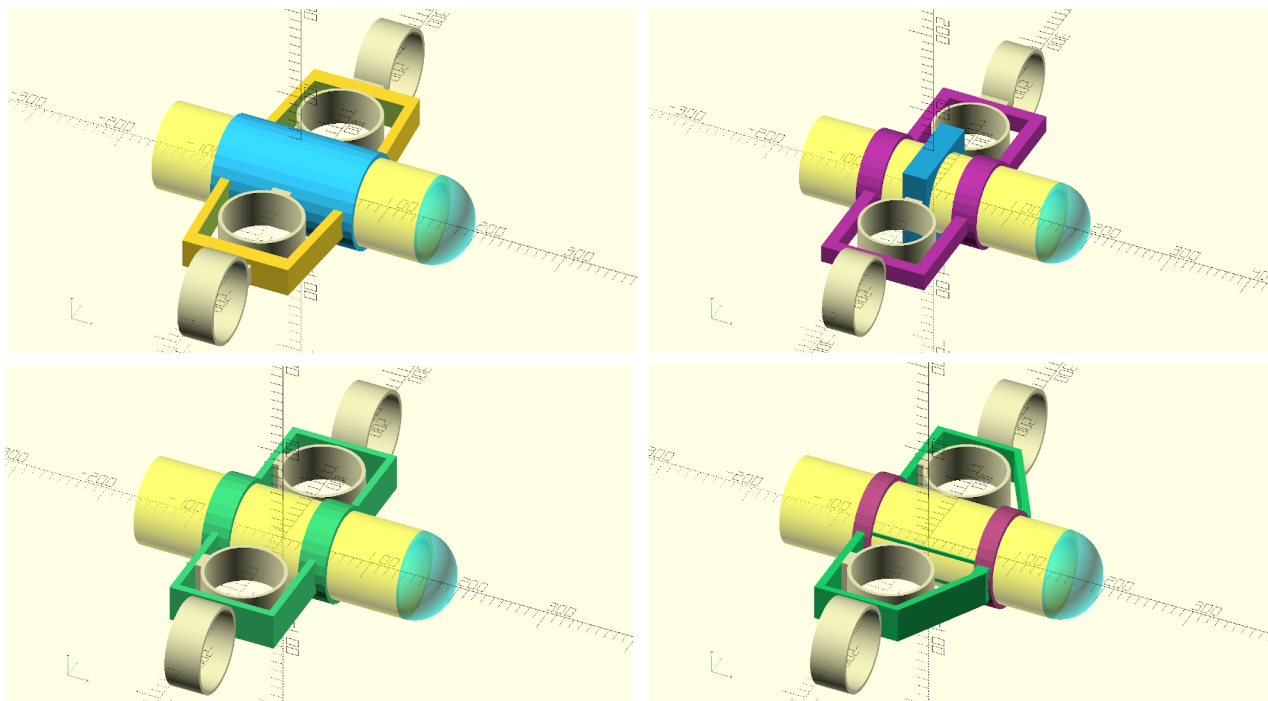


Figura 4: Diferents propostes de disseny per al nou esquelet fetes amb OpenScad

El model final del nou esquelet, veure Figura 5, és una estructura simètrica i modular, amb la forma més aerodinàmica i que per tant millora la navegació del robot, formada per un total de vuit peces les quals s'uneixen mitjançant l'ús de cargols.

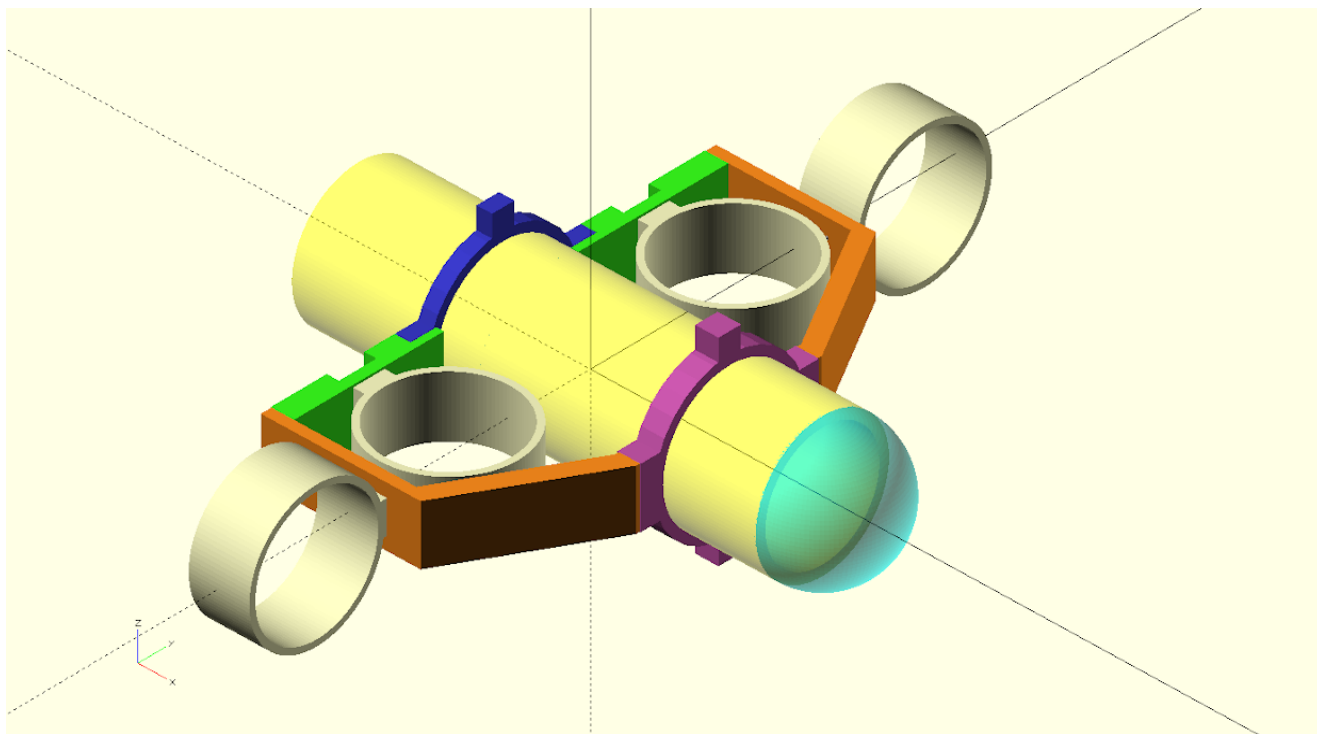


Figura 5: Model 3D de l'esquelet final dissenyat amb OpenScad.

Compartiment estanc:

Un dels principals perills a l'hora d'utilitzar aparells electrònics en entorns aquàtics és òbviament l'aigua. És per això que resultat prioritari assegurar l'existència d'una zona seca i impermeable en la qual sigui possible instal·lar els dispositius elèctrics i electrònics sense que entri en contacte amb l'aigua. La secció del ROV que compleix amb aquesta funció és el compartiment estanc.

En el present projecte, es fa servir un recipient cilindre acrílic semblant al que es mostra en la Figura 6 de sota, que ha estat adquirit de l'empresa *BlueRobotics* [5], una companyia americana especialitzada en robòtica submarina.



Figura 6: Exemple d'un dels models de compartiments estanc de BlueRobotics

3.1.2. Suport intern:

L'estructura interna es troba localitzada a l'interior del compartiment estanc i compleix amb la funció de mantenir fixats tots els elements de l'interior per evitar que es moguin i s'espatllin a conseqüència del moviment del ROV. Tot i que en l'anterior treball es va plantejar crear-ne un, finalment no es va dur a terme.

El suport desenvolupat, que es mostra a la Figura 7, ha estat dissenyat per encaixar dins del cilindre utilitzat i en ell s'allotgen col·locats tots els components interns del robot, permetent d'aquesta forma extreure'ls tots alhora. Pot semblar poc important, però aquesta és una gran millora del robot, ja que aquest suport intern, permet dues coses: per una banda, treure i posar de forma ràpida els sistemes electrònics, cosa que en l'etapa de disseny i desenvolupament del ROV (el que és aquest TFG) cal fer molt sovint; i per altra banda, permet estructurar la posició dels components interns dins el vehicle de manera que es poden distribuir els pesos dels diferents components (bateries, ordinadors, controladors, cables...) dins el robot la qual cosa serà un element clau per la flotabilitat del vehicle.

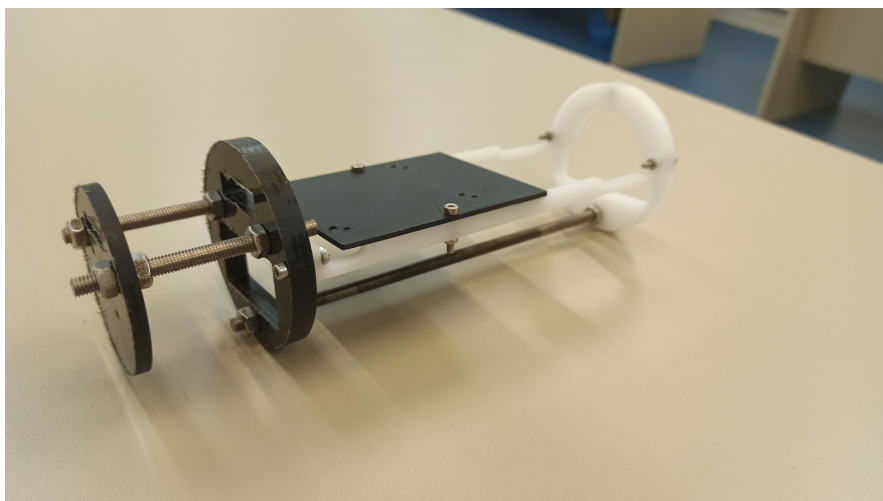


Figura 7: Suport intern desenvolupat per el projecte.

Tal com és veu a la figura, aquest consta de tres cercles, dos de grans on aniran les bateries i un de menor diàmetre en el qual s'instal·larà la càmera; i una placa rectangular en la qual es situarà el controlador principal del ROV.

3.2. Graus de llibertat:

Per comprendre el moviment del robot, és important entendre quins són els graus de llibertat que posseeix. El ROV del projecte constà d'un total de quatre graus de llibertat reals, els quals són:

- **Surge:** El *surge* és el moviment longitudinal del robot. Bàsicament, permet al robot avançar de front o d'esquena.
- **Heave:** És el moviment del robot respecte el seu eix vertical. En altres paraules, permet que el vehicle pugui emergir o submergir-se.
- **Roll:** Es refereix a la rotació sobre el seu eix longitudinal
- **Yaw:** Es refereix a la rotació sobre l'eix vertical del ROV. Aquesta rotació és la que permet canviar la direcció del desplaçament horitzontal del submergible.

Tanmateix, en la pràctica podem considerar que només té tres graus de llibertat, això es deu al fet que la rotació en *roll* no és d'interès i no s'utilitza en aquest cas.

A la Figura 8 es mostra una representació gràfica dels graus de llibertats.

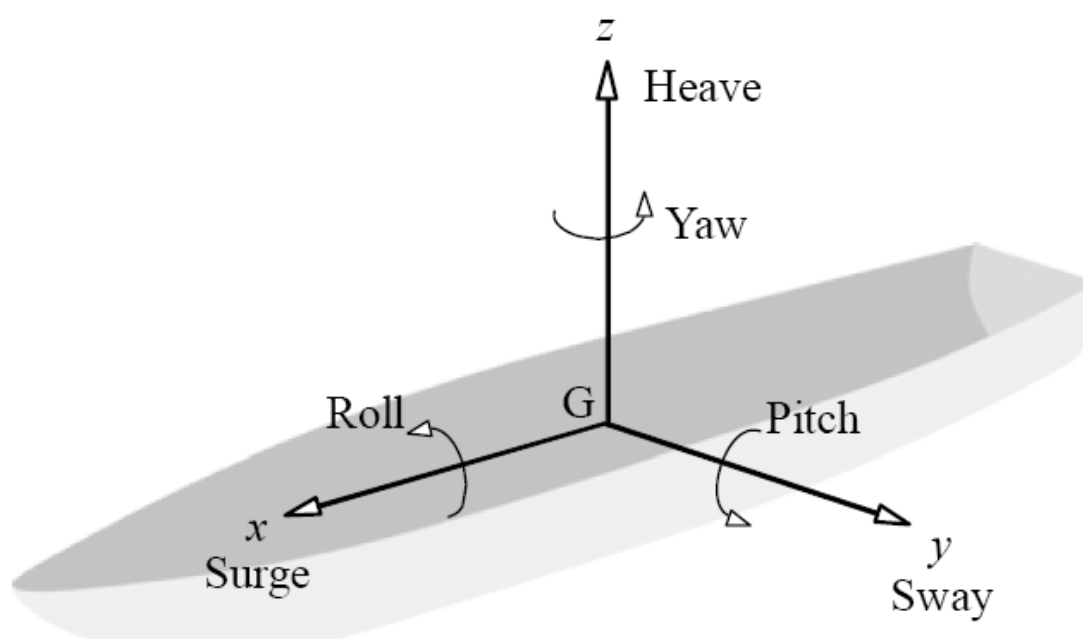


Figura 8: Sis graus de llibertat del moviment de un vaixell [6]

3.3. Sistema de propulsió:

El sistema de propulsió del submergible està format per quatre motors i els seus respectius controladors. La seva funció és la de procurar del moviment del ROV a dintre de l'aigua.

3.3.1. Motors:

Els propulsors utilitzats, són total de quatre motors de corrent continu trifàsics sense escombretes, amb una tensió nominal de 12 V, una velocitat angular de fins a 5300 rpm i un valor de KV de 460. KV es refereix al nombre de revolucions per minut al aplicar-li 1 Volt. Com més alt sigui aquest valor, més ràpid anirà però no tindrà ni tant acceleració ni tant de parell com amb menys KV. A la Figura 9 es pot veure una imatge d'exemple d'aquests motors.

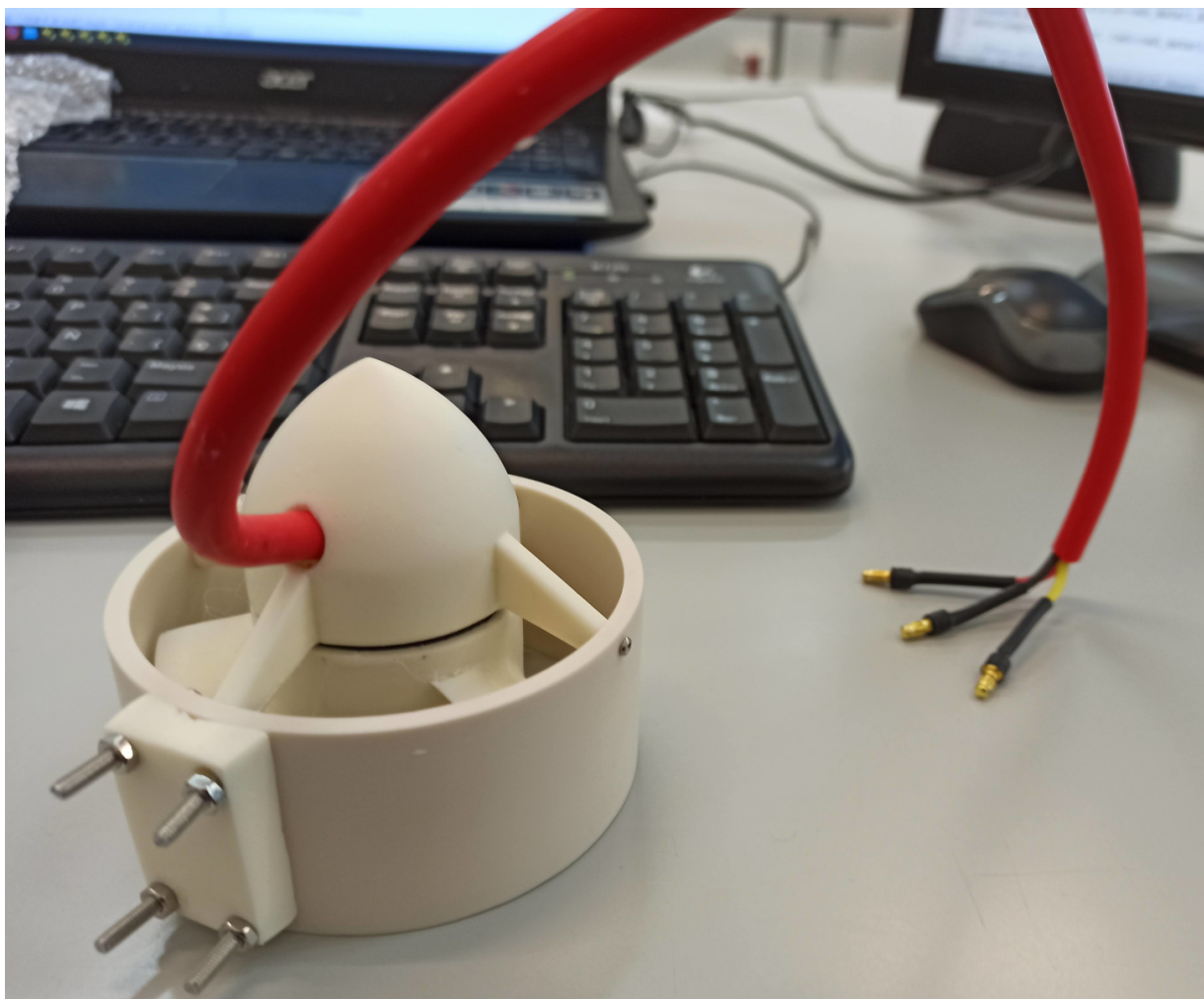


Figura 9: Fotografia d'un dels propulsors utilitzats

Els motors *brushless* o sense escobretes trifàsics, com la resta de motors, consten de dues parts principals: l'estator i el rotor. L'estator correspon a la part fixa del motor; que en aquest cas consta de tres bobines situades a 120° entre elles, on en cada una d'elles es pot induir un camp magnètic. El rotor correspon a la part mòbil del motor; consistint en un imant permanent, el qual genera un camp magnètic. La rotació, com és mostra en la Figura 10, s'aconsegueix induint un camp magnètic convenient a les bobines de l'estator, fent que aquestes atreguin o repelin l'imant del rotor.

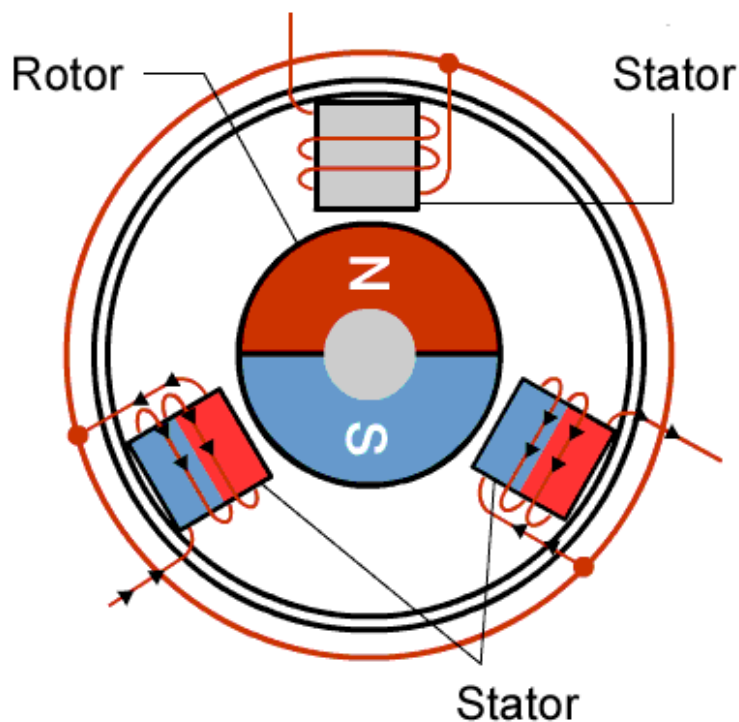


Figura 10: Representació del funcionament de un motor brushless [7]

Per controlar la velocitat i direcció del motor és necessari controlar en tot moment el camp magnètic induït a les bobines. Es requereix l'ús de hardware especial per poder utilitzar adequadament aquest tipus de motors, com poden ser els ESC, de l'anglès *Electronic Speed Controller*.

3.3.2. Controlador Electrònic de Velocitat:

Un controlador electrònic de velocitat o ESC, és un dispositiu amb la capacitat de controlar la velocitat i sentit de gir de motors trifàsics mitjançant l'intercanvi de la polaritat de les bobines dels motors. Aquest element és bàsicament un circuit electrònic format per transistors i que pot ser controlat amb l'ús de senyals de modulació d'amplada de polsos (PWM en anglès).

En el present projecte s'han utilitzat un total de quatre ESC de dos models diferents, el Afro ESC 30A de la marca AfroESC i els Basic ESC, ambdós comprats a BlueRobotics, veure Figura 11.

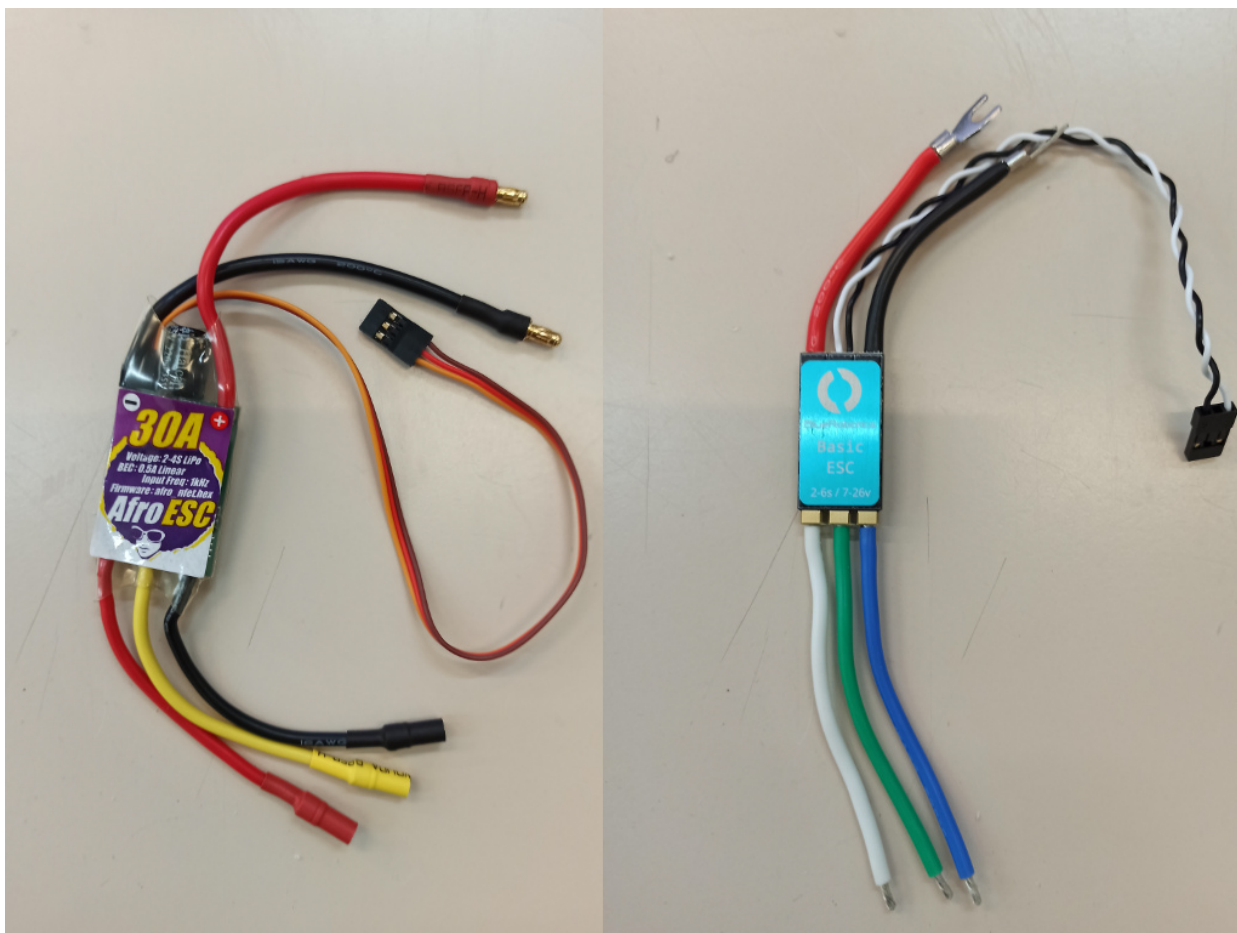


Figura 11: A l'esquerra un Afro ESC 30A i a la dreta un Basic ESC

El motiu pel qual s'utilitzen dos model diferents resideix en el fet de que en el CIRS ja en disposaven de dos controladors del model Afro ESC 30A. No obstant, aquest model ha estat retirat del mercat, sent els Basic ESC l'única opció que quedava si és volien obtenir dos ESC de qualitat. Tot i que siguin models diferents, funcionen de igual forma i el codi escrit per controlar-los es el mateix per ambdós.

El color dels tres cables que ha de connectar al motor és només per guiar-se, ja que intercanviar dos d'aquest únicament invertiria el sentit de gir del motor. Que al ser aquest bidireccionals, no representa un problema.

En la Figura 12 es mostra un exemple de com s'han de connectar els ESCs.

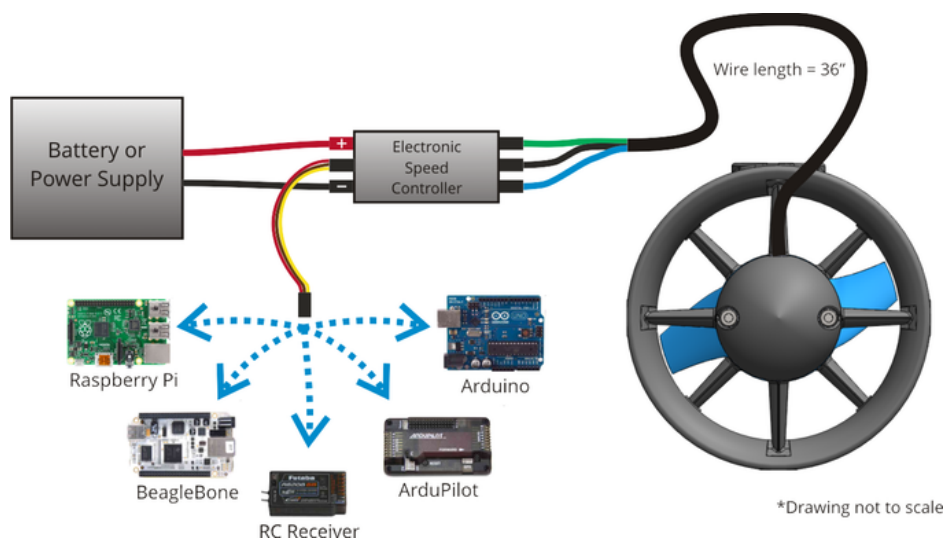


Figura 12: Esquema de connexió de un ESC. Imatge extreta de BlueRobotics

3.4. Controlador - Raspberry Pi 4:

Un dels elements essencials d'un ROV és el nucli, o *core* en anglès, aquest component és l'encarregat de processar les ordres rebudes, accionar els propulsors, etc. Així, l'element escollit per exercir aquestes funcions en el projecte és una Raspberry Pi 4, veure Figura 13.

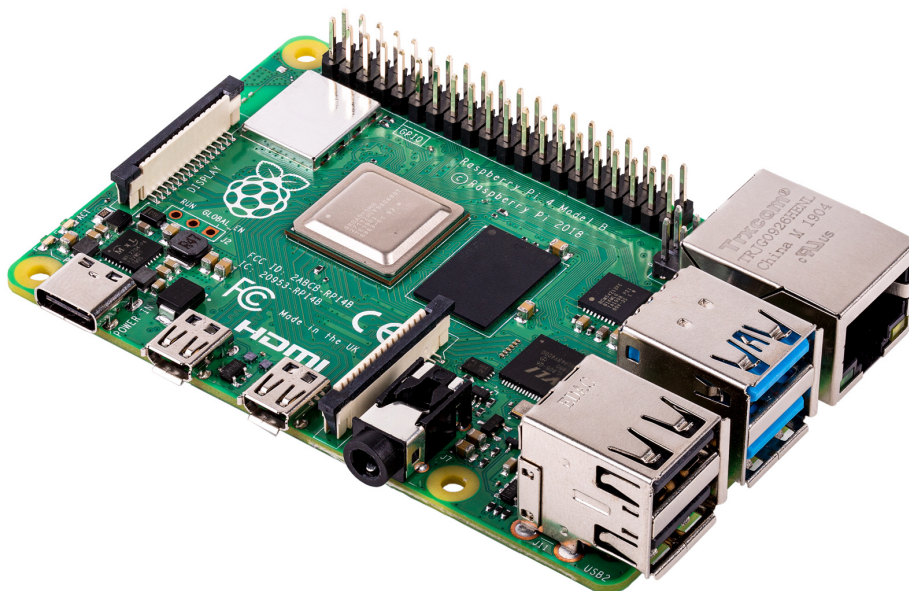


Figura 13: Raspberry Pi 4 - model B

La Raspberry Pi és un ordinador de baix cost desenvolupat per la Fundació Raspberry Pi en el Regne Unit [8]. Aquesta computadora va ser dissenyada amb l'objectiu d'ensenyar a programar a gent jove, tot i que, pel seu baix cost, l'ús d'aquests ordinadors s'ha estès a molts altres camps com la robòtica o la indústria. El model utilitzat, Raspberry Pi 4, és l'últim model que va entrar al mercat l'any 2019, compta amb un processador de quatre nuclis, un port Ethernet, 2,4 GHz i 5 GHz IEEE 802.11ac i un port USB-C per l'alimentació [9].

Aquest ordinador fa servir el sistema operatiu Raspberry Pi OS el qual està basat en GNU/Linux Debian i pot ser programada amb el llenguatge Python.

3.5. Bateries:

Tant la Raspberry com els motors requereixen d'una font d'alimentació o bateria per tal que puguin funcionar. Les dues bateries utilitzades han estat recuperades de l'anterior projecte.

En el cas de la Raspberry Pi 4, aquesta s'alimenta mitjançant un USB-C i necessita una tensió d'entrada de 5 V i mínim 3 A. Per això, s'utilitza la bateria Charmast Mini PowerBank 10400mAh [10], veure Figura 14, amb la que aconseguim la potència requerida i una autonomia de fins a 6 hores.



Figura 14: Charmast Mini PowerBank 10400mAh

Pel que respecta als propulsors, la bateria utilitzada és una bateria Li-Po 3S, 50C, 11.1V, 6000mAh, veure Figura 15.



Figura 15: Bateria Li-Po 3S, 6000mAh, 11.1V, 50C

Les bateries LiPo són les més utilitzades en projectes RC. A diferència de les típiques bateries NiMH, les LiPo poden tenir major capacitat, pesen menys, i la velocitat de descarrega és molt més elevada. Això últim permet que puguin alimentar a varis motors sense perdre potència molt més fàcilment. Tenen una vida útil més baixa, només 150-250 cicles, són sensibles i es necessita atenció i cura alhora de carregar, descarregar i emmagatzemar.

Aquestes bateries estan formades per cèl·lules. Cada cèl·lula té un voltatge nominal de 3.7V. Per obtenir una bateria de 11.1V és necessari posar 3 cèl·lules en sèrie (3S). Alhora de carregar s'ha de vigilar que totes les cèl·lules tinguin el mateix voltatge. Això ajuda en el rendiment de la bateria, tot i que també és crucial per raons de seguretat. És per això que és pràcticament obligatori utilitzar un carregador de balanceig. Aquest s'encarrega de carregar les bateries i mantenir-ne l'estabilitat.

El voltatge per cèl·lula de 3.7v no és la càrrega màxima. Una cèl·lula totalment carregada té 4.2V. Si el voltatge baixa de 3.0V, la cèl·lula deixa de ser estable i el seu ús seria perillós (F. Veciana i Buixeda, 2020).

3.6. Càmera:

La càmera utilitzada és una càmera per Raspberry de 5MP, com la mostrada en la Figura 16, la qual ve equipada amb un connector per raspberrys a més d'una lent d'ull de peix la qual permet obtenir un angle de visió de fins a 200°.



Figura 16: Càmera amb lent d'ull de peix.

3.7. Cable ethernet:

Sota l'aigua, les ones electromagnètiques s'atenuen ràpidament, obligant d'aquesta forma que l'única manera de comunicar-se amb el submergible sigui mitjançant l'ús de cables. Fent que la capacitat de immersió del robot depengui de la seva longitud.

Un dels objectius del treball és aconseguir augmentar la profunditat a la qual pot arribar el robot. En l'anterior projecte, aquesta fondària estava limitada a uns tres metres per culpa de la longitud del cable USB que connectava la Raspberry amb una antena situada en una boia. Això es deu al fet que els USB no estan dissenyats per a transmetre informació a distàncies llargues. Per aquest motiu, aquest cop s'ha decidit substituir l'USB per un cable Ethernet els quals es poden trobar fàcilment amb longituds de fins a 100m a més de no ser necessari realitzar soldadures.

Però, aquest fet implica que ja no es pugui utilitzar l'antena existent, al ser aquest un adaptador USB Wi-Fi. En el seu lloc, es proposa la idea de utilitzar una segona Raspberry la qual funcionaria de node que connectaria la Raspberry del ROV amb el control remot.

4. Descripció del Software:

En aquest apartat, s'explicaran els llenguatges de programació i les llibreries que s'han fet servir per controlar el robot i dissenyar la interfície de control remot, el protocol de comunicació utilitzat i les funcionalitats que el ROV posseeix.

4.1. MQTT Protocol:

MQTT, inicials de *Message Queuing Telemetry Transport*, és un protocol de missatgeria publicació/subscripció, molt lleuger, obert, simple i dissenyat per esser fàcil de implementar. Aquestes característiques el fan ideal per una gran varietat de situacions, incloent entorns limitats com pot ser en la comunicació màquina a màquina (M2M) i Internet de les coses (IoT). [11]

Per funcionar, l'arquitectura del protocol està formada per dues parts diferents: la primera és el *Broker* o servidor central al qual es connecten els clients i s'encarrega de filtrar i distribuir els missatges publicats entre els subscriptors d'acord amb els tòpics als quals s'ha subscrit; la segona part són els clients, que poden publicar missatges a un tòpic i, alhora poden subscriure's a un tòpic i així rebre missatges publicats en aquell tòpic. A la Figura 17 és mostra un exemple gràfic del seu funcionament. [12]

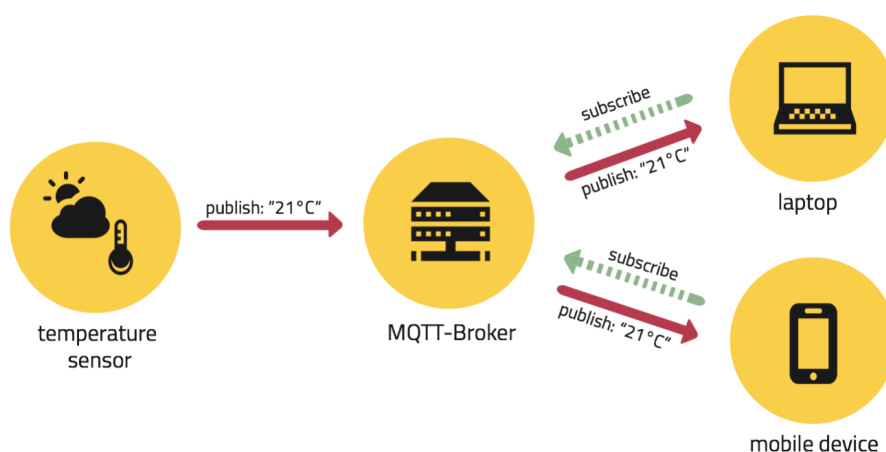


Figura 17: Esquema de funcionament del protocol MQTT [13]

Aquest protocol va ser utilitzat en l'anterior projecta i s'ha decidit mantenir-lo.

Finalment, es important informar que el *Broker* utilitzat és el *Mosquitto MQTT Broker* de *Eclipse Foundation*.

4.2. Raspberry Pi i Python:

Al ser la Raspberry l'ordinador que s'encarrega de dirigir el ROV, és necessari dissenyar *scripts* que permetin realitzar les accions desitjades. Per dur a terme aquesta tasca, s'ha utilitzat el llenguatge de programació interpretat Python al ser aquest un dels llenguatges oficials per programar la Raspberry.

En l'anterior projecte també es va recórrer al Python per programar la Raspberry, no obstant això, la major part del codi actual ha estat desenvolupat des de zero. Això és deu, en part, al canvi en la biblioteca emprada per controlar els pins de la Raspberry i que s'ha volgut cercar alternatives que permetessin executar les mateixes tasques de manera més eficient.

4.2.1. GPIO Zero:

La llibreria GPIO Zero [14] és una llibreria de Python dissenyada per poder controlar els pins de la Raspberry de manera fàcil i intuïtiva. Un dels avantatges d'aquesta llibreria resideix en el fet que internament empra llibreries que ja existien per programar els pins com la RPi.GPIO, una de les més comunes, i la PiGPIO, idònia per el control PWM.

Un dels motius que han provocat el canvi de llibreria consisteix en el fet que la GPIO Zero és molt més senzilla de llegir i escriure que la RPi.GPIO. L'altre motiu que ha impulsat a canviar de biblioteca es deu que per poder utilitzar els nous motors cal fer servir utilitzar el control PWM i per això la llibreria PiGPIO és millor que RPi.GPIO.

No obstant, per poder utilitzar la biblioteca PiGPIO, es necessari instal·lar i inicialitzar l'eina *pigpiod*.

En el present projecte, aquesta es usada per controlar els motors del ROV.

4.2.2. OpenCV:

OpenCV és una llibreria de visió artificial de codi obert desenvolupada per la companyia Intel i llançada per primer cop l'any 1999. OpenCV suporta una gran

quantitat de llenguatges programació com C/C++, Python, Java, etc, i està disponible per GNU/Linux, Windows, Android, OS X i iOS [15]. A l'estar sota la llicència BSD, es permet el seu ús amb propòsits comercials i d'investigació.

Actualment, aquesta biblioteca conté més de 2500 algoritmes, que poden ser utilitzats per detecció i reconeixement facial, identificació d'objectes, rastrear objectes en moviment, extreure models 3D d'objectes, etc.[16]

En el projecte presentat, aquesta llibreria ha estat utilitzada per escriure un programa pel seguiment d'objectes.

4.2.3. Eclipse Paho MQTT Python:

La llibreria Eclipse Paho MQTT Python, o Paho MQTT, es tracta d'un projecte de *Eclipse Foundation*, que implementa les versions 5.0, 3.1.1, i 3.1 del protocol MQTT .

Dita biblioteca proveeix una classe client la qual permet que les aplicacions puguin connectar-se a un servidor MQTT i poder publicar missatges, subscriure's a tòpics i rebre missatges publicats [17].

En el projecte, aquesta llibreria es utilitzada per permetre la comunicació entre la Raspberry i el dispositiu des del qual es controla el ROV a distància.

4.3. Control remot - Interfície Web:

Al final de l'anterior projecte es va proposar crear una nova aplicació per mòbil utilitzant el programa *Android Studio*, que serveix per programar amb el llenguatge Java. Tanmateix, en el present treball s'ha decidit per dissenyar una interfície web per navegadors, mitjançant la qual es pot controlar el ROV. Aquesta interfície ha estat escrita amb: el llenguatge de marcat HTML, de l'anglès *HyperText Markup Language*; el llenguatge de disseny gràfic CSS, de l'anglès *Cascading Style Sheets*; i el llenguatge de programació interpretat JavaScript. Aquest tres llenguatges són molt populars en el disseny de pàgines web i tots els navegadors actuals són capaços d'interpretar el codi en JavaScript, permetent d'aquesta manera que la interfície web sigui multiplataforma i pugui ser utilitzada en Android, Linux, Windows, iOS entre d'altres sistemes.

El navegadors web no tenen suport per el protocol MQTT. Per solucionar aquest inconvenient, s'ha utilitzat la llibreria Paho JavaScript Client [18], de *Eclipse Foundation*, i permetre així comunicar-se amb el *Broker* de MQTT.

Aquesta llibreria client, utilitza el protocol *WebSocket* per així poder comunicar-se amb el *Broker* MQTT.

4.4. Reproducció de vídeo en directe:

En el treball anterior, el robot podia transmetre vídeo fent ús del mòdul de càmera de la Raspberry i un programa de codi lliure anomenat *mjpg-streamer*, el qual, després d'estudiar el seu funcionament s'ha decidit conservar.

Aquest programa el que fa és copiar els fotogrames JPEG (*Joint Photographic Experts Group*) de una o més entrades donades, com pot ser la càmera de la Rapsberry, i que pot enviar-los en temps reals mitjançant el protocol HTTP. Per visualitzar el vídeo, el software utilitzat ha de poder suportat el format MJPEG (*Motion JPEG*). [19]

El fet de que el fotogrames estiguin en format JPEG i el protocol per transmetre'l sigui HTTP, permet que aquest pugui ser visualitzat amb HTML sense problemes.

Per visualitzar el vídeo, només cal conèixer l'IP del dispositiu des del qual transmet el vídeo i el port que ha estat especificat per enviar-lo. Així, només cal introduir a la barra de cerca del navegador la direcció en el següent format:

<http://IP:port/?action=stream>

Aquesta eina, també permet realitzar fotografies. Per això, basta amb substituir *stream* per *snapshot*.

4.5. Comportament autònom:

Finalment, un altre aspecte que s'ha decidit mantenir del projecte antecessor és el comportament autònom de seguiment d'objectes.

L'anterior ROV posseïa un *script* escrit amb Python i la llibreria OpenCV que, en executar-lo, feia que el robot perseguís un objecte d'un color predeterminat. Aquest codi, donava ordres als motors depenent de la posició de l'objectiu respecte de la

càmera, posició que determinava mitjançant l'ús de l'algorisme *Connected-Component Labeling* o CCL.

4.5.1. Segmentació per color:

Com ja s'ha comentat, l'antic robot podia seguir objectes d'un color ja predefinit. Per això, abans d'aplicar l'algorisme CCL és necessari aïllar el color escollit i el millor mètode per fer-ho és, enlloc del conegut RGB (*Red, Green, Blue*), utilitzar el model de color HSV, inicials que es refereixen al matís (*Hue*), saturació (*Saturation*) i brillantor (*Value*). [20]

La llibreria OpenCV posseeix totes les eines necessàries tant per el canvi de model de RGB a HSV com per la segmentació.

4.5.2. *Connected - Component Labeling*:

L'algorisme CCL és emprat en visió per computació per identificar regions connectades en imatges binàries, tot i que també pot ser usat amb imatges en color. Dit algorisme soluciona el problema de detectar àrees d'una imatge que es troben connectades físicament, sense importar el color. [21]

Depenent de com s'utilitzi aquest mètode, els píxels poden ser considerats del mateix grup si és toquen per un dels quatre costats (*4 connectivity*) o per un dels costats o cantonades (*8 connectivity*).

En l'anterior projecte, la implementació de l'algorisme va ser dissenyada per l'estudiant, no obstant, en el treball actual, es va descobrir que la mateixa llibreria OpenCV té l'opció d'aplicar-lo. Aquest fet, permet que el codi sigui molt més lleuger i la seva execució més ràpida.

5. Desenvolupament i construcció del robot:

En aquest apartat, s'explica el procediment i les passes seguides alhora de dissenyar i construir el robot.

5.1. Compartiment estanc:

El compartiment estanc, el qual és heretat de l'anterior projecte, va ser comprat a l'empresa BlueRobotics i el seu muntatge consisteix encaixar totes les peces (F. Veciana i Buixeda, 2020), veure les figures de sota, que el conformen.



Figura 18: Cast Acrylic Tube (3" Series)



Figura 19: O-Ring Flange



Figura 20: Dome End Cap (3" Series)

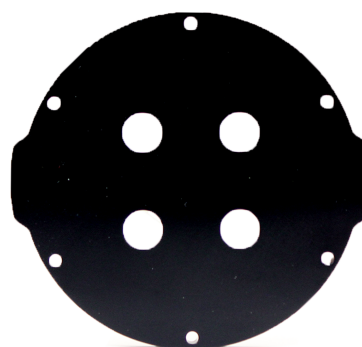


Figura 21: Aluminium End Cap with 4 holes (3" Series)



Figura 22: Enclosure Vent and Plug



Figura 23: M10 Cable Penetrator (6mm Cable)

La única excepció ha estat la tapadora d'alumini, Figura 21, a on s'han d'instal·lar els penetradors a través dels quals els cables dels motors i l'ethernet s'introdueixen a dins del compartiment. Doncs els quatre forats existents no donaven abast i ha estat necessari fer un cinquè forat, veure figures 24 i 25.



Figura 24: Tapa d'alumini amb un nou forat al mig

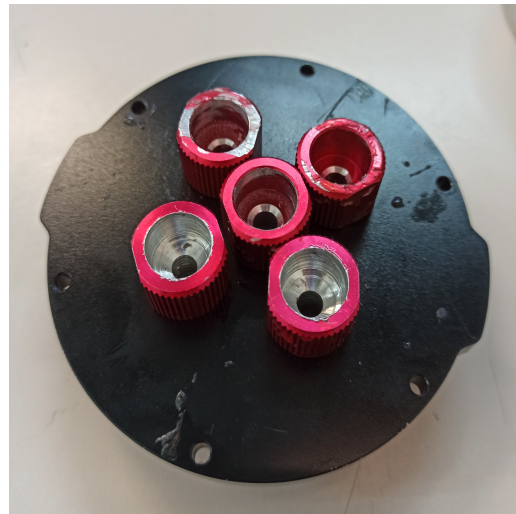


Figura 25: Tapa d'alumini amb els cinc penetradors integrats

5.2. Disseny, construcció i muntatge de l'esquelet:

5.2.1. Disseny de les peces:

Les peces que formen l'esquelet han estat dissenyades amb OpenSCAD, un programa de codi lliure de modelat 3D CAD. Aquesta eina, enlloc de ser un editor interactiu com seria Autocad, és com un compilador 3D en el qual l'usuari introdueix una serie de comandes que descriuen l'objecte i el programa les llegeix i renderitza el model 3D del codi. Un cop dissenyades, aquestes s'han hagut de projectar en 2D i passar-les a format *.dxf* per tal de poder recrear-les amb la fresadora.

A les figures de sota, es mostren els models 3D de les peces.

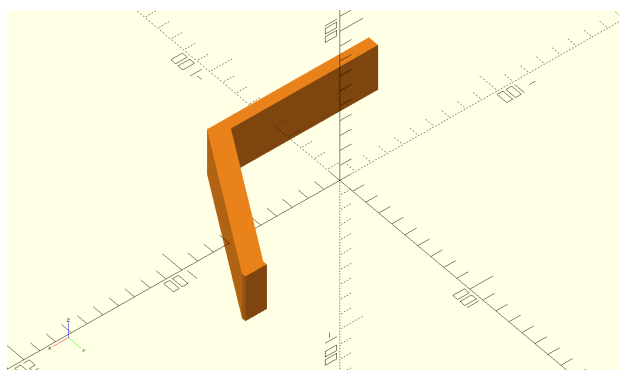


Figura 26: Suport per motor horitzontal

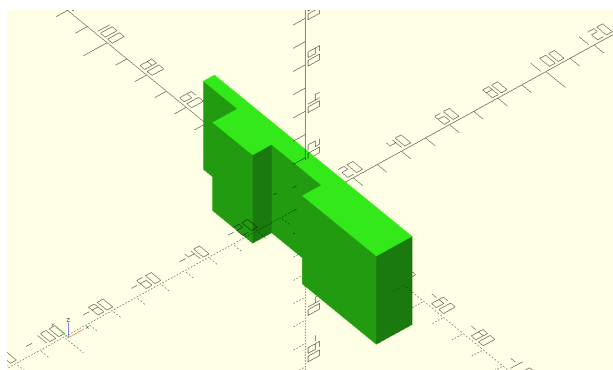


Figura 27: Suport per motor vertical

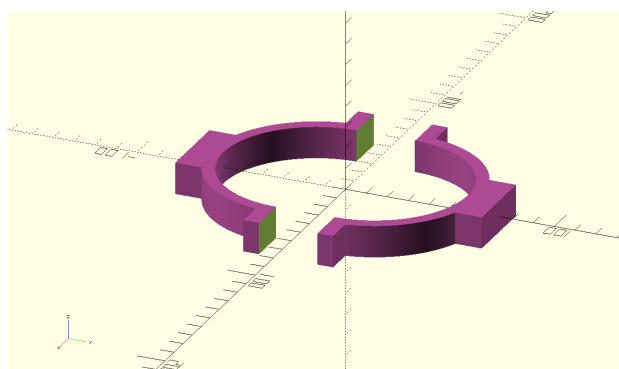


Figura 28: Anell davanter

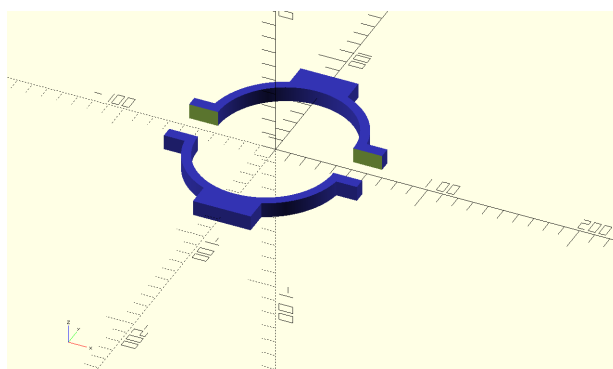


Figura 29: Anell posterior

Es oportú comentar que els anells estan dividits en dues meitats perquè així es més fàcil muntar i desmuntar l'estructura amb el compartiment estanc.

5.2.2. Fabricació de les peces:

Material:

- Models de les peces.
- Plàstic.
- 8x M4 rosca.

Eines:

- Perforadora i broques de mètric 3 i 4.
- Fresadora.

Un cop obtinguts els fitxers *dxf* de les peces, aquestes han estat fabricades usant la fresadora del CIRS, veure figures 30 i 31. Aquesta es tracta d'una fresadora vertical i es necessari especificar l'alçada de la de cada peça al utilitzar-la.



Figura 30: Fresadora



Figura 31: Peces acabades de fresar

Posteriorment, s'han de fer els forats per els quals passaran els cargols que uniran les peces entre elles i amb els motors.

Els forats de mètrica 3 serviran per fixar els motors a les peces de suport de l'esquelet, doncs els mateixos motors venen amb quatre cargols de dita mètrica amb les seves respectives femelles. La resta seran de mètrica 4, dels quals s'introduiran rosques de mètrica 4 als forats que uniran les peces de suport dels motors horitzontals amb els anells davanters, Figura 32, i els suports dels motors verticals.

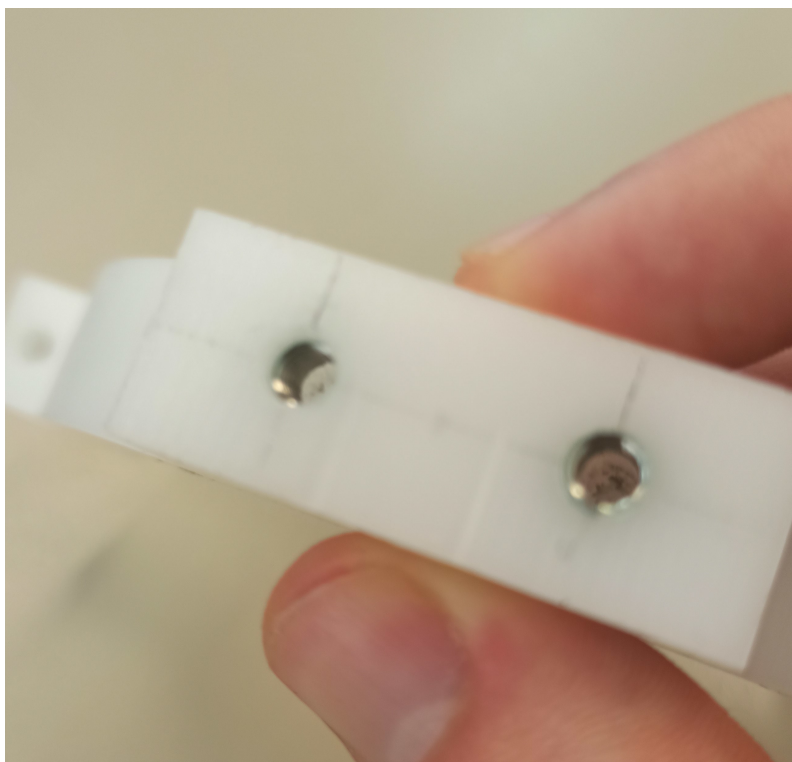


Figura 32: Forats amb rosca de l'anell davanter

Un cop s'han realitzat tots els forats i s'han inserit totes les rosques, només resta muntar l'estructura.

5.2.3. Muntatge de l'esquelet:

Materials:

- 16x M4 cargols.
- 8x M4 femelles.

Eines:

- Claus Allen

En armar l'esquelet, s'ha de començar per instal·lar els motors en els seus respectius suports, veure figures 33 i 34, doncs si es deixes per el final la seva col·locació es complicaria considerablement.



Figura 33: Motors horitzontals

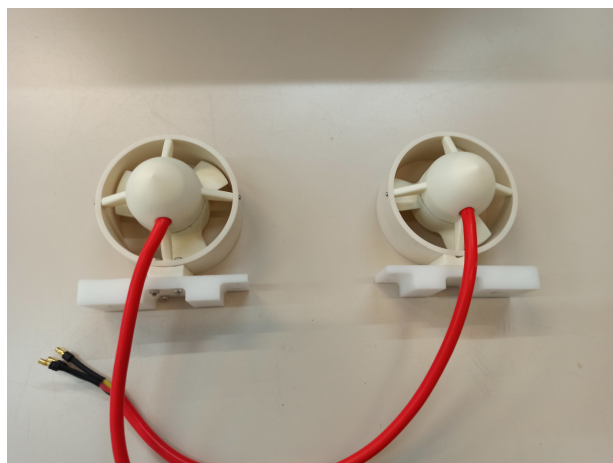


Figura 34: Motors verticals

Quan es munten els motors en l'esquelet, s'ha de tenir en compte la inclinació de l'hèlix. Els motors aparellats han de tenir les hèlices invertides entre ells. En altres paraules, si un gira en un sentit per avançar en una direcció, l'altre ha de girar en sentit contrari per el mateix. Fer això provoca que els moments dels motors s'anul·lin entre ells donant major estabilitat al ROV.

Un cop muntats els motors, ja només resta unir les peces, que es mostren en la Figura 35 abans de ser armades.

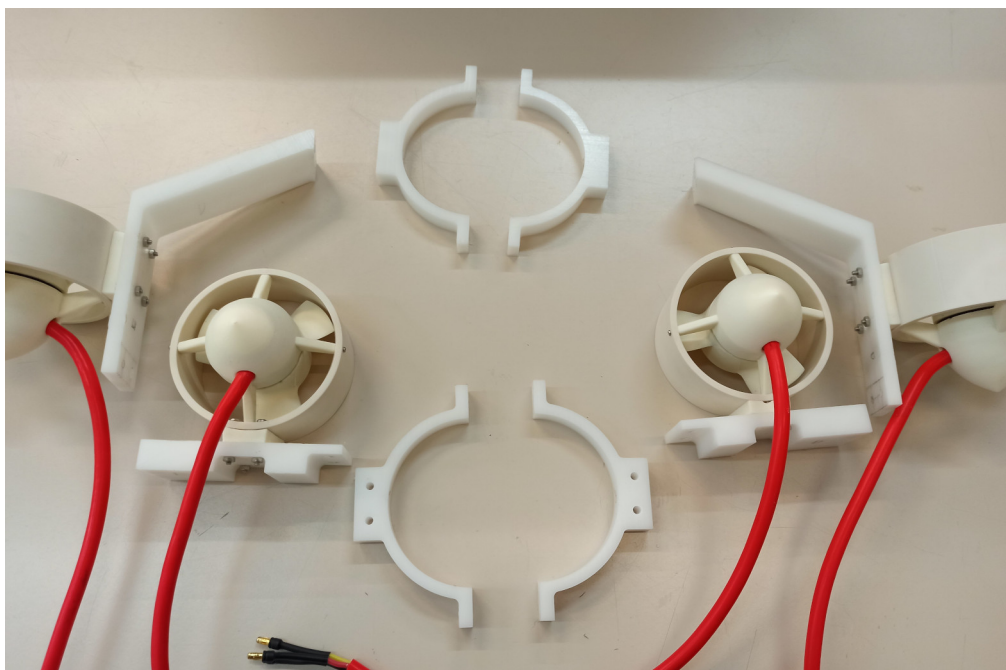


Figura 35: Conjunt de peces del ROV abans de ser muntades

Finalment, només queda unir l'esquelet al compartiment estanc, figures 36 i 37.



Figura 36: Esquelet abans de ser fixat amb el compartiment estanc



Figura 37: Esquelet unit al compartiment estanc.

5.3. Suport intern:

Les peces que conformen el suport intern del ROV han estat fabricades seguint el mateix procediment que les peces de l'esquelet, amb l'excepció de la placa on es situa la Raspberry, que ha estat creada amb una impressora 3D degut al seu reduït gruix.

Material:

- Peces de plàstic.
- 3 barres roscades de mètrica 6, de diferents longituds.
- 6 rosques de mètrica 6
- 4 cargols i rosques de mètrica 3

Eines:

- Claus Allen

El muntatge és simple i consisteix en unir les diferents parts de l'estructura.

A la Figura 38, es poden observar les peces abans de ser armades.

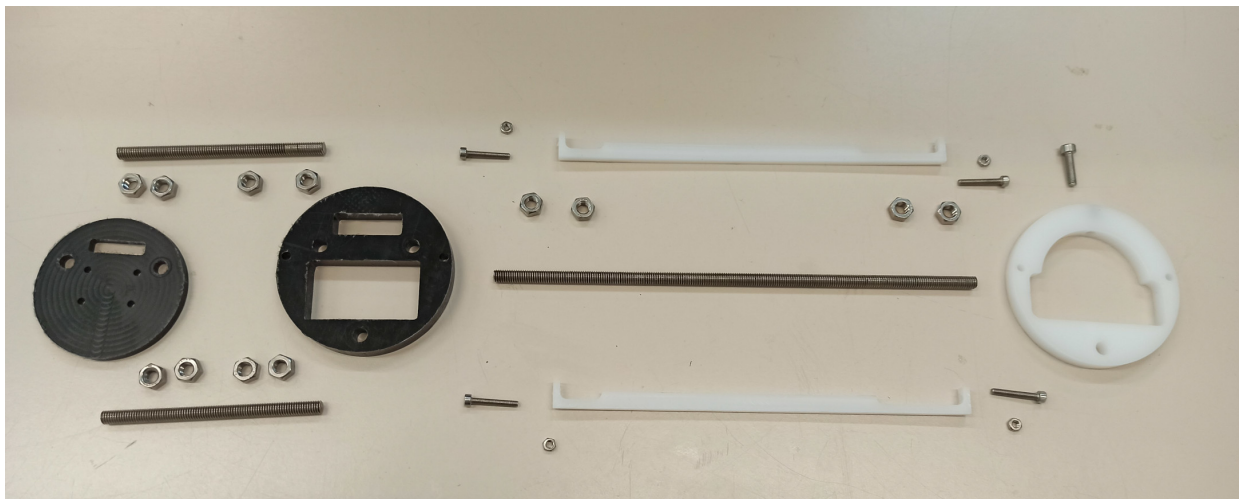


Figura 38: Peces que conformen el suport intern. El cargol a sobre el cercle blanc no s'ha fet servir.

Com es pot observar, hi ha un total de cinc peces de plàstic que han estat creades amb la fresadora. A la peça circular de menor diàmetre es col·locarà la càmera, mentre que a les altres dues, es situaran les bateries. La bateria LiPo s'encaixarà al rectangle gran del cercle negre i la bateria de la Raspberry es situarà en el cercle blanc.

Les barres blanques de plàstic es fixaran a les peces circulars mitjançant cargols de mètrica 3 i en elles es situarà posteriorment el suport per a la Raspberry.

Finalment, els cercles s'uneixen amb barres roscades de mètrica 6.

A la Figura 39 es mostra com queda l'estructura un cop muntada, mentre que en la Figura 40 es torna a presentar amb les bateries i la Raspberry.

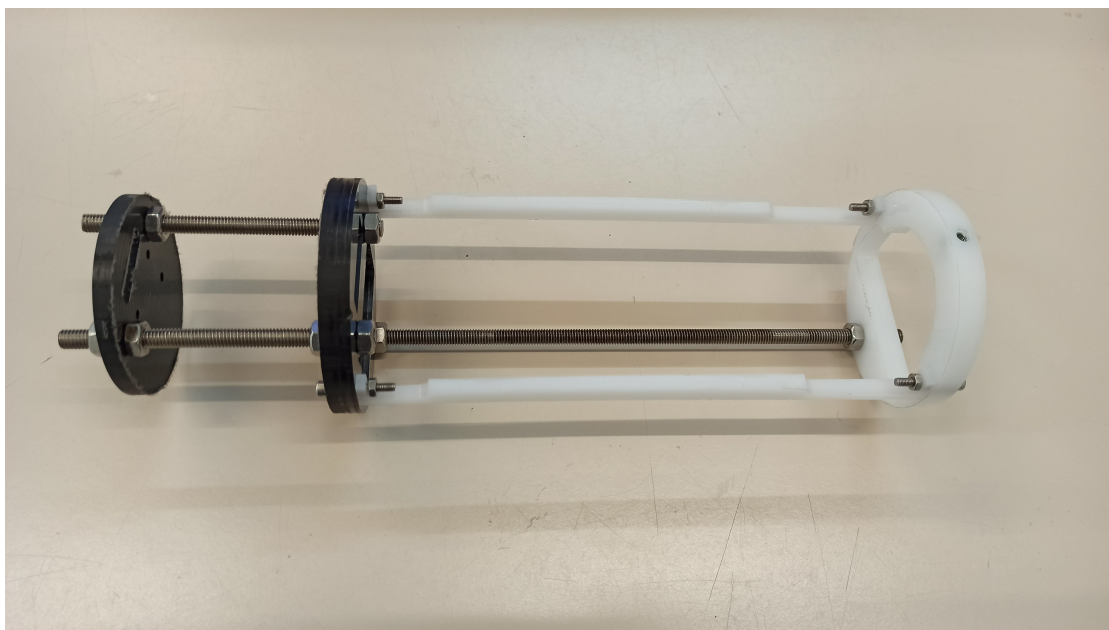


Figura 39: Suport intern muntat.

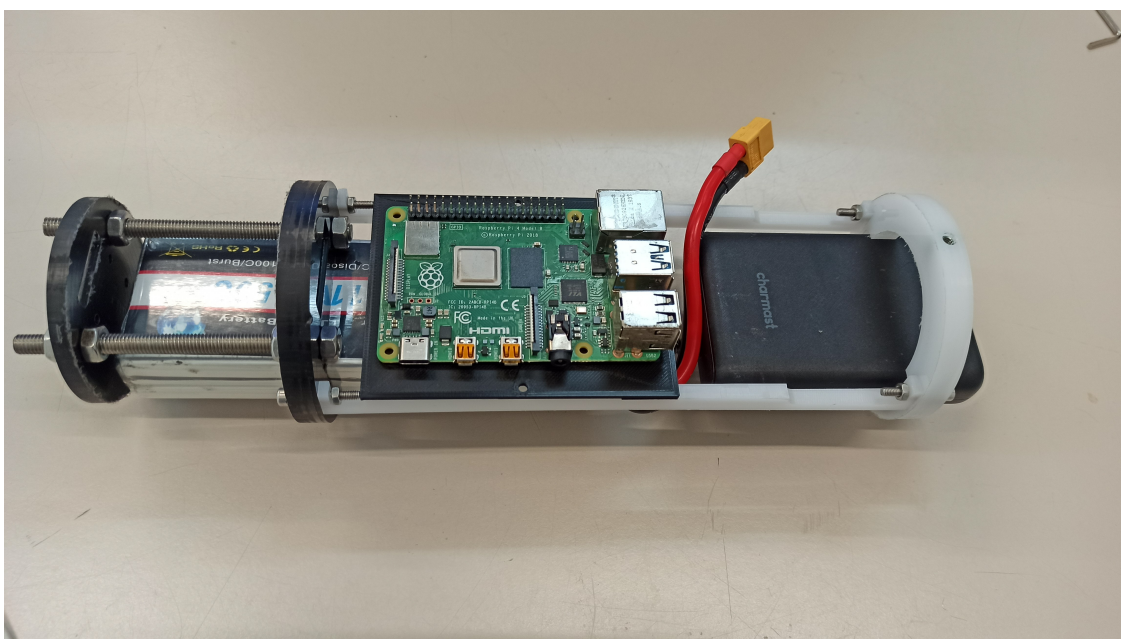


Figura 40: Suport intern amb les bateries i la Raspberry

5.4. Cablejat i segellat de la carcassa:

Abans de començar a connectar cables i muntar el sistema electrònic del robot, és necessari introduir els cables dels motors i l'ethernet, dins dels compartiment estanc a través dels penetradors i així poder assegurar l'estanquitat del cilindre acrílic.

Material:

- Carcassa
- Motors
- Penetradors
- Cola tèrmica
- Resina epoxi

Eines:

- Pistola de cola tèrmica
- estisores

El primer que s'ha de fer és introduir els cable dels motors i l'ethernet. Per als motors, és necessari tallar prèviament els capsals dels cable per tal de que puguin entrar, veure figures 41 i 42 . També caldrà pelar el tub vermell per obtenir la longitud de cable introduït desitjada.

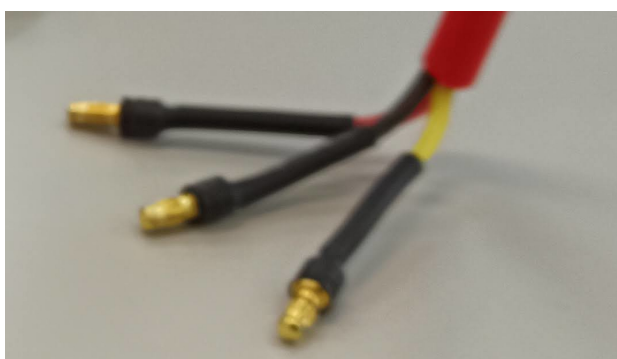


Figura 41: Cables dels motors amb capsal.

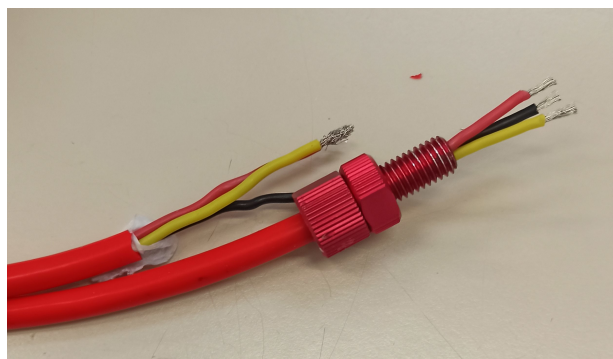


Figura 42: Cables dels motors tallat.

Un els cables dels motors i l'ethernet han estat introduït a dintre dels penetradors, aquest s'ha de fixar a la tapa d'alumini foradada. És important recordar que la rosca ha d'anar a dins del compartiment estanc i s'ha d'estar alerta de no perdre la junta tòrica.

A les imatges de sota es mostra com ha de quedar.

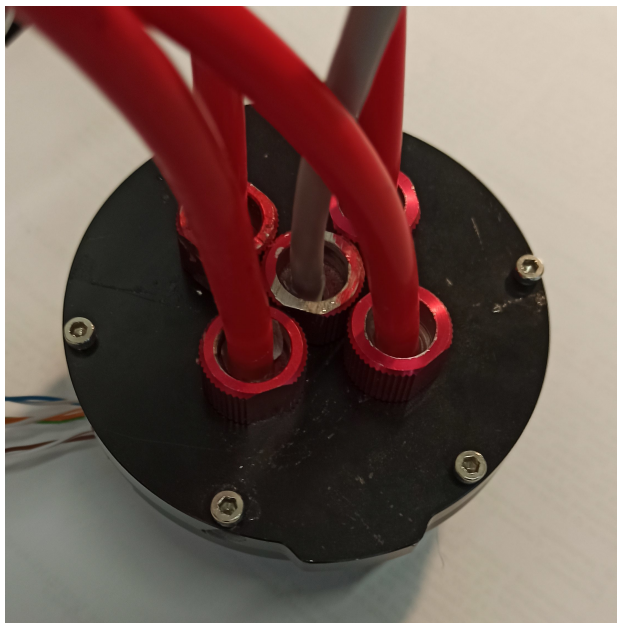


Figura 43: Cables introduïts per els penetradors. Part exterior.



Figura 44: Cables introduïts pels penetradors. Part interior.

Una vegada el cable han estat passats a través dels penetradors, aquests han estat coberts amb una resina especial per evitar l'entrada d'aigua. Veure Figura 45.



Figura 45: Penetradors amb resina.

5.5. Soldatge i electrònica:

Finalitzat el segellat del penetradors, només resta el muntatge de l'electrònica.

Material:

- Estany
- ESCs
- Connector IDC
- Connector RJ45

Eines:

- Soldador
- estisores
- Alicates per premisar els RJ45
- 30 metres de cable ethernet

Un cop l'esquelet, la carcassa, els motors i el suport intern han estat muntats, només resta connectar els elements elèctrics i electrònics del ROV.

El primer que s'ha fet ha estat unir els cables d'alimentació dels controladors de velocitat, com es mostra en la Figura 46. Això es deu al fet que els quatre ESC aniran connectats a la mateixa bateria.

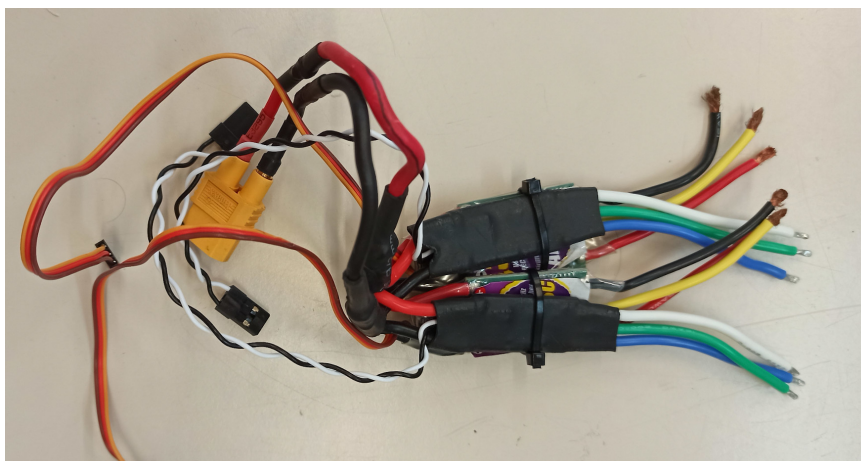


Figura 46: ESCs amb els cables d'alimentació soldats.

Després de soldar els controladors i comprovar novament el seu funcionament per evitar imprevistos, aquests han estat soldats als motors un cop finalitzades les proves d'estanquitat.

A l'hora de soldar, es va decidir que els Afro ESC es connectarien als motors verticals, mentre que els Basic ESC als horitzontals. El motiu resideix en què és més senzill controlar la velocitat amb els segons que amb els primers i que els canvis de velocitat s'utilitzaran més en els motors horitzontals que els verticals.

En la Figura 47 es mostren els cables durant el procés de soldat.

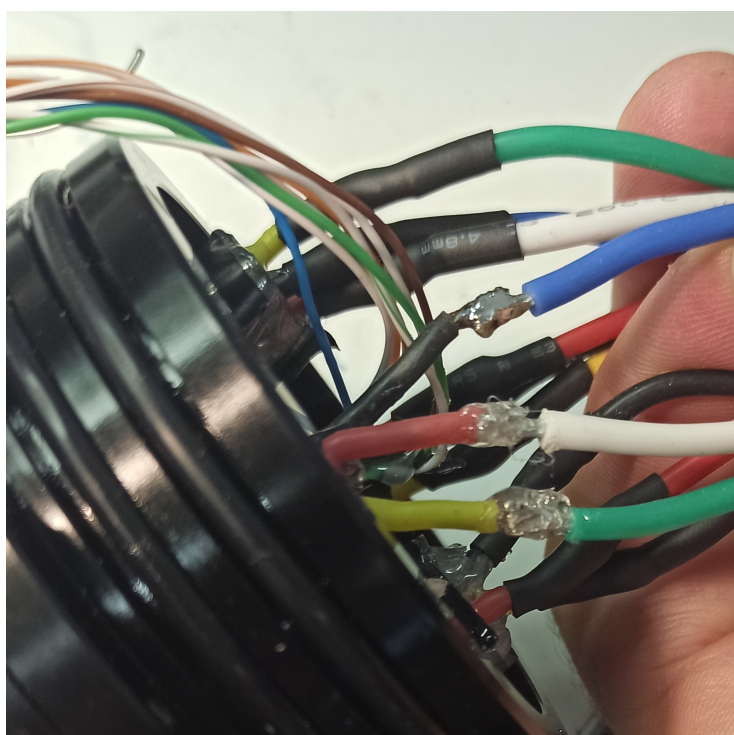


Figura 47: Cables d'un Basic ESC soldats a un dels motors.

Una vegada els ESCs han estat soldats als motors, el següent pas es connectar els cables restants d'aquests a la Raspberry. En els Afro ESC, el cable marró es connecta a un pin GND (*Ground*) o terra, el vermell es connecta a un dels pins de 5V i el cable groc s'ha de connectar a un dels pins GPIO (*general-purpose input/output*); en els Basic ESC, que contenen dos cables en lloc de tres, el negre es connecta a un pin de terra i el blanc a un pin GPIO.

Els ESCs no han estat connectats a la Raspberry, en canvi, s'utilitza un connector IDC (*insulation-displacement connector*), veure Figura 48, el qual s'endolla als pins d'aquesta.

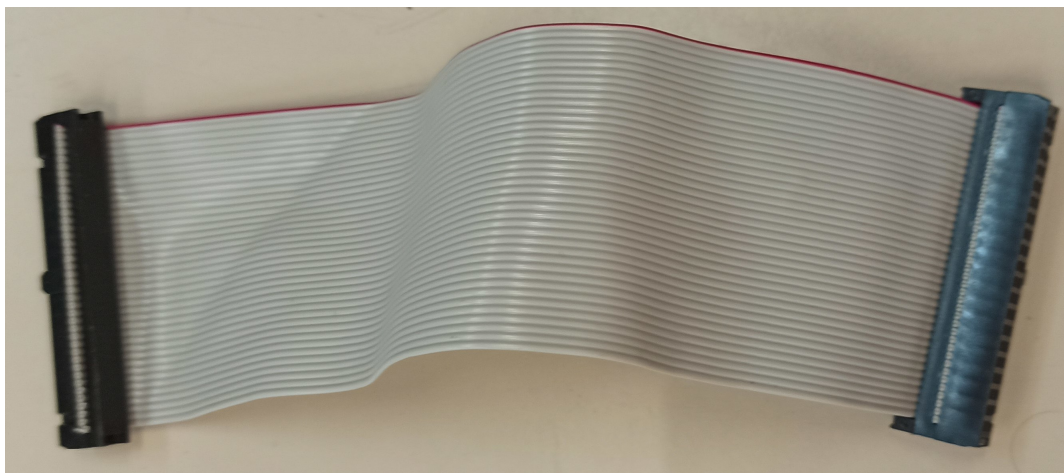


Figura 48: Connector IDC

Llavors, els cables dels controladors és solden als cables del connectors IDC que ens interessen, veure Figura 49.

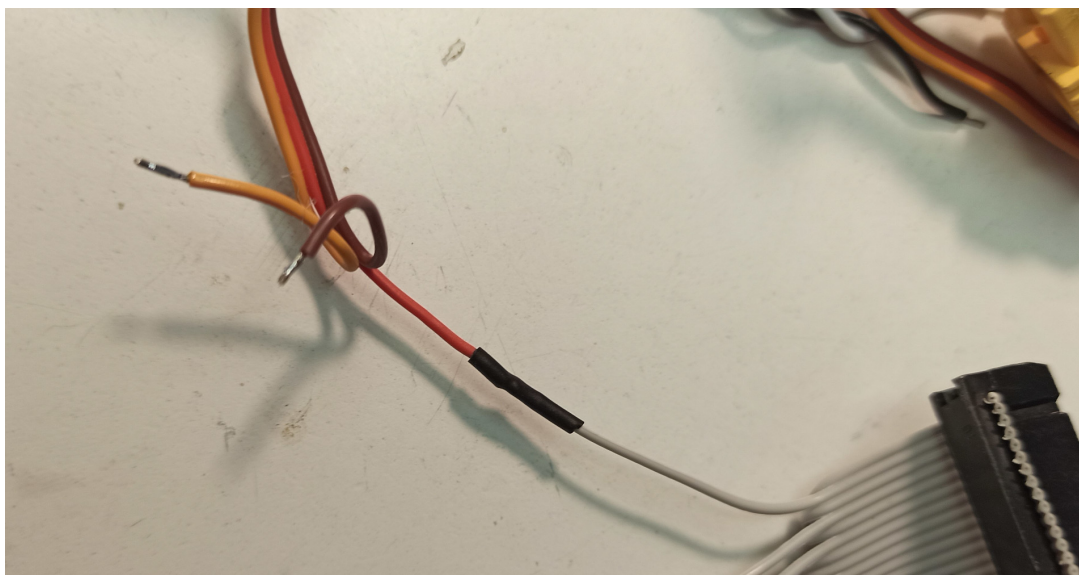


Figura 49: Soldatge dels cable dels ESCs amb el connector IDC

Un cop s'han soldat tots els cables, resta col·locar el capçal al cable ethernet. Per això es necessari un connector RJ45 i unes alicates especials per premsar-lo. Veure Figura 50.



Figura 50: Connectors RJ45 i alicates per premsar-los

I a la imatge a continuació es mostra com queda el resultat:



Figura 51: Cable ethernet amb el connector RJ45 inserit.

Amb tot això, només queda situar tot els components en el suport intern.

5.6. Col·locació dels elements en el suport intern:

Càmera:

La càmera es situa en el cercle de menor radi i els quatre forats del mateix han de coincidir amb els quatre forats de la càmera. El rectangle ha de quedar per sobre d'aquesta, tal com es mostra en la Figura 52.

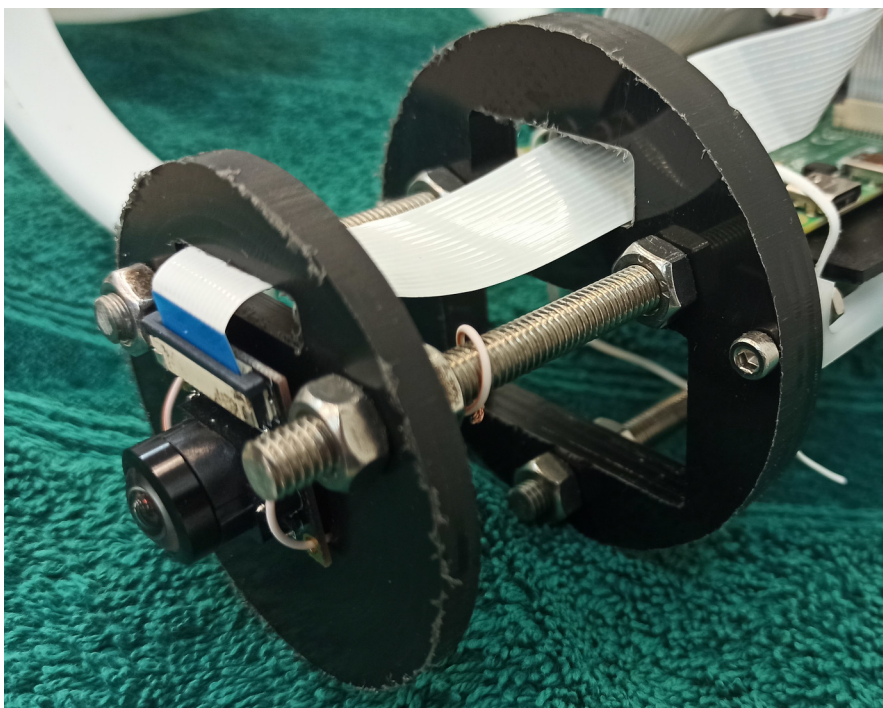


Figura 52: Càmera instal·lada en el suport intern

Originalment, es va pensar a utilitzar cargols per unir la càmera al suport, però, al no disposar de cargols tan petits, s'ha hagut de fer servir un fil fer fixar-la.

Bateria Li-Po:

La bateria LiPo va situada en el rectangle de la peça circular negra més gran, com s'observa en la Figura 53.

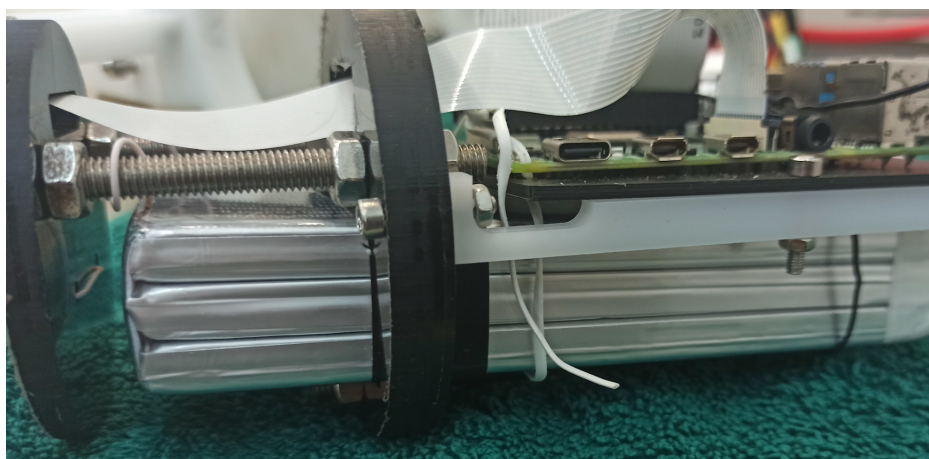


Figura 53: Bateria LiPo col·locada en el suport

Rapsberry:

La Raspberry és col·loca en la placa negra que hi ha a sobre de la bateria Li-Po, tal com es mostra en la Figura 54.



Figura 54: Raspberry situada en l'estructura interna

Al igual que amb la càmera, s'usen fils per fixar la Raspberry a la placa, el motiu es deu a que la bateria que hi ha a sota impedeix utilitzar cargols.

PowerBank i controladors:

La PowerBank i els ESCs es situen en la peça circular blanca, veure Figura 55.

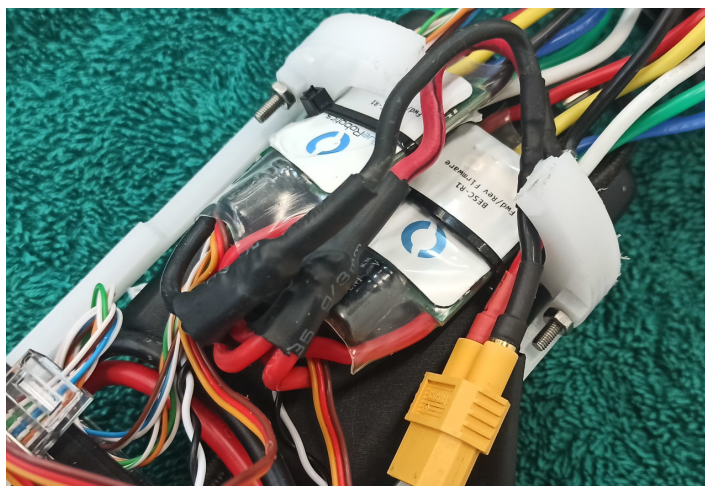


Figura 55: Col·locació de la Power Bank i els controladors

Com es pot veure en la imatge, el cercle blanc ha estat parcialment serrat, un canvi necessari ja que, d'altre forma, no era possible introduir tots els elements dins la carcassa.

Un cop fet, únicament resta connectar la Raspberry amb la PowerBank i els controladors amb la bateria Li-Po.

5.7. Muntatge final:

Per acabar d'armar el robot, el primer consisteix en introduir el suport intern amb tots els seus components connectats a dins del compartiment estanc. Veure Figura 56.

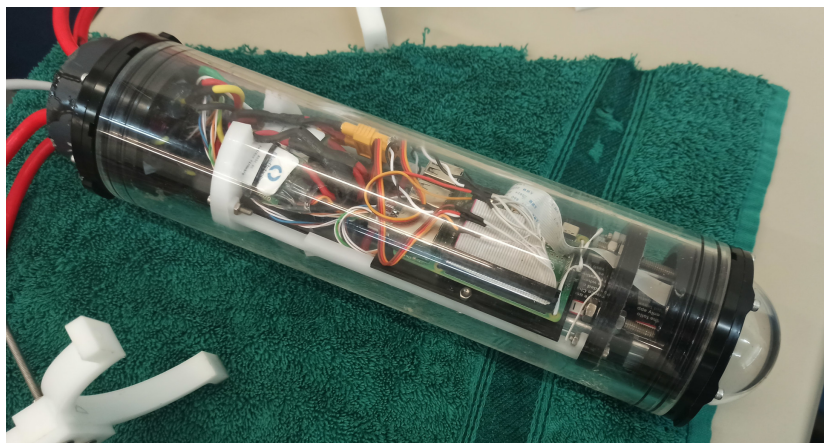


Figura 56: Carcassa amb el suport a l'interior

Llavors, a continuació es pot muntar l'esquelet en el tub acrílic, veure Figura 57.



Figura 57: Carcassa amb l'esquelet abans de ser muntat

Un cop l'esquelet ha estat muntat, l'últim pas consisteix en col·locar els topes que eviten que el compartiment es pugui obrir accidentalment. Figura 58.



Figura 58: Tapa posterior de la carcassa amb els tancadors

Amb això, el robot ja està llest per ser submergit dins l'aigua i navegar. A les figures 59 i 60 es pot observar el resultat final.

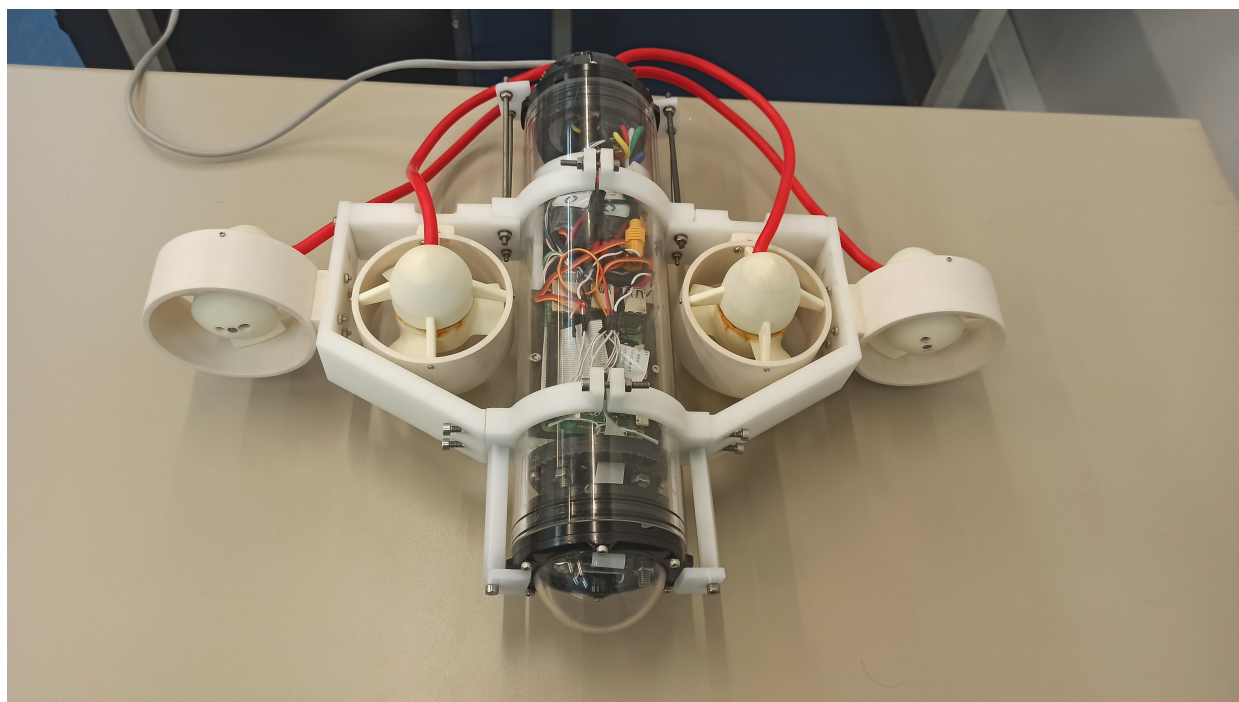


Figura 59: ROV completament armat

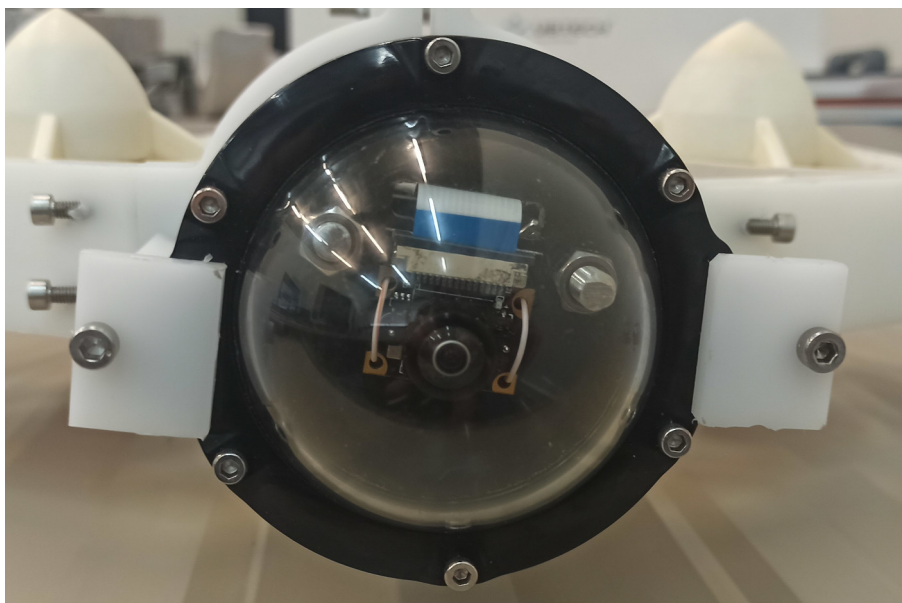


Figura 60: Vista frontal del ROV, es pot apreciar la càmera a dintre de la carcassa

6. Interfície Web:

En aquest apartat, s'explica com utilitzar la interfície web, que es pot fer amb ella i les funcions que posseeix.

La interfície està disponible en el següent enllaç: <https://jordi-menorca.github.io/>

Al obrir-la, el primer que apareix és una pantalla d'inici com la que es mostrada en la Figura 61.

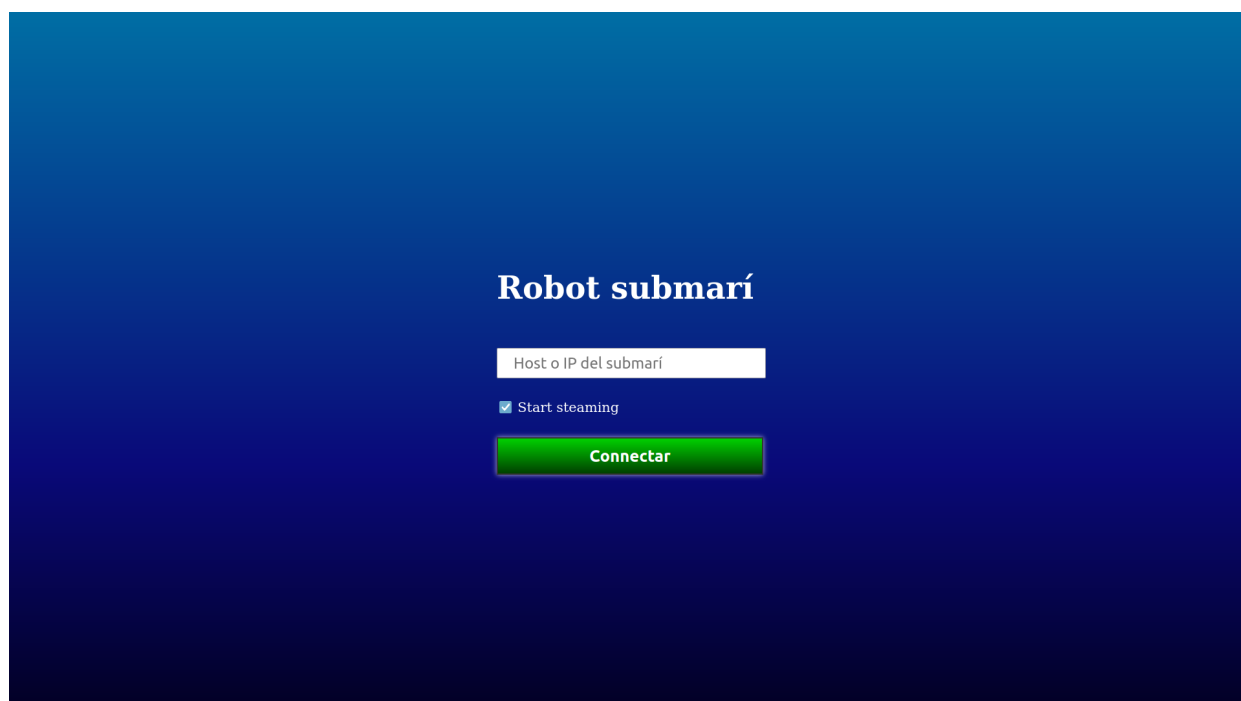


Figura 61: Pantalla d'inici de l'aplicació

En aquesta pantalla, s'ha d'introduir la direcció IP de l'ordinador o dispositiu en el qual es trobi el *Broker* MQTT. Un cop introduït la IP, s'ha de clicar el botó *connectar* i obrirà la pantalla de control, des de la qual es pot controlar el moviment del robot, capturar imatges, iniciar i aturar la transmissió de vídeo i habilitar el mode de seguiment de objectes.

La pantalla de control tindrà característiques diferents depenent del dispositiu des del qual s'ha accedit a la mateixa.

6.1. Versió de PC:

Si s'accedeix a la interfície des d'un ordinador, la pantalla de control que apareixerà serà la següent:

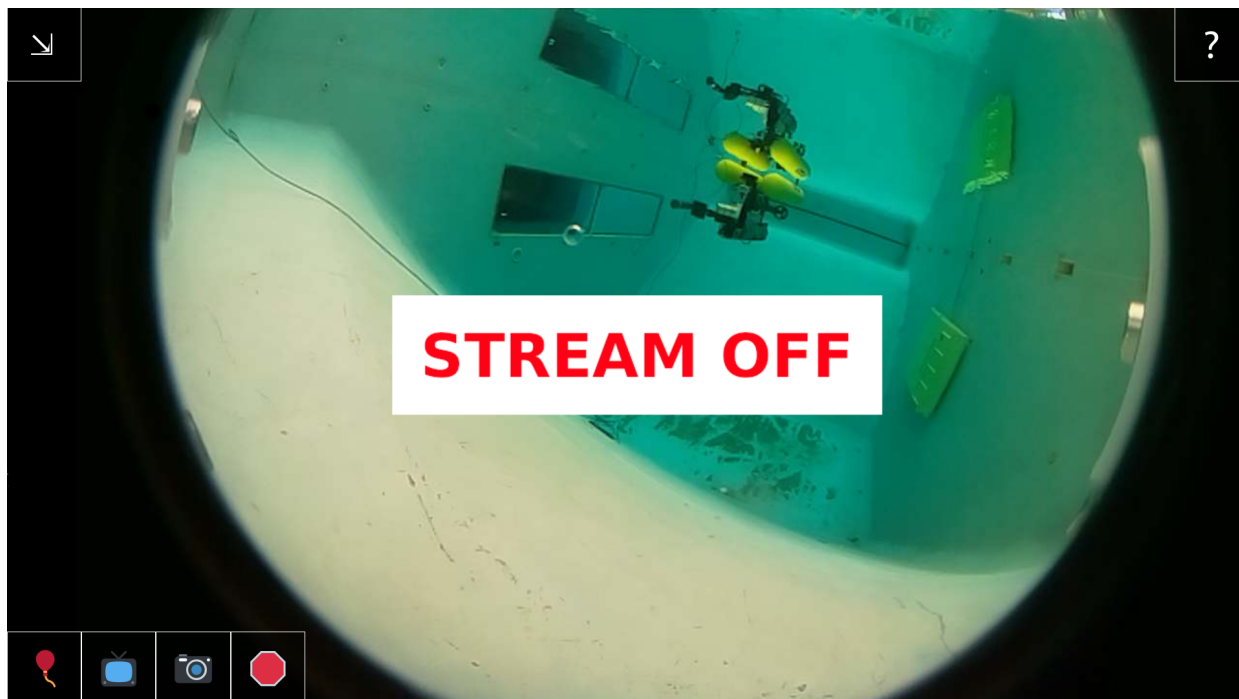








Figura 62: Pantalla de control per PC

La finestra nova s'obrirà en pantalla completa i amb una imatge indicant que la transmissió de vídeo no està disponible. Com s'observa en la figura, hi ha sis botons els quals compleixen les funcions esmentades en la Taula 1. Aquests botons són comuns per a tots els dispositius.

Taula 1: Botons de control comuns de la interfície web

	Habilita/deshabilita el mode de seguiment
	Inicia/pausa la transmissió de vídeo
	Realitza una captura de pantalla del vídeo
	Atura tots els motors
	Habilita/deshabilita el mode pantalla completa
	Mostra en pantalla la informació del control per teclat

Les imatges utilitzades per als botons són caràcters UTF-8, i per tant pot ser que es vegin diferents depenent del dispositiu.

Per altra banda, també s'observa en la imatge que no hi ha cap botó per al control el moviment del ROV. Això es deu al fet que la interfície en PC està pensada per utilitzar un teclat per controlar el robot. En la Taula és mostren quines són les tecles i les seves combinacions es fan servir.

Taula 2: Informació de les tecles de control del robot per teclat

↑ , W	Mou el robot cap endavant
↓ , S	Mou el robot cap enrere
⇒ , D	Gira el robot sobre ell mateix en sentit horari, ↻
⇐ , A	Gira el robot sobre ell mateix en sentit antihorari, ↺
⇐+↑	Mou el robot en direcció avant-esquerra
↑+⇒	Mou el robot en direcció avant-dreta
⇐+↓	Mou el robot en direcció enrere-esquerra
↓+⇒	Mou el robot en direcció enrere-dreta
Q	Mou el robot cap amunt
E	Mou el robot cap avall
H	Mostra un missatge d'ajuda del control per teclat
V	Activa/desactiva el vídeo
O	Captura la imatge de vídeo en pantalla
F	Activa/desactiva el mode de seguiment

Quan es premi una de les tecles de moviment, el robot es mourà mentre la tecla estigui pressionada. En el moment en que es deixi de polsar, el robot atura el seu moviment.

6.2. Interfície en telèfon mòbil:

Degut a que no es contempla utilitzar un teclat físic amb un telèfon mòbil, la interfície de control per a dispositius tàctils és una mica diferent, tal com es mostra en la Figura 63.

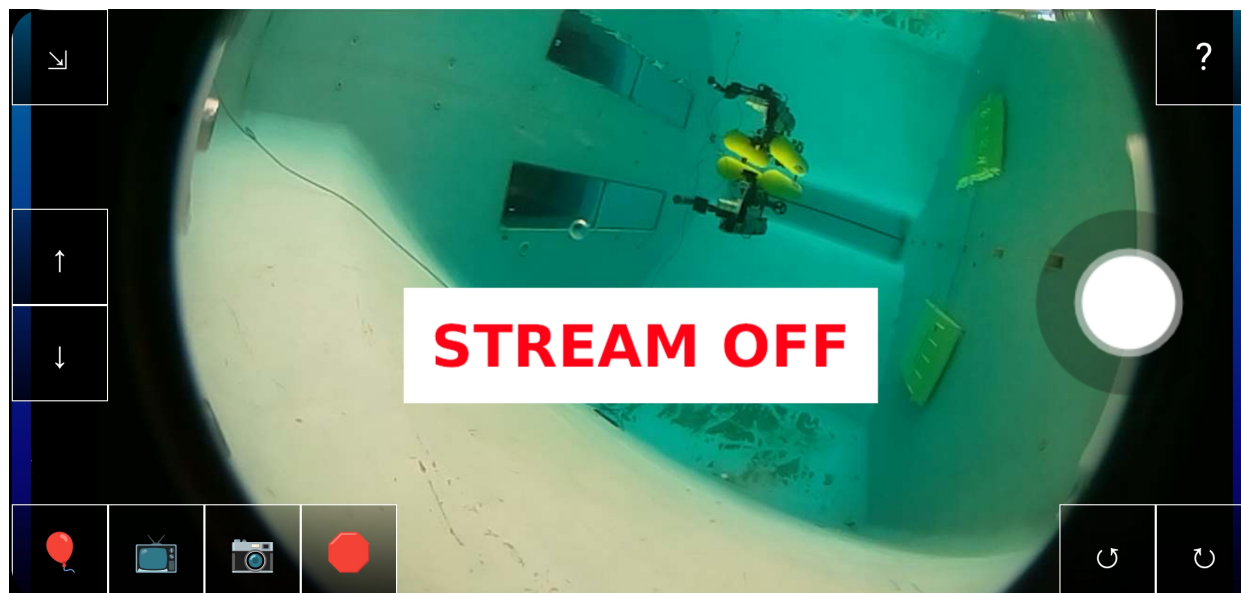


Figura 63: Captura de pantalla de la interfície de control per mòbil

Com s'observa en la imatge, a l'obrir el programa en un telèfon mòbil hi apareixen més elements que obrir-ho en PC.

El primer d'aquests elements, i dels més importants, és el *joystick* que hi ha a la dreta de la pantalla. Aquest *joystick*, permet moure el robot, cap avant i enrere, i canviar la direcció sense necessitat de fer rotar el submarí sobre ell mateix. A sota d'ell apareixen els botons ↶ i ↷ els quals donen l'ordre al robot de rotar sobre si mateix, en sentit antihorari i horari respectivament. Finalment, a l'esquerra tenim els botons ↑ i ↓, que permeten moure el robot cap amunt i avall respectivament.

Ambdues pantalles de control si bastant intuïtives i fàcils d'utilitzar. Tot i això, és més fiable controlar el ROV amb un ordinador que amb un telèfon mòbil, atès que l'ordinador pot esser connectat directament a la Raspberry amb el cable ethernet, evitant així interferències externes o pèrdues de senyal. A més, d'aquesta forma, el *Broker* pot ser situat a la Raspberry en lloc de l'ordinador. És oportú informar que això es possible gracies a la gran longitud del cable.

7. Proves i resultats:

7.1. Experiment 1: Funcionament dels Motors.

L'assaig de funcionament dels motors i dels seus controladors, van ser dels primers a dur-se a terme. Aquests es van allargar un temps a causa de problemes que anaven sorgint durant les proves i que s'havien de solucionar i a què la bateria LiPo es va espatllar, obligant a esperar un temps fins que es va obtenir una de nova.

El principal obstacle que es va fer front en aquests tests va ser el del correcte funcionament dels motors. Aquests funcionaven de manera bastant irregular, amb acceleracions i aturades brusques i continuaven girant quan se'ls donava l'ordre d'aturat. Finalment, es va descobrir que la causa era que la llibreria GPIO Zero utilitzava la llibreria de pins RPi.GPIO, la qual no és l'adequada per controlar els motors mitjançant el control PWM. Aquest problema va ser finalment solucionat a l'especificar manualment que la llibreria ha emprar fos la PiGPIO.

A la Figura 64 és mostra un exemple del muntatge realitzat per fer aquestes proves:

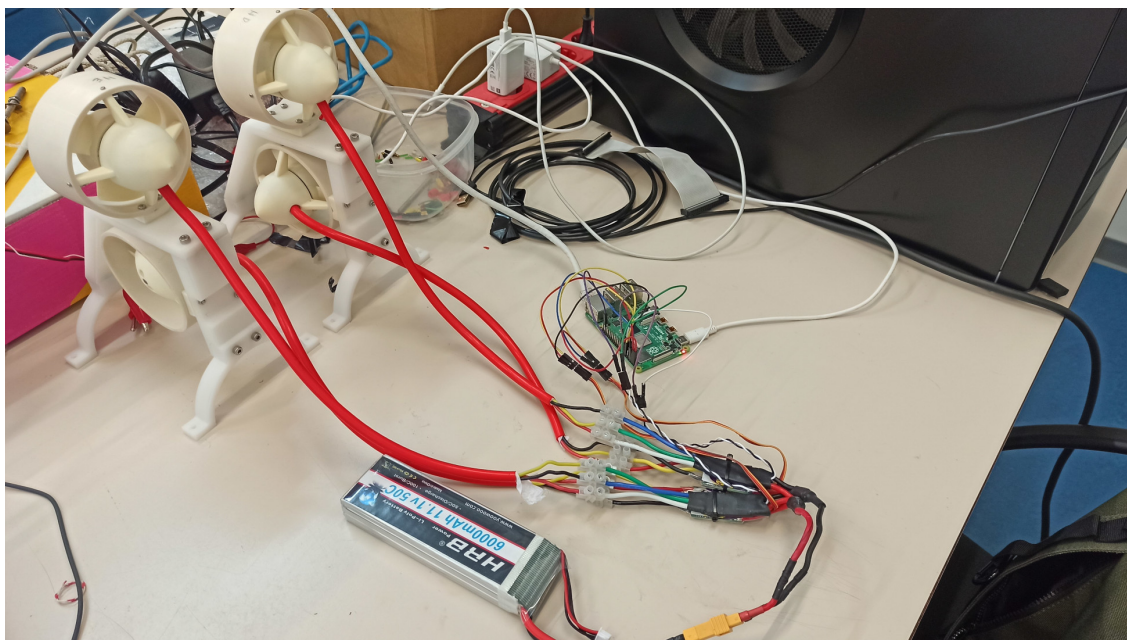


Figura 64: Test de funcionament i control dels motors. (5 de maig de 2022)

Per últim, també es va provar el funcionament del programa de seguiment d'objectes per color i sembla ser que funciona doncs encén, en el cas de l'experiment que era amb un sol motor, activa un motor al detectar un objecte de color vermell.

Anant a l'enllaç de sota, es poden observar vídeos d'algunes d'aquestes proves:

- https://www.youtube.com/playlist?list=PLdYP4Rbxgwu_-ppmxVbhZyzgiXQGoLh4e

7.2. Experiment 2: Impermeabilitat.

Aquests tests van ser duts a terme un cop van ser tancats els penetradors i abans de soldar els controladors per evitar problemes en cas que entrés aigua.

L'objectiu era comprovar si el compartiment era realment estanc i per aquest motiu, aquest va ser submergit durant uns minuts a poca fondària i amb paper a l'interior per comprovar si havia entrat aigua, veure Figura 65. En observar que no va ser el cas, el robot va ser submergit a una profunditat aproximada de cinc metres, veure Figura 66, durant tota una nit. Si en aquest temps no entrava aigua, significava que era estanc. (9 de maig de 2022).

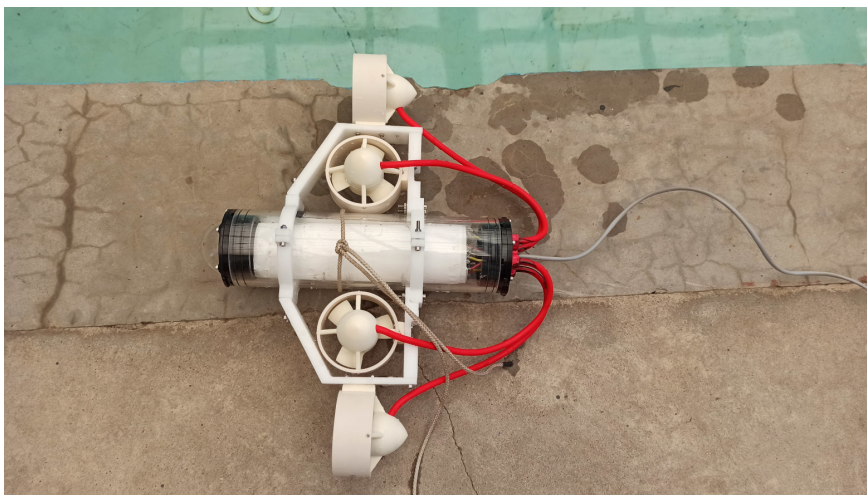


Figura 65: Robot amb paper a l'interior abans de ser submergit.

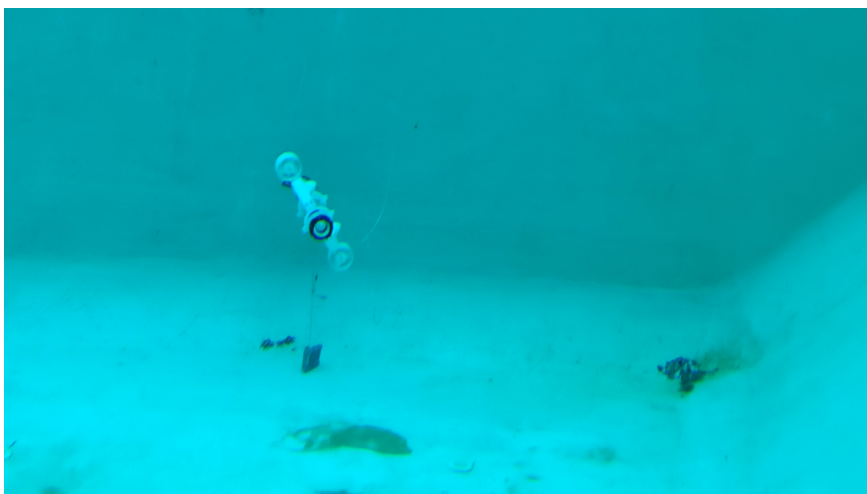


Figura 66: Robot submergit durant un test d'estanquitat..

Malgrat això, l'endemà, la cúpula a la part frontal de la carcassa va sortir quan s'estava extraient el ROV de l'aigua, fent que no es pogués extreure cap conclusió de la prova. Per evitar que es tornés a repetir, es van col·locar topes per evitar que, tant la cúpula frontal com la tapa amb els penetradors, es poguessin tornar a sortir, veure Figura 67, i es va repetir el test.



Figura 67: Els topes situats a proa i popa eviten que les tapes es surtin. (10 de maig de 2022)

En aquest no va haver imprevistos al moment de treure el robot fora de l'aigua, en canvi, el problema va ser que havia entrat aigua a dins. Intentant resoldre l'inconvenient i amb l'objecte de trobar la possible fuga, es van netejar les juntes tòriques que eviten que entri aigua per entre les parts de la carcassa i es va submergir durant una hora. Al veure que encara entrava aigua i que semblava que, aquesta, entrava pels cables, es

va decidir tornar a aplicar resina als cables dels motors amb els penetradors, cobrint-los completament, veure Figura 68.

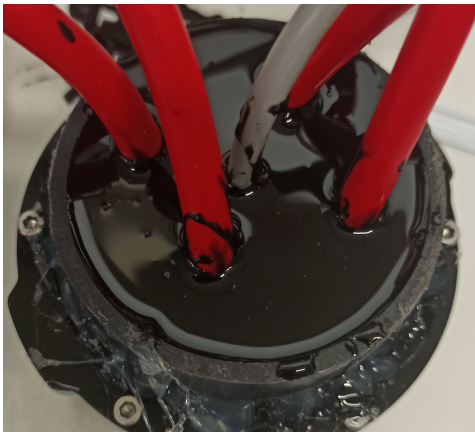


Figura 68: Nou enresinat. (11 de maig de 2022)

Malgrat tot, encara entrava aigua en deixar el robot submergit a uns cinc metres, tot i que en provar l'estanquitat a un metre, durant el mateix temps, no entrava aigua.

Després de diversos intents per localitzar i reparar la fuga, el 20 de maig és va descobrir que l'aigua entrava per dins de un dels cables de dos dels motors, veure Figura 69.



Figura 69: Es pot observar la gota en el cable vermell.
(20 de maig de 2022)

Això explica per què no havia entrat aigua en provar-ho a un metre de fondària, no hi ha prou pressió, i perquè tots els intents per solucionar el problema havien estat infructuosos. Aquest fet és preocupant perquè significa que l'aigua pot entrar pels motors i que aquest no estan adequadament protegits.

Al final, degut a que l'aigua que entrava era poca, o feia a poc a poc i al augmentar la profunditat, és va decidir acabar de muntar el robot i l'electrònica i fer les primeres proves en sec i posteriorment en superfície i si es considera oportú, a major profunditat.

Per reduir els riscos, al soldar els motors amb els controladors, es va afegir cola tèrmica als cables del propulsors i així dificultar l'entrada d'aigua que pogués danyar l'electrònica del ROV.

7.3. Experiment 3: Proves en sec i comprovació dels motors.

Uns dies després de començar amb les proves d'estanquitat va començar a aparèixer òxid a l'exterior dels motors, com s'observa en la Figura 70.

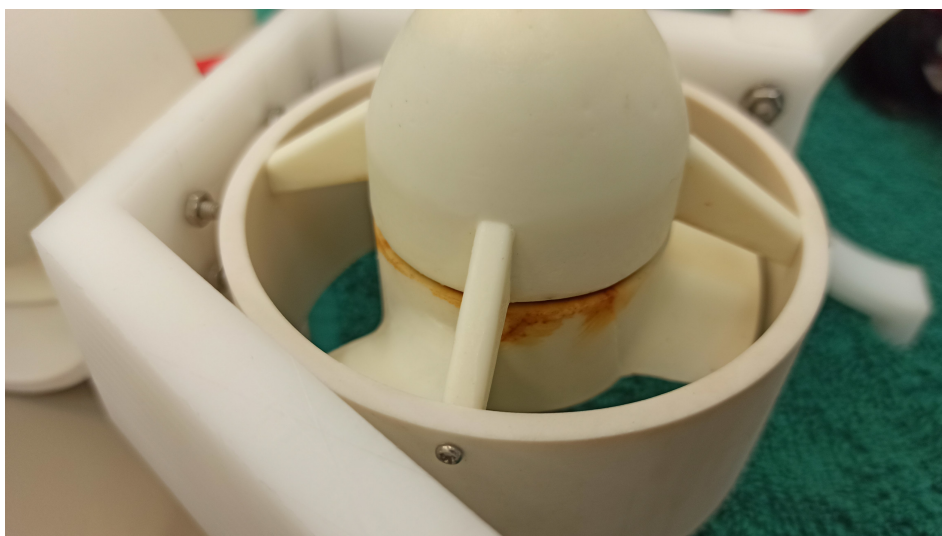


Figura 70: Es pot apreciar l'òxid en el motor.

Així, el primer que es va fer un cop decidit acabar les proves d'hermetisme va ser comprovar si els motors encara funcionaven. El resultat va ser positiu, indicant que tot i l'aparició d'òxid, aquests encara es poden fer servir.

Llavors, després d'acabar d'armar l'electrònica, es van realitzar les proves de funcionament del robot i de la interfície web en sec. Veure Figura 71.

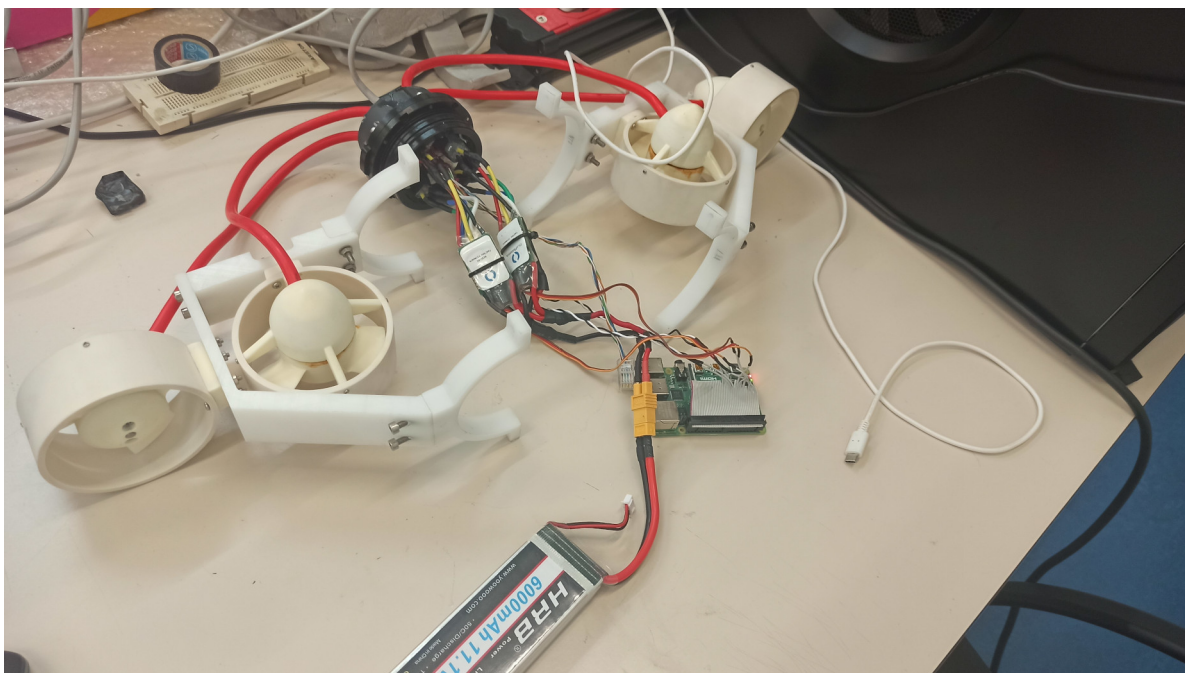


Figura 71: Proves amb els ESCs ja soldats als motors. (26 de maig de 2022)

En aquesta prova, el *Broker* MQTT no és troba a la Raspberry sinó a un ordinador connectat a ella mitjançant el cable ethernet. D'aquesta forma és possible controlar el robot amb un telèfon mòbil, sempre que aquest i l'ordinador es trobin en la mateixa xarxa Wi-Fi. L'inconvenient d'aquest sistema és que no es pot veure el vídeo en el mòbil.

Es poden veure videos d'exemple en els enllaços de sota:

- <https://youtu.be/eLDml0JXK5k>
- <https://youtu.be/IK2qrC04v8U>

7.4. Experiment 4: Flotabilitat.

Les proves de flotabilitat han consistit a modificar la densitat del ROV de cara a assolir una flotabilitat neutra i equilibrar els pesos del robot per evitar que s'inclini cap a un dels costats. Aquest test és recomanable realitzar-lo després d'assegurar que el recipient és estanc, doncs així es pot dur a terme ja amb tots els elements electrònics inclosos i tenir d'aquesta forma el pes real del robot.

El primer pas ha estat posar el robot a l'aigua sense cap mena de flotador o pes extra, però lligat a una corda per evitar perdre'l, i d'aquesta forma descobrir si sura o s'enfonsa. I a partir del resultat d'aquesta prova, es determinarà el procediment a seguir.

Aquest test ha estat realitzat el 31 de maig i va ser necessari afegir espuma de poliestirè enganxada al ROV per aconseguir la flotabilitat adequada. Figura 72.

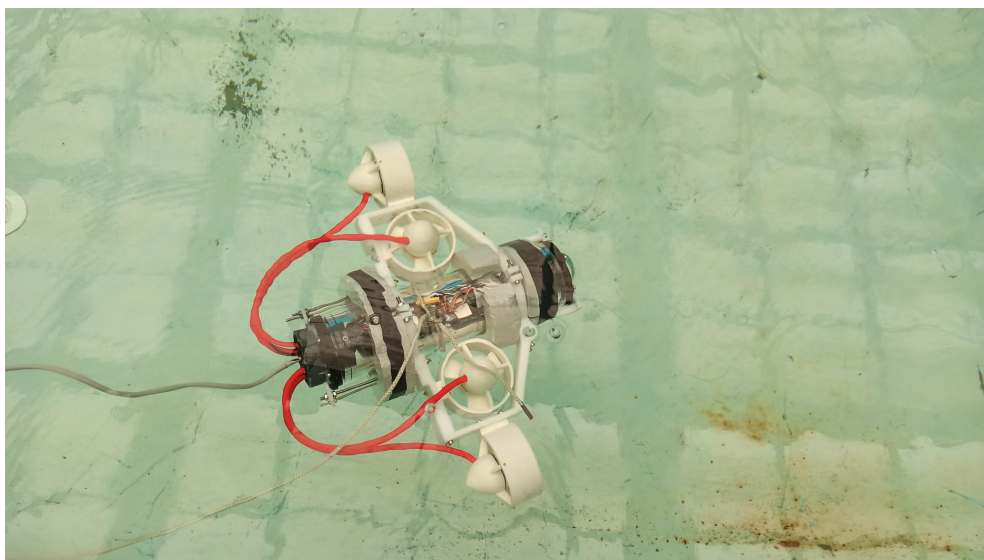


Figura 72: Fotografia presa durant el test de flotabilitat. (31 de Maig de 2022)

7.5. Experiment 5: Funcionament dins l'aigua.

Després d'aconseguir una flotabilitat neutre, el mateix 31 de maig, es va procedir a provar, per primer cop, el rendiment del robot dins de l'aigua i a verificar si, tant el codi de Python com la interfície web, funcionaven com s'esperava.

Quant al control amb el telèfon mòbil, sembla ser que el *joystick* dissenyat per controlar la direcció del ROV és massa sensible, provocant que el robot faci giris ràpids i canvis de direcció bruscos. Tots els altres controls funcionen correctament.

Pel que fa al control per ordinador, el robot es mou a menys velocitat de l'esperada. Aquest fet no suposa un inconvenient greu, només cal canviar uns pocs paràmetres en el codi del control per teclat.

A més d'això s'han observat tres problemes principals:

El primer problema que s'ha detectat, és que, després d'uns trenta minuts fent proves, el ROV tendia a enfonsar-se. És possible que sigui per l'aigua que entra als motors, atès que dins de la carcassa no n'hi ha entrat durant tot el temps de proves.

El segon problema consisteix que al cap d'un temps, les ordres transmeses a la Raspberry a través de MQTT no hi arribaven o tardaven un temps per fer-ho, i a la vegada, la imatge de vídeo es quedava estàtica. La causa sembla ser la saturació del canal de comunicació.

L'últim problema, o millor dit inconvenient, és el fet que el cable ethernet dificulta la mobilitat del robot, especialment quan ha d'arrossegar una quantitat de cable considerable.

Finalment, cal comentar que la transmissió de vídeo en dispositius mòbils no s'ha assolit. Doncs, igual que l'última prova de funcionament, el mòbil no es comunica amb la Raspberry sinó amb l'ordinador en el qual es situa el *Broker*. En canvi, el vídeo sí que es reproduïx en l'ordinador a l'estar connectat amb la Raspberry directament.

Amb tot això, el resultat ha estat acceptable per ser la primera prova en aigua. A la Figura 73, es mostra una fotografia presa pel ROV durant aquest test.

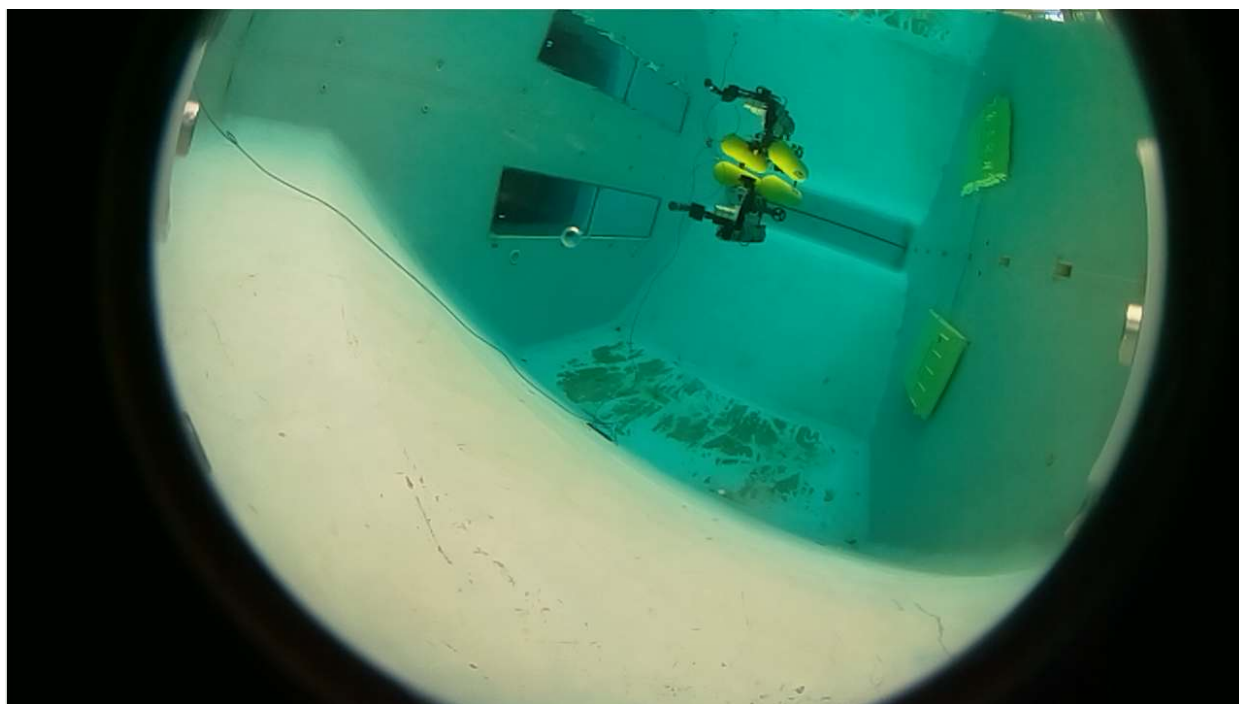


Figura 73: Fotografia presa pel ROV durant el test de funcionament en aigua. (31 de maig de 2022)

Als enllaços de sota es mostren vídeos de les proves:

- <https://youtube.com/shorts/KDuY08WfjdU?feature=share>
- https://youtu.be/NBKJtYFs4_o
- <https://youtu.be/XcUDqTDSk8w>

7.6. Noves proves de funcionament:

El 7 de juny de 2022 s'han realitzat les darreres proves de control pel robot. Aquestes han estat dutes a terme després de fer petites modificacions en el codi. Per exemple s'ha augmentat la velocitat dels motors horitzontals quan el ROV es controlat per ordinador, i també, s'ha reduït la sensibilitat del *joystick* del mòbil.

El resultat ha estat bastant satisfactori, sobretot pel que respecta al *joystick*. Aquestes modificacions han fet que el robot sigui molt més fàcil de controlar amb el telèfon mòbil. No obstant, segueix havent-hi problemes amb la flotabilitat, i especialment amb la dificultat que suposa equilibrar-lo correctament.

En els vídeos enllaçats a sota, es poden observar les millores respecte la prova anterior, sobretot en el cas del telèfon mòbil.

- https://youtu.be/u_kRjGwSyU4
- <https://youtu.be/1fWrZzsApNU>

7.7. Últimes proves:

El 8 de juny de 2022 s'han realitzat les últimes proves per comprovar el funcionament del robot. Aquestes han consistit en submergir el ROV a major profunditat i distància i avaluar el funcionament del programa de seguiment d'objectes de color.

Finalment, s'ha aconseguit que el robot perseguís un objecte de color vermell tot i que el programa s'hauria de revisar per un treball futur.

El la Figura , es mostra una fotografia del robot realitzada durant aquestes proves.

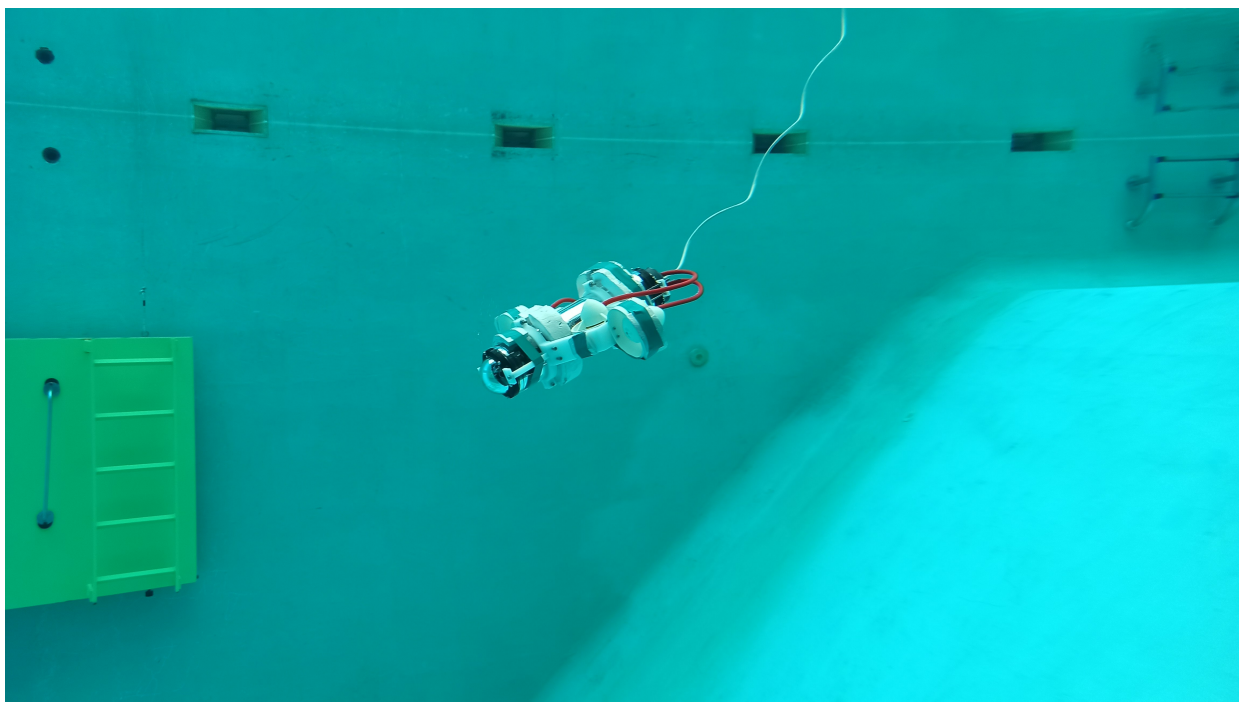


Figura 74: Fotografia del ROV durant les proves d'immersió

Al enllaços de sota es poden veure vídeos de les proves:

- <https://youtu.be/E8MTvOAFatI>
- <https://youtu.be/XIEprl5ySGc>
- <https://youtu.be/4d1GbkY5fil>
- <https://youtu.be/45VXuP967WU>
- <https://youtu.be/56m5JDvvix0>

8. Resum del pressupost:

El cost del conjunt de materials utilitzats en el projecte sumat al cost d'execució del mateix donà un cost total de MIL CINC-CENTS NORANTA-SIS EUROS AMB CINQUANTA-CINC CÈNTIMS.

9. Conclusions:

L'objectiu del projecte era modificar i millorar un ROV submarí R2B2 per tal d'augmentar les capacitats que ja posseïa i dotar-li de noves: augmentar la profunditat d'immersió, reforçar l'estructura exterior, millorar la connexió remota, construir un estructura interna per assegurar l'electrònica, augmentar la potència del sistema de propulsió i desenvolupar una nova aplicació per dirigir el submergible. En general un cop vist els resultats, es considera que aquests objectius han estat assolits amb èxit.

Gràcies als nous motors utilitzats, s'ha pogut augmentar la potència del sistema de propulsió, permetent que el robot es pugui moure a major velocitat. A més, el fet que el seu control sigui més simple, a permès millorar la mobilitat del ROV.

També s'ha aconseguit dissenyar i construir un suport intern, el qual permet col·locar i fixar tots els components elèctrics i electrònics del submergible (bateries, càmera, Raspberry i controladors) i evitar així que es puguin moure lliurement a dins de la carcassa a més, gràcies al suports, aquests elements poden ser extrets tot alhora del compartiment.

Pel que fa a l'estructura exterior, aquesta ha estat redissenyada i adaptada als nous propulsors fent que aquest es puguin col·locar de manera més robusta i elegant. A més, el nou disseny ha fet que l'esquelet sigui modular, facilitant en gran manera el seu muntatge i desmuntatge, fent que, si una de les peces es trenca, no sigui necessari tornar a fabricar tota l'estructura.

Quant a la nova aplicació, en lloc d'una aplicació per Android, s'ha creat una interfície web que permet que el robot pugui ser controlat des de diferents dispositius i plataformes com Windows, Linux i iOS entre d'altres, eliminant així l'exclusivitat d'Android de l'anterior aplicació.

Finalment, amb relació a la connexió remota i la profunditat d'immersió, l'ús d'el cable ethernet que pot connectar la Raspberry amb un ordinador, assegura l'estabilitat de la connexió entre ambdós dispositius. A més que gracies a la longitud que poden assolir aquest tipus de cables, fins a 100 metres, elimina la necessitat d'utilitzar una boia amb una antena que segueixi al robot, doncs no es contempla que el nou ROV superi

profunditats superiors als 30 metres ni que s'allunyi a tanta distància. Tot i això, quan es vol fer servir un telèfon mòbil per controlar el robot, la connexió ja no és tant robusta i no és possible la visualització del vídeo, en aquest cas.

Respecte a la profunditat, a causa dels problemes d'estanquitats sorgits durant les proves, fa que no sigui possible saber amb certesa si el robot realment pot assolir majors profunditats que el predecessor, tot i que en teoria; gràcies a la longitud de l'ethernet, uns 30 metres aproximats (utilitzats en les proves control) en comparació amb els 3 metres de cable del predecessor; sí que podria considerar-se que el robot té una major capacitat d'immersió.

Amb vista a treballs futurs, és important solucionar el problema de l'aigua que entra pels cables de dos dels motors, un cable cada motor, doncs és un problema que no pot ser ignorat al posar en risc el correcte funcionament del ROV. A més, caldria testejar el robot al mar, i provar com es comporta a 25 metres de profunditat.

Un altre millora que podria aplicar-se està relacionada amb els graus de llibertat del robot, com s'ha dit aquest ROV posseeix un total de quatre graus de llibertat però el gir en *roll* no s'utilitza. Tot i això, el codi de Python per el control dels motors ja està preparat per poder controlar aquest gir, a més, això podria servir per controlar l'estabilitat del submergible mitjançant l'ús de un giroscopi. Finalment, amb un cinquè motors es podria a més permetre el gir en *pitch* de ROV.

Per altra banda, un modificació que s'hauria de fer en un futur projecte, consistiria a substituir la carcassa utilitzada. El principal motiu es deu al fet que el model de BlueRobotics ha estat retirat i ja no es troba en circulació; l'altre motiu resideix en què aquesta s'ha quedat petita per a la quantitat de components que s'han introduït a dins, provocant una falta d'espai, això pot ser un problema si el ROV està actiu durant llargs períodes de temps, doncs pot dificultar la refrigeració de la Raspberry i els controladors.

Finalment, s'haurien de cercar mètodes que permetessin millorar i controlar la flotabilitat del ROV i estudiar aplicacions d'intel·ligència artificial que podrien ser útils pel funcionament del submergible.

10. Relació de documents:

Els present projecte inclou els següents documents:

Document 1: Memòria i Annexos

Document 2: Estat d'amidaments

Document 3: Pressupost

Document 4: Resum

11. Bibliografia:

- [1] F. Veciana i Buixeda. Disseny i desenvolupament d'un robot submarí amb una Raspberry Pi - R2B2. Treball Fi de Carrera. Enginyeria Informàtica. Escola Politècnica Superior. Universitat de Girona. Juny 2020.
- [2] P. Roura Ferrés. Plataforma col·laborativa R2B2. Treball Fi de Màster. Màster en Enginyeria Informàtica. Escola Politècnica Superior. Universitat de Girona. Setembre 2018.
- [3] *What is a ROV?* (<https://oceanexplorer.noaa.gov/facts/rov.html>)
- [4] *What are ROVs used for?* (<https://bluerobotics.com/learn/what-is-an-rov/#what-are-rovs-used-for>)
- [5] BlueRobotics (<https://bluerobotics.com/>)
- [6] *Six degrees of freedom for ship motion* (https://www.researchgate.net/figure/Six-degrees-of-freedom-for-ship-motion_fig1_327901742, 23 de maig de 2022)
- [7] *What are Brushless DC Motors* (<https://www.renesas.com/us/en/support/engineer-school/brushless-dc-motor-01-overview>)
- [8] Raspberry Pi Foundation (<https://www.raspberrypi.org/about/>)
- [9] Raspberry Pi 4 (<https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-4-model-b/>)
- [10] Charmast 10400mAh 18W Mini Power Bank (<https://www.charmast.com/products/charmast-smallest-10000-pd-quick-charge-portable-charger-ultra-compact-10400mah-usb-c-power-delivery-qc-3-0-power-bank-lightest-external-battery-pack-compatible-with-iphone-samsung-google-pixel>, 22 d'Abril de 2022)
- [11] MQTT Version 3.1.1, Abstract (<http://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v3.1.1/mqtt-v3.1.1.html>, 26 de Maig de 2022)

[12] How MQTT Works - Beginners Guide

(<http://www.steves-internet-guide.com/mqtt-works/>, 26 de Maig de 2022)

[13] MQTT vs HTTP: ¿qué protocolo es mejor para IoT

(<https://borrowbits.com/2020/04/mqtt-vs-http-que-protocolo-es-mejor-para-iot/>, 28 de Maig de 2022)

[14] NUTTALL, B. gpiozero - GPIO Zero 1.6.2 Documentation.

(<https://gpiozero.readthedocs.io/en/stable/#>, 18 de Març de 2021)

[15] OpenCV: Introduction to OpenCV-Python Tutorials.

(https://docs.opencv.org/4.x/d0/de3/tutorial_py_intro.html, 25 de Maig de 2022)

[16] About - OpenCV (<https://opencv.org/about/>, 25 de Maig de 2022)

[17] paho-mqtt · PyPI (<https://pypi.org/project/paho-mqtt/>, 10 d'Abril de 2021)

[18] Eclipse Paho JavaScript Client (<https://www.eclipse.org/paho/index.php?page=clients/js/index.php>, 1 de Juny de 2022)

[19] mjpg-streamer. (<https://github.com/jacksonliam/mjpg-streamer>, 17 d'Octubre de 2021)

[20] What is the HSV (Hue, Saturation, Value) Color Model?

(<https://www.lifewire.com/what-is-hsv-in-design-1078068>, 20 d'Octubre de 2021)

[21] Connected Component Labeling: Algorithm and Python Implementation

(<https://iq.opengenus.org/connected-component-labeling/>, 21 d'Octubre de 2021)

12. Glossari:

Abreviatures:

- **ROV:** Remotely Operated Vehicle.
- **AUV:** Autonomous Underwater Vehicle.
- **STEM:** Science, Technology, Engineering and Mathematics.
- **CIRS:** Centre de Investigació en Robòtica Submarina.
- **PWM:** Pulse Width Modulation.
- **ESC:** Electronic Speed Controller.
- **HTML:** Hyper Text Markup Language.
- **CSS:** Cascading Style Sheets
- **MQTT:** Message Queuing Telemetry Transport
- **RGB:** Red, Green, Blue.
- **HSV:** Hue, Saturation, Value.
- **GND:** Ground.
- **GPIO:** General-purpose input/output.

A. Manual d'ús:

En aquest Annex s'expliquen les passes a seguir per poder controlar el ROV utilitzant un ordinador el qual es trobi directament connectat a la Raspberry mitjançant el cable ethernet, amb independència del sistema operatiu utilitzat.

El primer de tot consisteix en inicialitzar el *broker* de *mosquitto*. Per això s'ha de col·locar el fitxer *mosquitto.conf* en el director */etc/mosquitto/conf.d* de la Raspberry o qualsevol sistema Linux i executar-la amb la següent comanda de terminal:

```
$ mosquitto -c /etc/mosquitto/conf.d/mosquitto.conf
```

En cas de voler utilitzar el *broker* en un sistema Windows, el fitxer s'ha de col·locar en el directori *c:\mosquitto*. La comanda d'execució serà la mateixa, únicament canviant la ruta del fitxer.

El següent pas connectar l'ordinador amb la Raspberry. I cop connectats s'ha d'inicialitzar el *Broker* MQTT, en un dels dos dispositius, i executar en la Raspberry l'*script* de Python anomenat *mqtt_client.py*.

Al executar l'*script* de Python s'ha de tenir en compte en quin dispositiu s'està executant el *broker*. Si cal, serà necessari modificar el valor de la variable *host* del fitxer *config.py* i substituir-lo per la direcció IP del dispositiu en el qual es localitza el *broker*.

Un cop fet, només cal obrir el fitxer *index.html* per accedir a la interfície web i introduir la IP del *broker*.

B. Manteniment de les juntes tòriques:

Les juntes tòriques són un element de gran importància per al bon funcionament del ROV en evitar l'entrada d'aigua a través del petit espai que hi ha entre les diferents parts de la carcassa.

Es recomanable revisar l'estat en què es troben cada poc temps i netejar-les ja que fins i tot la presència d'un petit cabell pot provar que l'aigua s'introdueixi a dins del compartiment.

Per netejar les juntes, el primer pas és extreure-les dels carrils en els quals es troben, veure Figura 75, i per això és necessari utilitzar una eina com la que es mostra en la Figura 76.

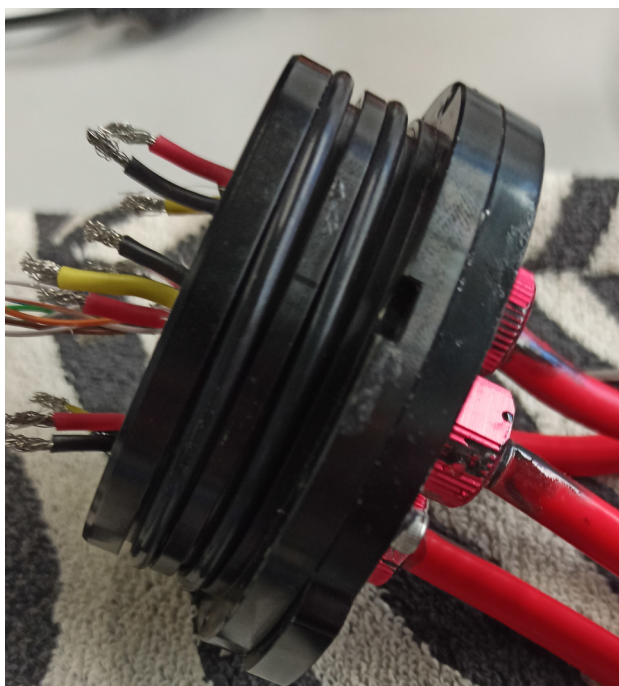


Figura 75: S'observen les juntes tòriques situades en els seus carrils de la tapa



Figura 76: Eina per extreure les juntes tòriques dels carrils

S'ha de fer amb cura per no ratllar-les, ja que un petit forat pot fer-les inservibles.

Un cop les juntes han estat extretes, el següent pas consisteix al netejat-les, a elles i els seus carrils, feina per la qual es pot fer servir un paper o un pedaç de tela.

En acabar amb la neteja, s'ha de recobrir les juntes amb un greix especial que actua com una segona protecció davant l'aigua. La quantitat de greix a utilitzar és poca, la suficient per a cobrir tota la junta, ja que una quantitat excessiva seria contraproductiu i podria provocar l'efecte contrari al desitjat.

Una vegada les juntes han estat engreixades, només resta tornar-les a col·locar en els carrils.