

Treball de Fi de Grau

Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials

Disseny d'un dispositiu d'inflació automàtica per a la seguretat d'infants en espais aquàtics

MEMÒRIA

Autor:

Adrià Carrión Teixidó

Director:

Josep Bordonau Farrerons

Convocatòria:

Juny 2023



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Resum

El TFG descrit a continuació desenvolupa i implementa el disseny d'un dispositiu d'inflació capaç d'activar-se automàticament i mitjançant components elèctrics en estar en contacte amb l'aigua. El projecte documenta el procés d'investigació, disseny, construcció i proves del prototip d'aquest dispositiu.

L'objectiu principal d'aquest projecte és crear un prototip electrònic que no existeix en el mercat, per tal de veure la seva viabilitat futura. S'aplicaran molts coneixements adquirits a l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial i/o de forma autònoma, cobrint disciplines de coneixement com disseny CAD, programació i electrònica.

Resumen

El TFG descrito a continuación desarrolla e implementa el diseño de un dispositivo de inflación capaz de activarse automáticamente y mediante componentes eléctricos al estar en contacto con el agua. El proyecto documenta el proceso de investigación, diseño, construcción y pruebas del prototipo de este dispositivo.

El objetivo principal de este proyecto es crear un prototipo electrónico que no existe en el mercado, para ver su viabilidad futura. Se aplicarán muchos conocimientos adquiridos en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial y/o de forma autónoma, abarcando disciplinas de conocimiento como diseño CAD, programación y electrónica.

Abstract

The following Final Degree Project (TFG) develops and implements the design of an inflation device capable of activating automatically through electrical components upon contact with water. The project documents the research, design, construction, and testing process of the prototype of this device.

The main objective of this project is to create an electronic prototype that does not exist in the market, in order to assess its future viability. It will apply many knowledge acquired at the School of Industrial Engineering and/or autonomously, covering knowledge disciplines such as CAD design, programming, and electronics.

Contingut

Resum	2
Resumen	2
Abstract	2
Contingut	3
Llistat d'imatges	4
Llistat de taules	6
Glossari i Acrònims	7
1. Introducció	8
1.1 Motivació.....	8
1.2 Objectius.....	9
1.3 Estructura de la memòria	9
2. Informació teòrica	10
2.1 Recerca d'accidents per ofegament en infants	10
2.2 Normatives vigents en relació a armlles salvavides	11
2.3 Tipologia d'armilles.....	12
2.4 Funcionament de les tecnologies actuals.....	13
3. Disseny del prototip	18
3.1 Explicació i raonament d'un MVP	18
3.2 Requeriments de l'MVP.....	19
3.3 Disseny tècnic de l'MVP.....	19
4. Construcció del prototip	55
5. Proves i resultats	64
5.1 Proves realitzades.....	64
5.2 Resultats obtinguts.....	66
6. Discussió	66
6.1 Estudi econòmic del projecte	68
6.2 Possibles millores del prototip.....	69
7. Estudi ambiental	70
8. Estudi social i d'igualtat de gènere	72
9. Conclusions	73
10. Agraïments	74
11. Referències	75

Llistat d'imatges

Figura 1. Distribució dels incidents patits en cada franja d'edat.....	11
Figura 2. Model de Mustang Survival ⁹	13
Figura 3. Model de Secumar ¹²	13
Figura 4. Armilla salvavides 150N Decathlon ¹⁶	14
Figura 5. (Elaboració pròpia) Components del sistema original.....	15
Figura 6. (Elaboració pròpia) Peces internes de l'actuador lineal original.....	16
Figura 7. (Elaboració pròpia) Peces internes del mecanisme de perforat.....	17
Figura 8. (Elaboració pròpia) Bombona de CO ₂ utilitzada.....	18
Figura 9. (Elaboració pròpia) Cicle lògic de funcionament del prototip.....	20
Figura 10. (Elaboració pròpia) Components de la part electromecànica.....	21
Figura 11. (Elaboració pròpia) Components reutilitzats del sistema original.....	21
Figura 12. Exemple d'actuador lineal elèctric motoritzat ¹⁸	22
Figura 13. Solenoide de 6V.....	22
Figura 14. Prova dinamomètric del perforador.....	23
Figura 15. Resultat de la prova dinamomètrica del perforador (Newtons).....	23
Figura 16. (Elaboració pròpia) Disseny CAD de l'actuador elàstic.....	24
Figura 17. Estudi del solenoide al departament d'Electrònica.....	24
Figura 18. (Elaboració pròpia) Actuador lineal de 12V.....	25
Figura 19. (Elaboració pròpia) Característiques nominals de l'actuador.....	26
Figura 20. Bateria de 12V 23A.....	26
Figura 21. Mòdul L298N ²²	27
Figura 22. (Elaboració pròpia) Esquema elèctric del mòdul L298N.....	27
Figura 23. (Elaboració pròpia) Dimensions del mòdul L298N.....	28
Figura 24. Driver DRV8871 ²³	29
Figura 25. (Elaboració pròpia) Dimensions del driver DRV8871.....	29
Figura 26. (Elaboració pròpia) Esquema elèctric del driver DRV8871.....	30
Figura 27. (Elaboració pròpia) Diagrama final de la part electromecànica.....	31
Figura 28. (Elaboració pròpia) Distància que recorre el pistó de l'actuador.....	31
Figura 29. (Elaboració pròpia) Diagrama general de la part electrònica.....	32
Figura 30. Adafruit Feather nRF52840 Sense ²⁹	34
Figura 31. Pins de la placa Adafruit Feather nRF52840 Sense ²⁹	35
Figura 32. Adafruit ItsyBitsy nRF52840 Express ³¹	35
Figura 33. Pins de la placa Adafruit ItsyBitsy nRF52840 Express ³¹	36
Figura 34. Adafruit Feather RP2040 ³⁴	37
Figura 35. Pins de la placa Adafruit Feather RP2040 ³⁴	37
Figura 36. Arduino UNO ³⁹	38
Figura 37. Sensor d'aigua de la marca Adafruit ⁴⁵	39
Figura 38. Esquema de les connexions del sensor d'aigua ⁴⁵	40
Figura 39. (Elaboració pròpia) Esquema de les connexions digitals del driver L298N.....	41
Figura 40. (Elaboració pròpia) Esquema de les connexions digitals del driver L298N.....	42
Figura 41. (Elaboració pròpia) Diagrama de totes les connexions del prototip.....	43
Figura 42. Bateria LiPo de 3.7V i 150 mAh ⁴⁶	44
Figura 43. (Elaboració pròpia) Components que s'han d'agrupar a la carcassa.....	48
Figura 44. (Elaboració pròpia) Diagrama de flux del disseny de la carcassa.....	48
Figura 45. Components dissenyats amb CAD.....	49

Figura 46. Disposició final dels components	50
Figura 47. Versió inicial de la carcassa	50
Figura 48. Vista trencada de la carcassa. Suports interiors	51
Figura 49. Tapa de la carcassa	51
Figura 50. Vista trencada de la carcassa. Rosca	52
Figura 51. Sortints laterals de la carcassa	52
Figura 52. Disseny final de la carcassa.....	52
Figura 53. Vista isomètrica del conjunt	53
Figura 54. Vista lateral del conjunt.....	53
Figura 55. Conjunt global en vista isomètrica	54
Figura 56. Renderitzat del model final.....	54
Figura 57. Actuador elàstic desacoblat	55
Figura 58. Actuador elàstic acoblat	55
Figura 59. Armilla del Decathlon	56
Figura 60. Interior de l'actuador original.....	56
Figura 61. Motor de reducció de velocitat DC N20 M3 ⁴⁷	56
Figura 62. (Elaboració pròpia) Talls realitzats a l'actuador.....	57
Figura 63. Prova d'un sensor d'aigua.....	57
Figura 64. Prova de tres sensors	57
Figura 65. Prova del sistema amb L298N.....	58
Figura 66. Prova del sistema amb DRV8871	58
Figura 67. Rosques impreses en 3D.....	59
Figura 68. S'escalfa l'interior de la rosca.....	59
Figura 69. Acoblament de la rosca de la carcassa amb el perforador	59
Figura 70. Impressió defectuosa de la carcassa.....	60
Figura 71. Impressió bona de la carcassa	60
Figura 72. Interior de la carcassa impresa.....	60
Figura 73. Components soldats.....	61
Figura 74. Components agrupats	61
Figura 75. Component del driver que toca amb la paret.....	61
Figura 76. Suports de la carcassa tallats	62
Figura 77. Representació de la nova disposició de l'actuador	62
Figura 78. (Elaboració pròpia) Problemàtica amb el cable de la bateria.....	62
Figura 79. Prototip finalitzat	63
Figura 80. Prototip incloent l'armilla	63
Figura 81. Prova d'impermeabilitat de la carcassa	64
Figura 82. Prova del sistema automàtic d'inflació.....	64
Figura 83. Activació manual de l'armilla	65
Figura 84. Prototip amb l'armilla inflada	65
Figura 85. Gomes col·locades en la tapa del prototip final.....	67
Figura 86. (Elaboració pròpia) Forces que actuen a la tapa i al perforador	67

Llistat de taules

Taula 1. Ofegaments mortals a Catalunya, segons lloc de l'incident i edat (19-21) ⁴	10
Taula 2. Explicació de les 7 zones homologades	13
Taula 3. (Elaboració pròpia) Qualificacions de cada tipus d'actuador lineal	25
Taula 4. (Elaboració pròpia) Taula de la veritat del driver L298N	41
Taula 5. (Elaboració pròpia) Taula de la veritat del driver DRV8871	42
Taula 6. Procés de construcció	56
Taula 7. (Elaboració pròpia) Costos del projecte	68

Glossari i Acrònims

A: Ampere

Board: Placa

CAD: Disseny Assistit per Ordinador

CC: Corrent Continu

CE: Conformitat Europea

CO₂: Diòxid de Carboni

DRV8871: Controlador de Motor DC

ETSEIB: Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona

GND: Terra (Ground)

GPIO: *General Purpose Input/Output*

IDE: Entorn de Desenvolupament Integrat

IoT: Internet de les Coses

ISO: Organització Internacional de Normalització

Jumper: Pont de connexió

kg: Quilogram

L298N: Controlador de Motor DC

LED: Díode Emissor de Llum

LSA: Equips de Salvament en Cas d'Avaria

M3: Rosca Mètrica 3

mAh: Miliamper hora

MHz: Megahertz

MVP: Producte Mínim Viable

N: Newton

OMS: Organització Mundial de la Salut

PCB: Placa de Circuit Imprès

Protoboard: Placa de prototipatge electrònic

PWM: Modulació d'Amplada de Pols

RAM: Memòria d'Accés Aleatori

SOLAS: *International Convention for the Safety of Life at Sea*

SoC: *System-on-a-Chip*

SPI: Interfície de Perifèrics en Sèrie

TFG: Treball Final de Grau

UART: Transmissió Asincrònica Universal

USB: *Universal Serial Bus*

V: Volt

1. Introducció

1.1 Motivació

Avui en dia, la situació dels accidents per ofegament segueix essent preocupant a escala global. Segons l'Organització Mundial de la Salut ¹ (OMS), anualment es produeixen més de 236.000 casos mortals per ofegament en tot el món.

A més, els ofegaments segueixen sent una de les principals causes de mort accidental en infants i també afecten als adults joves. Els llocs on es produeixen més freqüentment aquests accidents són les piscines, les platges, els rius, els llacs i les llacunes.

Les estadístiques mostren que hi ha fins a una vintena d'accidents greus no mortals per ofegament cada any i la meitat d'aquests casos afecten menors d'edat. Per això, és important fer una crida per conscienciar sobre la importància de reduir aquestes xifres.

Per prevenir aquests accidents, a més de no subestimar els riscos que comporta nedar en aigües desconegudes o perilloses, és important supervisar adequadament els infants a l'aigua, ensenyar-los habilitats de natació i fer servir dispositius de flotació adequats, com el que es proposa en aquest treball.

Abast del treball

En resposta a la problemàtica esmentada anteriorment, aquest treball té com a principal objectiu el desenvolupament d'un prototip basat en un sistema innovador d'armilla per a infants, utilitzant diferents tecnologies per a detectar quan es troba en perill d'ofegament i, automàticament, activar un mecanisme de flotació.

Actualment existeixen armilles salvavides que s'inflen de forma automàtica, però aquests són activats de forma mecànica. En aquest projecte, es proposa estudiar la viabilitat d'una armilla salvavides, també automàtica, però que s'activa mitjançant components elèctrics i electrònics.

Per a portar a terme el projecte s'estableixen els límits als quals s'està subjecte i que modelen l'abast d'aquest.

- **Temporal:** Per a portar a terme el treball es disposa d'uns tres mesos i, per tant, aquest temps serà crític per tal de dissenyar i construir el prototip.
- **Econòmic:** En tractar-se d'un prototip experimental s'intentarà reduir costos.
- **Funcionalitat:** Es pretén dissenyar i construir un prototip i, per tant, no es busca crear un producte final. Es vol crear un dispositiu funcional.

1.2 Objectius

L'objectiu d'aquest projecte es crear un prototip d'armilla salvavides en el que la detecció es faci electrònicament per tal de veure la seva viabilitat. Els objectius específics del projecte són els següents:

- Fer un estudi de les tecnologies actuals per tal de no partir des de zero. Veure quines normatives s'apliquen en el camp d'investigació.
- Dissenyar el prototip com a sistema teòric, adaptant tecnologies existents per a crear un dispositiu innovador. L'objectiu principal es dissenyar un prototip on l'activació de l'armilla es faci de forma elèctrica. El sistema s'ha de poder submergir.
- Construir un prototip real basat en aquest sistema teòric, de tal manera que aquest sigui funcional. Si els sensors externs detecten aigua durant un cert interval de temps, s'ha d'activar un mecanisme elèctric que infla l'armilla ràpidament.
- El disseny ha de estar pensat per a un infant. Per tant el disseny ha de tenir l'ergonomia adequada.
- Realitzar les proves adients per a comprovar si el prototip està a l'altura dels objectius establerts.
- Fer un estudi econòmic del projecte i discutir maneres d'optimitzar el procés de disseny i fabricació.
- Comprovar si el dispositiu compleix les normes de seguretat establertes per la normativa actual.

1.3 Estructura de la memòria

Aquesta memòria explica en detall la feina feta relacionada amb el disseny i la construcció del prototip durant tres mesos. La seva estructura principal consisteix de quatre parts:

1. Investigació sobre la situació actual de les armilles salvavides. Es reflexiona sobre quins son els models que existeixen en la actualitat i com ens diferenciarem. També es veuran les normatives existents.
2. En la segona part s'explicarà tot el procés de disseny del prototip, tant de les parts mecàniques com les elèctriques.
3. En la tercera part es mostrarà el procés de construcció del prototip a partir del disseny de la part anterior.
4. Finalment es veuran els resultats obtinguts i es discutiran diverses formes d'ampliar el projecte.

2. Informació teòrica

En aquest capítol es farà una recerca prèvia al disseny del nostre prototip. És important entendre bé quin és el problema i com el podem solucionar. En el nostre cas volem millorar una tecnologia ja existent i, per tant, es veurà com funcionen les tecnologies actuals.

També es buscaran les normatives actuals a les quals el prototip que es farà en aquest treball haurà d'intentar complir.

2.1 Recerca d'accidents per ofegament en infants

L'ofegament és un accident infantil que mereix especial atenció degut a la taxa de mortalitat i a les seqüeles que ocasiona ².

Ocupa el setè lloc d'entre totes les causes d'accidents infantils, i en l'escala d'accidents mortals, la submersió ocupa el segon lloc després dels accidents de trànsit.

La relació mortalitat/morbiditat, és a dir, accidents mortals i no mortals és de 30/1 (per cada 30 nens que moren ofegats només n'hi ha 1 que es salva encara que amb seqüeles).

Els accidents per submersió són més freqüents a l'estiu i afecten principalment a nens de menys de 7 anys (pic màxim entre 1 i 3 anys) i adolescents d'entre 15 i 18 anys. La incidència és major 4/1 en nens que en nenes.

Al conjunt de l'Estat Espanyol 83 persones han perdut la vida per ofegament en el que portem d'any, dels quals 11 eren menors de 18 anys ³. A Catalunya es van registrar 39 ofegaments l'any 2021, segons les dades facilitades per la Federació Espanyola de Salvament i Socorrisme.

Edat	Piscines	Platges i aigües naturals	Altres	Total
< 1 any	0	0	0	0
1 a 10 anys	8	6	0	14
11 a 20 anys	1	7	0	8
21 a 30 anys	0	9	0	9
31 a 40 anys	3	7	5	15
41 a 50 anys	1	13	3	17
< 51 anys	13	87	11	111
Total	26	129	19	174

Taula 1. Ofegaments mortals a Catalunya, segons lloc de l'incident i edat (19-21) ⁴

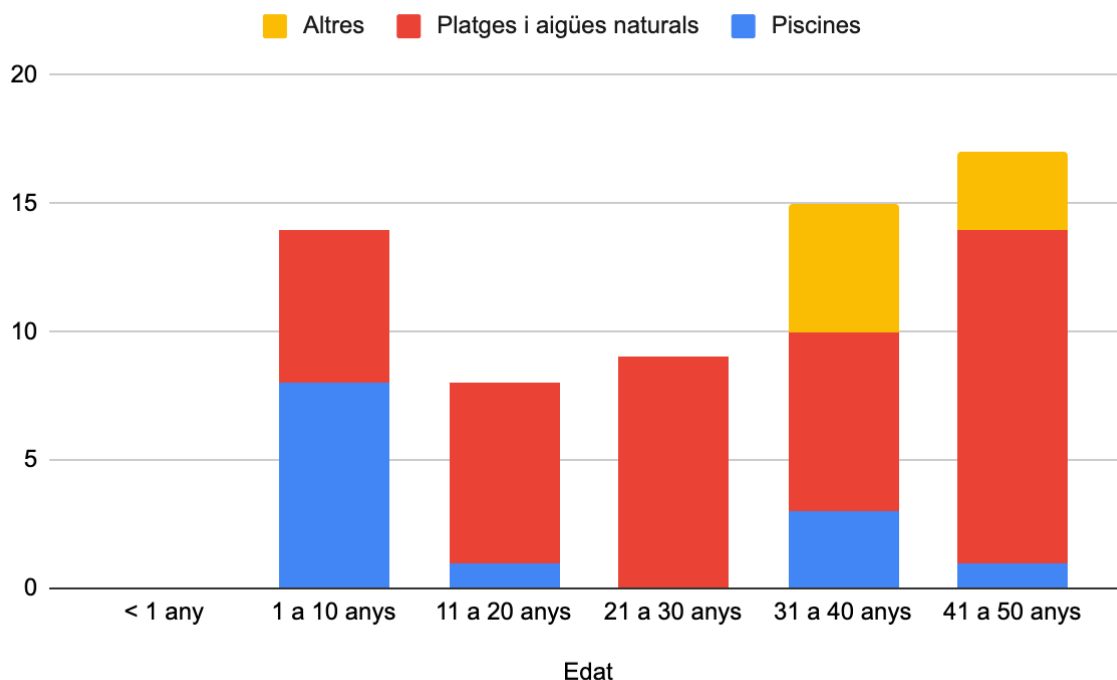


Figura 1. Distribució dels incidents patits en cada franja d'edat ⁴

Com es pot observar en la Figura 1, els infants d'entre 1 i 10 anys són els que pateixen més incidents en platges i piscines. En aquesta franja d'edat els incidents en piscines són molt majors que en les altres. A partir dels 10 anys, hi ha una tendència a disminuir els incidents en piscines.

2.2 Normatives vigents en relació a armilles salvavides

Pel que fa a normatives, la *International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS)* ⁵, sol considerar-se el més important de tots els tractats internacionals relatius a la seguretat aquàtica.

En el context de seguretat aquàtica, un aspecte rellevant és la *International Life-Saving Appliance (LSA) Code*, que forma part de la normativa SOLAS. Aquest codi estableix els requisits específics per als equips i aparells de salvament marítim.

2.2.1 Requisits per a les armilles salvavides en el Codi LSA

Les actualitzacions al Capítol II del Codi Internacional Life-Saving Appliance (LSA) ⁶ entren en vigor l'1 de juliol de 2010, i introdueixen els següents requisits per a l'aprovació d'armilles salvavides:

- Cada armilla salvavides haurà d'estar proveït d'un xiulet fermament subjecte per un cordó.
- Les llums i els xiulets de l'armilla salvavides se seleccionaran i fixaran a l'armilla salvavides de manera que el seu rendiment combinat no es vegi degradat.

- Cada armilla salvavides estarà proveït d'un cap de flotació desembragable o un altre mitjà per a fixar-lo a una armilla salvavides que porti una altra persona en l'aigua.
- Cada armilla salvavides haurà d'estar proveït d'un mitjà adequat que permeti a un socorrista treure a l'usuari de l'aigua i pujar-lo a una embarcació de supervivència o a un bot de rescat.

2.2.2 Normativa ISO per a dispositius personals de flotabilitat

La ISO 12402-4:2020 ⁷ especifica els requisits de seguretat per a armilles salvavides i nivell de prestacions. És aplicable a les armilles salvavides utilitzades per adults, nens i bebès, per al seu ús en aigües protegides o tranquil·les, o quan els usuaris estan completament vestits. Aquesta ISO, classifica les armilles en 4 categories segons les condicions en les quals ofereixen una seguretat adequada. Les normes també distingeixen entre armilles salvavides i ajudes a la flotabilitat.

2.3 Tipologia d'armilles

Existeix una àmplia gamma d'armilles salvavides en el mercat per a poder adaptar-se als diferents usos i activitats. Els vaixells mercants solen utilitzar models rígids d'escuma o models més còmodes d'inflat automàtic que no molesten per a maniobrar i que són més pràctics.

Les armilles salvavides mesuren el seu índex de flotabilitat en Newtons (N) i es poden trobar de quatre tipus; 50 N, 100 N, 150 N i 275 N.

L'índex de flotabilitat és un de les dades importants per a poder incorporar-los com a part d'un equip de seguretat ⁸. L'altra dada important a tenir en compte és que estiguin homologats per al que han de ser de tipus «SOLAS» o de tipus «CE».

Zona de navegació	Tipus de navegació	Distància amb la costa	Armillas salvavides
Zona 1	Oceànica	Il·limitada	SOLA: Com a mínim una armilla per persona més un 10% del total CE: 275 N
Zona 2	Alta mar	Fins a 60 milles	SOLA: Com a mínim una armilla per persona CE: 150 N
Zona 3	Alta mar	Fins a 25 milles	SOLA: Com a mínim una armilla per persona CE: 150 N
Zona 4	Costa	Fins a 12 milles	SOLA: Com a mínim una armilla per persona CE: 150 N
Zona 5	Costa	Fins a 5 milles	SOLA: Com a mínim una armilla per persona CE: 100 N
Zona 6	Costa	Fins a 2 milles	SOLA: Com a mínim una armilla per persona

			CE: 100 N
Zona 7	Aigües protegides	Aigües protegides	SOLA: Com a mínim una armilla per persona CE: 100 N

Taula 2. Explicació de les 7 zones homologades

Per tant, per a aquest projecte només seria necessari una armilla homologada per a Zona 6 o Zona 7.

2.4 Funcionament de les tecnologies actuals

En aquest apartat es veuen algunes de les armilles salvavides automàtiques que existeixen al mercat. Veurem com, a partir de les tecnologies existents, podem adaptar el nostre prototip.

2.4.1 Dispositius similars

Existeixen diverses marques reconegudes que ofereixen armilles salvavides inflables automàtics, algunes de les quals són *Mustang Survival*⁹, *Spinlock*¹⁰ i *Onyx*¹¹

Algunes marques espanyoles que ofereixen armilles salvavides inflables automàtics són *Secumar*¹², *Lalizas*¹³, *Plastimo*¹⁴ i *Decathlon*¹⁵.

Figura 2. Model de Mustang Survival⁹Figura 3. Model de Secumar¹²

Tots aquest models tenen una cosa en comú: utilitzen la mateixa tecnologia. Aquesta consisteix en una molla comprimida que, quan l'armilla està en contacte amb l'aigua, la molla es dispara i punxa una bombona de CO₂, que infla l'armilla.

En el següent apartat veurem un exemple concret i com podem adaptar-lo a les nostres necessitats.

2.4.1 Possible adaptacions de sistemes existents

En aquest projecte, com l'objectiu principal es crear un MVP en el qual la millora principal es en la automatització electrònica, es reutilitzaran components mecànics ja existents.

S'adaptarà una armilla inflable disponible a Decathlon ¹⁶, una coneguda cadena de distribució de material esportiu. En concret, el model és el següent:



Armilla salvavides Automàtic inflable adult LJ 150N AIR Negre

Flotabilitat

Norma ISO 12402-3, 150 N. Sistema d'activació UML amb pastilla de sal.

Visibilitat

Norma ISO 12402-3. Cambra groc viu, 300 cm² de tira retro-reflectant.

Dissenyat per a navegants amb un pes entre 40 i 130 kg i un contorn de cintura entre 60 i 130 cm.

Figura 4. Armilla salvavides 150N Decathlon ¹⁶

Aquesta armilla conté un mecanisme d'inflat automàtic. Aquest, però, és purament mecànic, sense disposar de cap component elèctric.

Cal tenir en compte que es una armilla homologada a 150N, es a dir, que ofereix una flotabilitat de 15 kg i s'aconsella utilitzar-la entre Zona 2 i zona 4. A part de sobrepassar la zona necessària, 150N es una força molt superior a la que s'utilitzaria per a fer flotar a un infant. De totes formes, es prendrà aquesta armilla com a referència per a dissenyar aquest prototip.

A continuació s'analitza el sistema que s'utilitza en l'armilla original i quins son els components que s'utilitzaran en aquest projecte.

El sistema original conté una bombona de CO₂ que es connecta directament al perforador (de color groc). Aquest perforador és activat automàticament per un actuador mecànic de pastilla de sal o per una palanca manual.

És important entendre bé el funcionament de cada component del sistema original per tal d'adaptar perfectament els nostres components. A continuació s'explica el funcionament de cada component.

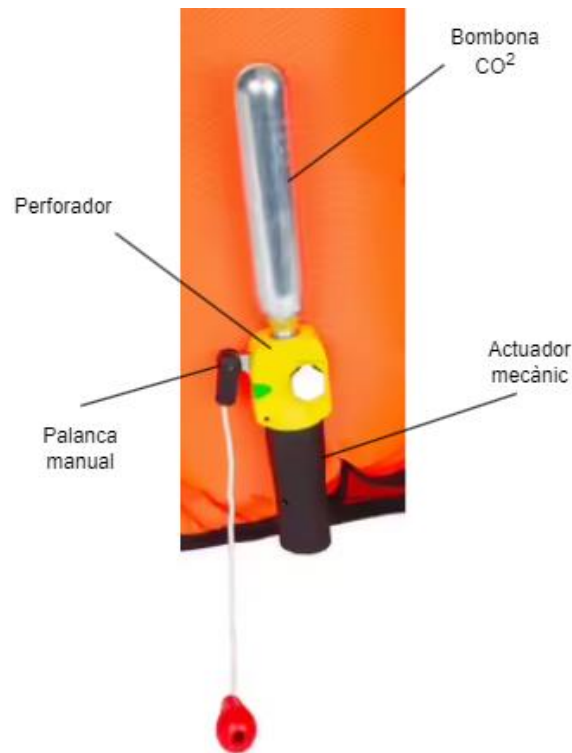


Figura 5. (Foto) Components del sistema original

- Actuator mecànic

El sistema original conté un actuator automàtic que funciona amb l'acció d'una molla activada per una pastilla de sal. Com es pot veure en la Figura 6 es tracta d'una carcassa en forma de tub on a dintre conte els següents components:

1. Femella. Aquesta indentació roscada a la paret de la carcassa permet enroscar l'actuator amb el perforador. Permet fer un tancament estanc.
2. Pistó percussor. s'encarrega de colpejar amb força el perforador, gràcies a l'energia acumulada en la molla. Te unes indentacions a la que permeten a l'*stopper* impedir el seu moviment.
3. Goma d'estanquitat. Permet Mantenir el recinte interior estanc en aquest punt.
4. Molla helicoidal cilíndrica de compressió. Longitud inicial 20. Permet emmagatzemar energia i alliberar-la de forma ràpida.
5. *Stopper*. Aquest component s'abraça al pistó compressor en les indentacions.
6. Pastilla de sal. Es tracta d'un material dissolvent en aigua. Envolta l'*stopper* i quan el dispositiu està sec, genera una força concèntrica que permet a l'*stopper* aturar el pistó. Quan entra aigua en el recinte, la pastilla es dissol i ja no genera cap força. Llavors l'*stopper* deixa d'actuar i el pistó guanya velocitat i pressiona el perforador.
7. Forat. Aquest és un forat de petites dimensions que permet l'entrada d'aigua en direcció a la pastilla de sal.
8. Topalls. S'encarreguen d'aguantar alguns components.
9. Anell alliberador. Aquest anell, quan el pistó s'activa i puja, es trenca i allibera la tapa indicadora.

10. Tapa indicadora. Quan l'actuador s'activa aquesta tapa de color verd es desprèn. D'aquesta manera es pot saber sense obrir l'actuador si aquest ha estat activat o no.

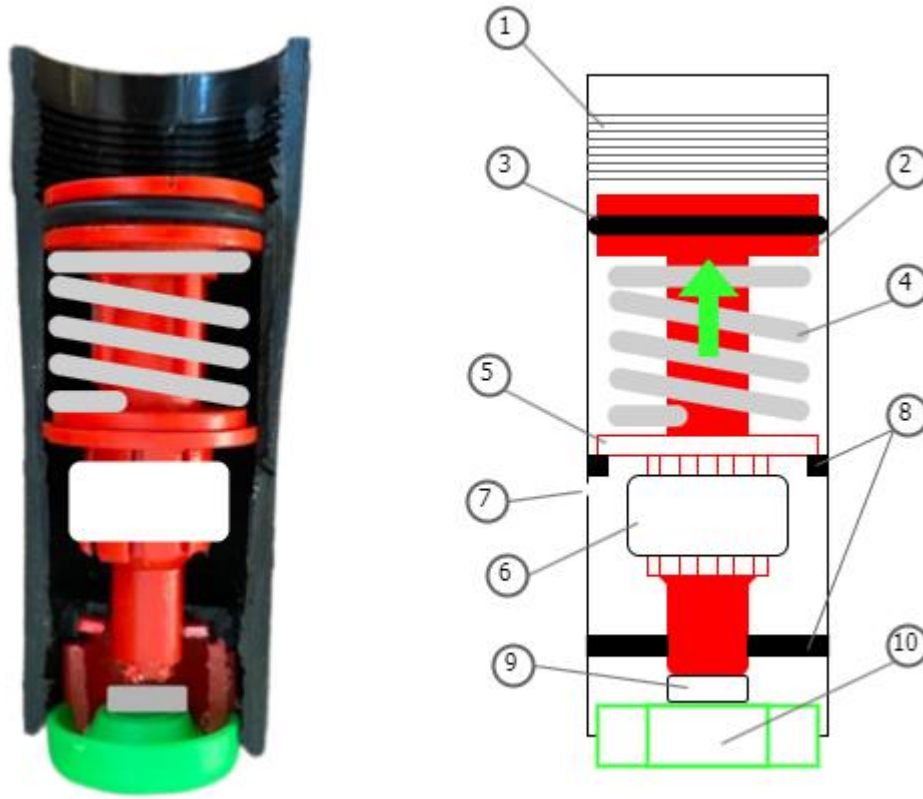


Figura 6. (Elaboració pròpia) Peces internes de l'actuador lineal original

Aquest actuador mecànic no l'utilitzarem ja que, de fet, aquesta és la part principal que es vol electrificar en aquest projecte.

- Perforador

El dispositiu es format també per un mecanisme perforador. Aquest permet aprofitar l'energia de l'actuador elàstic i perforar una bombona de gas, permetent que aquest es traslladi a l'armilla. com es pot veure en la Figura 7 es tracta d'una carcassa que conté una agulla perforadora. A continuació s'expliquen cada un dels components d'aquest mecanisme.

1. Femella. Permet connectar aquest mecanisme amb la bombona de CO₂.
2. Agulla. Agulla en forma de punxa d'acer inoxidable. conte una indentació que permet que el gas flueixi a través.
3. Molla helicoidal cilíndrica de compressió. Permet el retorn del pistó quan aquest ja no està pressionat. D'aquesta manera aquest mecanisme es pot reutilitzar.
4. Captació de gas. Aquesta perforació deixa que el gas alliberat per la bombona flueixi fins l'armilla.

5. Pistó perforador. Amb un moviment vertical, i quan es pressionat per la superfície de contacte amb l'actuador, prem l'agulla contra la bombona.
6. Superfície en contacte amb l'actuador. Es una zona exterior a la carcassa que està en contacte amb l'actuador quan aquest és activat. Si es prem en aquesta zona el pistó puja verticalment.
7. Rosca. Permet connectar la carcassa del perforador amb l'actuador lineal.
8. Palanca manual. Permet realitzar la perforació de forma manual.
9. Corda de la palanca manual. Si s'estira d'aquesta corda, el mecanisme de palanca fa que el pistó perforador perfori la bombona.
10. Placa de seguretat. Aquesta placa de color verd es desprèn quan la palanca manual s'utilitza. D'aquesta manera es pot saber si s'ha utilitzat la palanca amb anterioritat.

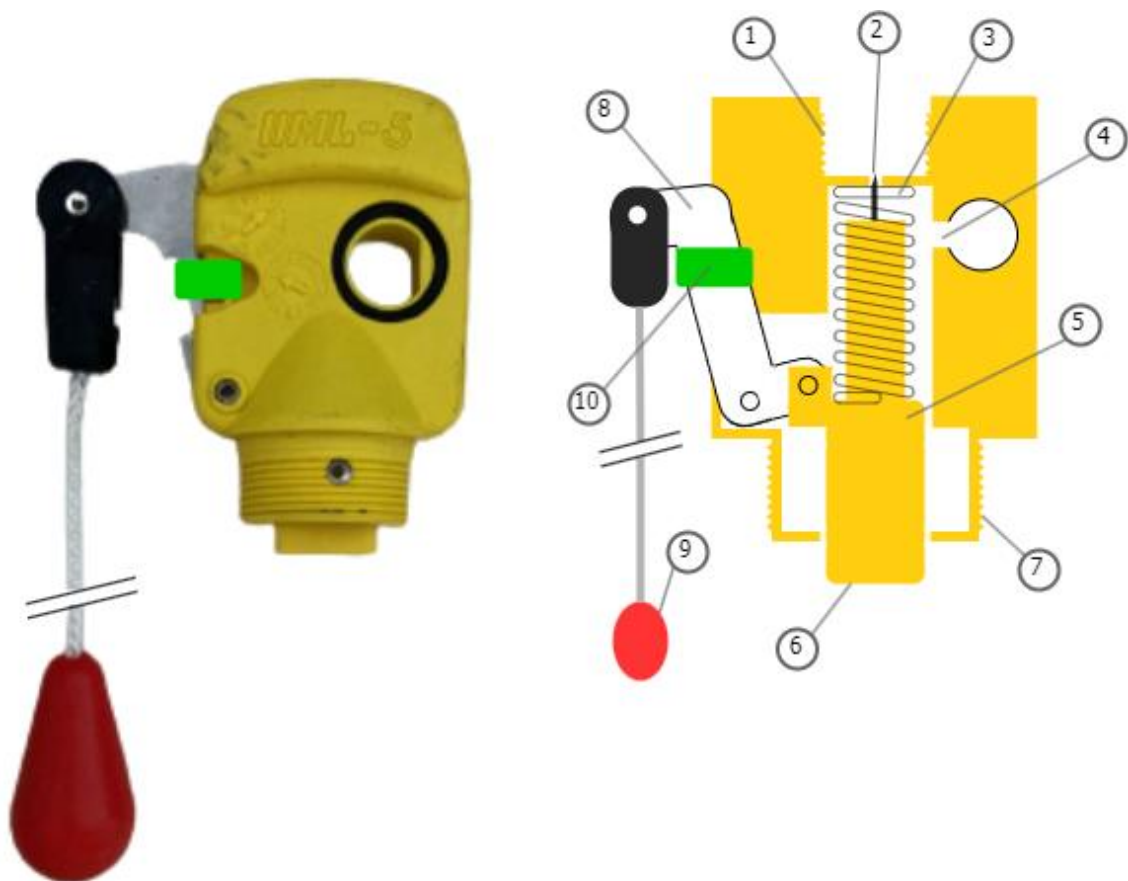


Figura 7. (Elaboració pròpia) Peces internes del mecanisme de perforat

- Bombona de CO₂

El mecanisme perforador té una rosca a la part superior. En aquesta rosca hi encaixa perfectament una bombona de CO₂. Aquesta conté 33 g d'aquest gas i està preparada per a inflar una armilla de 150N.

Les bombones de CO₂ s'utilitzen en les armilles salvavides inflables perquè són una font d'aire comprimit que pot inflar ràpidament les cambres d'aire de l'armilla en cas d'emergència. Quan es tira de la cinta o es prem el botó d'activació de l'armilla salvavides, el CO₂ contingut dins de la bombona s'allibera i es redirigeix cap a les cambres d'aire, inflant-les en qüestió de segons. A més, les bombones de CO₂ són lleugeres i compactes, la qual cosa les fa més còmodes d'usar per a l'usuari i no interfereixen en les activitats aquàtiques.



Figura 8. (Foto) Bombona de CO₂ utilitzada

L'ús del CO₂ té algunes avantatges en comparació amb altres gasos. En primer lloc, és relativament lleuger, la qual cosa fa que les armilles salvavides siguin més còmodes de portar. A més, és un gas incombustible, el que significa que no és inflamable, cosa que és essencial en situacions d'emergència en les quals es poden produir incendis o altres situacions de risc.

3. Disseny del prototip

Un cop s'ha vist en profunditat com podem adaptar les tecnologies actuals al nostre prototip, en aquest capítol es veurà com s'ha dissenyat aquest.

Primer s'explicarà en que consisteix un MVP, clau per entendre el tipus de prototip que es vol crear i a quins requeriments el sotmetrem. També es farà un estudi de les diferents formes que podem activar la inflació de l'armilla de forma automàtica. Finalment, es mostrarà el disseny teòric complet del prototip.

3.1 Explicació i raonament d'un MVP

MVP¹⁷ són les sigles de "Minimum Viable Product" o "Producte Mínim Viable". És un concepte utilitzat en el desenvolupament de productes que consisteix a crear una versió inicial amb només les característiques més essencials necessàries per satisfer les necessitats dels primers usuaris.

La idea darrere d'un MVP és obtenir ràpidament un producte funcional que permeti provar una hipòtesi o validar una idea, amb l'objectiu de recopilar dades i retroalimentació dels usuaris de manera primerenca. A través d'aquesta iteració primerenca, l'equip de desenvolupament pot aprendre i adaptar el producte segons les necessitats i expectatives reals dels usuaris, evitant així la inversió de temps i recursos en característiques innecessàries.

Encara que un MVP sigui una versió simplificada del producte final, ha de ser prou funcional i útil. Ha de proporcionar un valor tangible i resoldre el problema principal que es pretén abordar. L'MVP pot mancar de algunes característiques avançades planejades per al

producte final, però el seu objectiu és validar la viabilitat del concepte i recopilar informació clau per guiar el desenvolupament futur.

En el context d'aquest treball, l'enfocament es centra exclusivament en la creació d'un MVP. Es consideraran les característiques essencials i mínimes necessàries per satisfer les necessitats dels primers usuaris i obtenir conclusions vàlides sobre la viabilitat del producte. A través d'aquest prototip simplificat, es podrà avaluar la funcionalitat bàsica, recopilar comentaris valuosos i realitzar millores iteratives en el disseny i la construcció del producte final

3.2 Requeriments de l'MVP

A continuació s'exposen els punts principals que s'han considerat per a construir un MVP d'una armilla salvavides electrònica i auto-inflable.

- Disseny funcional: Ha de comptar amb un disseny que permeti complir amb la funció bàsica d'una armilla salvavides, que és proporcionar flotació i seguretat a una persona en l'aigua. A més, tota la cadena de funcionament des de que es detecta que l'individu ha caigut a l'aigua fins que s'infla l'armilla s'ha de produir sense errors.
- Sistema automatitzat d'inflació electrònic: Ha de comptar amb un sistema electrònic i automatitzat per a la seva inflació durant la detecció de l'usuari submergit per tal d'assegurar la seguretat de nens. De tal manera, cal que la inflació sigui ràpida, automàtica i segura.
- Especificacions tècniques: l'MVP ha d'assegurar un sistema tècnic fiable i viable al llarg del seu cicle de vida (Per exemple en la duració de bateries, el funcionament correcte dels sensors, etc.)
- Robustesa i manteniment: Ha d'estar fet de materials d'alta qualitat que siguin duradors, resistents i capaços de suportar les condicions d'ús en l'aigua.

3.3 Disseny tècnic de l'MVP

El producte que es vol crear en aquest treball té dues parts ben diferenciades, les quals han de funcionar en sincronia per tal de que el MVP sigui vàlid. Aquestes parts són:

- Part electromecànica. S'encarrega de, a partir d'unes senyals digitals, perforar un cartutx de CO₂ comprimit tot alliberant aquest gas a l'interior d'una armilla salvavides per a inflar aquesta.
- Part electrònica. Composta per components electrònics, com sensors i microcontroladors, s'encarrega de detectar el moment ideal per inflar l'armilla. Envia informació digital a la part electromecànica.

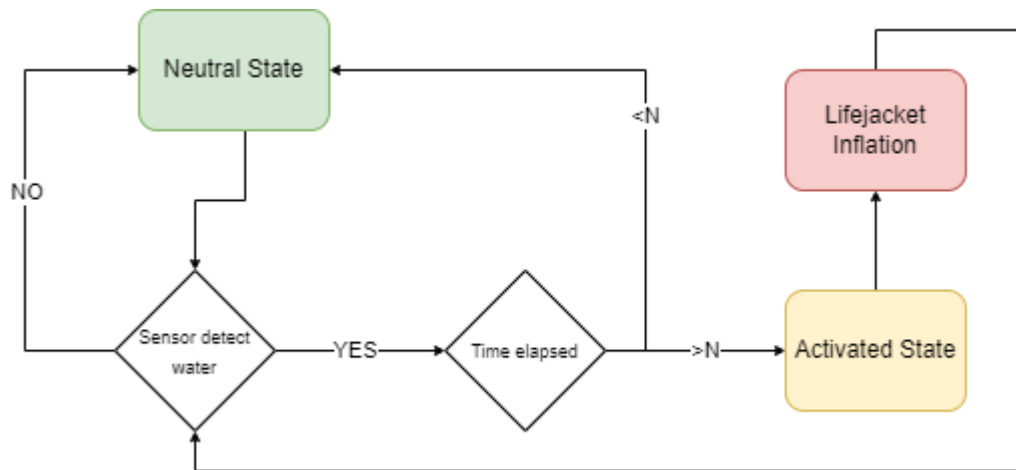


Figura 9. Cicle lògic de funcionament del prototip

El cicle de funcionament del prototip ha de ser el de la Figura 9. A continuació s'explica amb més detall:

1. Estat neutral: Aquest és l'estat inicial del sistema. Tot està en repòs.

Part electrònica:

2. Sensor detecta aigua. Si el o els sensors detecten la presència d'aigua, s'ha d'analitzar quant de temps dura aquesta detecció.
3. Temps transcorregut. Si el temps transcorregut supera un llindar de N segons llavors passem a l'estat d'activació.

Part electromecànica:

4. Estat d'activació. En aquest estat es procedeix a inflar l'armilla salvavides mitjançant un procés electromecànic.
5. Un cop s'ha inflat l'armilla es torna a (2).

En els següents apartats s'explicarà amb molt més detall el disseny, tant de la part electromecànica com de la electrònica i com aquestes dues parts funcionen per generar un prototip funcional.

3.3.1 Part electromecànica

La part electromecànica és la que s'encarrega de d'inflar l'armilla de manera funcional i ràpida. A partir d'una senyal electrònica, s'ha de perforar un cartutx de CO₂ per tal d'inflar l'armilla salvavides.

El diagrama general de funcionament de la part electromecànica es el següent:

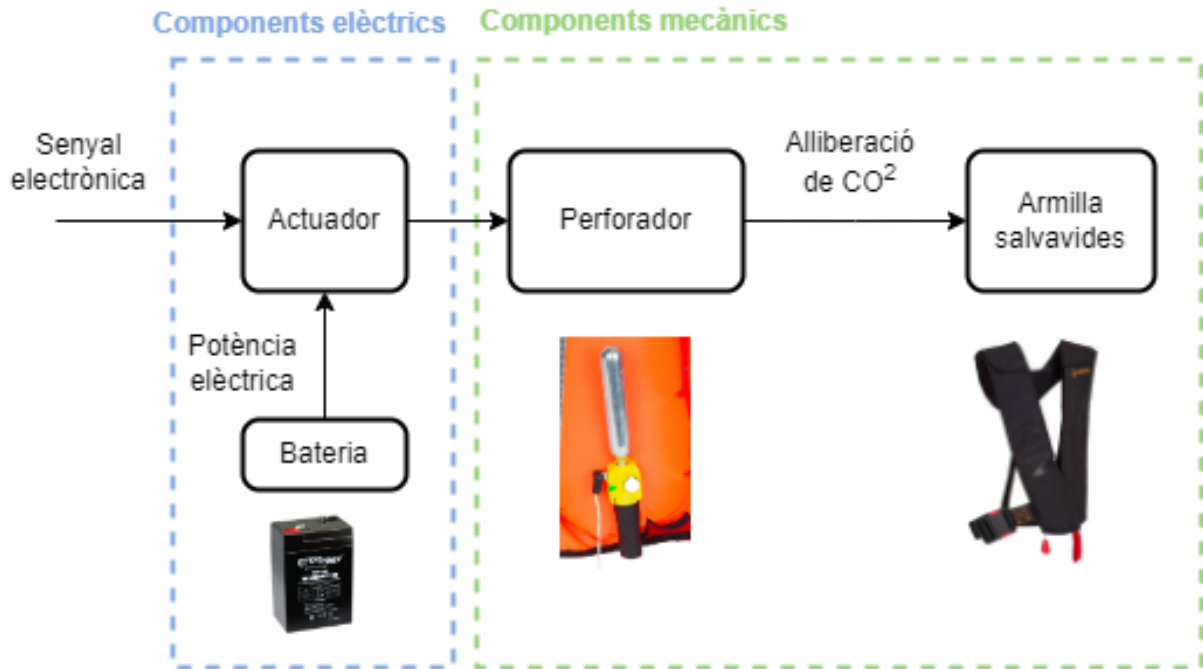


Figura 10. Components de la part electromecànica

Primer analitzarem els components mecànics. Com s'ha vist en el capítol anterior, de l'assemblatge original només es reutilitzaran dues parts de les tres que conté. El perforador és un component amb una dificultat elevada de construcció, ja que no només s'ha de dissenyar un sistema estanc que conté moltes juntes mòbils.

A més, com que l'objectiu principal del treball està més centrat en la part electrònica, s'ha considerat que és una bona opció fer servir el perforador original. D'aquesta forma, també es pot utilitzar la bombona original, ja que s'adapta perfectament al perforador.

L'única part que es vol redissenyar és l'actuador. El que conté el sistema original és purament mecànic i s'activa amb la dissolució d'una pastilla de sal. En aquest treball canviarem aquest component per un sistema electromecànic activat per diferents sensors.

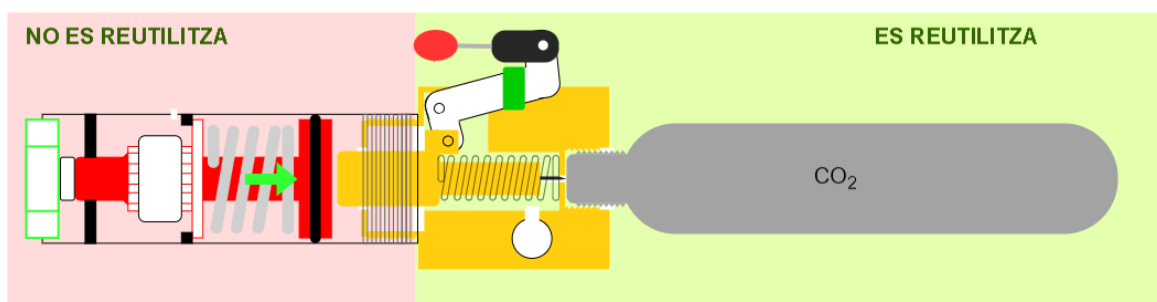


Figura 11. Components reutilitzats del sistema original

Opcions d'actuadors que s'han considerat

Com es pot observar en el diagrama de la Figura 10, una senyal electrònica permet a un actuator alimentat per una bateria accioni el perforador per tal de que aquest alliberi el CO₂. A continuació es presenten les tres opcions d'actuadors que s'han valorat: Actuator lineal elèctric motoritzat, solenoide i actuator elàstic.

- Actuator lineal elèctric motoritzat

Un actuator lineal elèctric és un dispositiu electromecànic que converteix l'energia elèctrica en moviment lineal. És un tipus d'actuator que s'utilitza per moure o accionar objectes en línia recta.

Els actuadors lineals elèctrics motoritzats es componen d'una carcassa que conté un motor elèctric i una transmissió que converteix la rotació del motor en moviment lineal. La transmissió pot consistir en una cremallera i pinyó, una rosca, un cilindre hidràulic, o altres mecanismes.

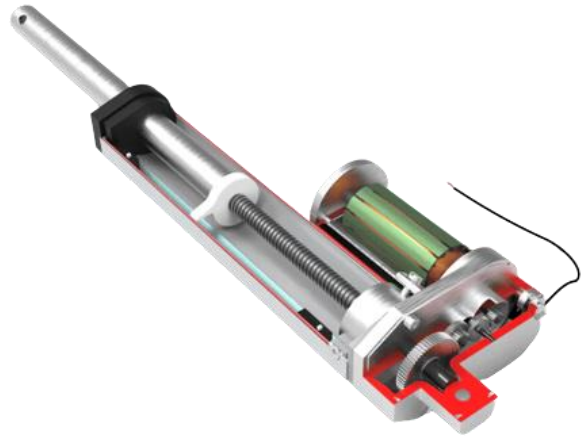


Figura 12. Exemple d'actuator lineal elèctric motoritzat¹⁸

Els actuadors lineals elèctrics motoritzats són utilitzats en molts sectors, com ara la indústria automobilística, la robòtica, la construcció de maquinària, la fabricació de mobiliari, la tecnologia mèdica i molts altres. Aquests actuadors ofereixen una alta precisió i repetibilitat en el moviment, així com un control precís de la velocitat i la força. A més, també són eficients i fiables, i són fàcils d'instal·lar i mantenir.

- Solenoide

Un solenoide és un dispositiu electromagnètic que consisteix en una bobina de filferro esmaltat que envolta un nucli de ferro o d'altres materials ferromagnètics. Quan una corrent elèctrica passa a través de la bobina, es genera un camp magnètic que atrau o repel·leix el nucli, generant moviment.

Els solenoides són utilitzats en una gran varietat d'aplicacions, com ara en les vàlvules solenoides que s'utilitzen per controlar el flux de líquids o gasos en les instal·lacions industrials, en els actuadors lineals que converteixen el moviment rotatiu en moviment lineal, en les serradures elèctriques i altres dispositius de seguretat, en els motors pas a pas i altres motors, i moltes altres aplicacions.

Els solenoides són populars perquè són senzills de dissenyar i fabricar, són eficients en l'ús d'energia, són fiables i duradors. Així mateix, són fàcils de controlar per mitjà de senyals elèctrics, el que els fa una opció ideal per a molts sistemes automatitzats.



Figura 13. Solenoide de 6V⁴⁸

- Actuador elàstic

Un actuador elàstic¹⁹ o de molla és un dispositiu mecànic que utilitza l'energia emmagatzemada en una o més molles per generar moviment. Es pot utilitzar per aplicacions en què és necessari moure o actuar una càrrega a través d'una distància determinada.

L'actuador de molla funciona per mitjà de l'emmagatzematge d'energia potencial en una molla comprimida o estirada. Quan es produeix una força externa en la direcció del moviment desitjat, la molla es relaxa i impulsa l'actuador cap a la seva posició inicial. Això fa que l'actuador de molla sigui una opció eficient i econòmica per a moltes aplicacions.

Els actuadors de molla es poden utilitzar en una gran varietat d'aplicacions, com ara en equips d'automatització, dispositius mecànics, joguines, aparells electrònics, i molts altres. Són populars perquè són senzills de dissenyar i fabricar, no requereixen energia elèctrica o hidràulica externa i són fiables i duradors.

Elecció de l'actuador

S'ha de tenir en compte que l'actuador ha de tenir una força mínima de 6N per tal d'accionar bé el perforador. Això es va determinar en el laboratori de la ETSEIB mitjançant un dinamòmetre.



Figura 14. (Foto) Prova dinamomètrica del perforador



Figura 15. (Foto) Resultat de la prova dinamomètrica del perforador (Newtons)

L'actuador elàstic va ser la primera opció en ser estudiada. En un principi sembla l'opció ideal, ja que l'acció és ràpida i amb una potència molt més elevada que les altres opcions. Malgrat això, la seva implementació en la construcció del producte és molt complicada, ja que s'ha de dissenyar un sistema mecànic que permeti aguantar la molla molt de temps i alliberar-la de forma sobtada.

Es va fer un disseny CAD (*Computer-Aided Design*)²⁰ del sistema (Figura 16) i es van imprimir en 3D per tal de fer proves.

Al final es va concloure que aquest sistema era massa complicat per a un MVP, ja que s'havien d'implementar solucions per a problemes més enllà de l'objectiu del prototip. A més, el cost de construcció era molt més elevat que en les altres opcions.

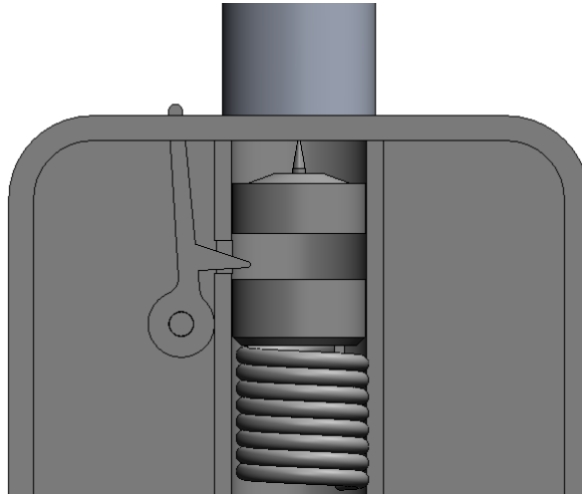


Figura 16. (Elaboració pròpia) Disseny CAD de l'actuador elàstic

La següent opció que es va analitzar és la d'utilitzar un solenoide. Aquest actuador té una resposta molt ràpida, però la seva força és molt reduïda. Tot i que la seva implementació és molt intuïtiva i relativament fàcil, es va descartar automàticament ja que un solenoide amb la força suficient per ser funcional en aquest cas és molt car.

A més, tal i com es va observar en un estudi al departament d'electrònica, el solenoide s'escalfa de forma exponencial.

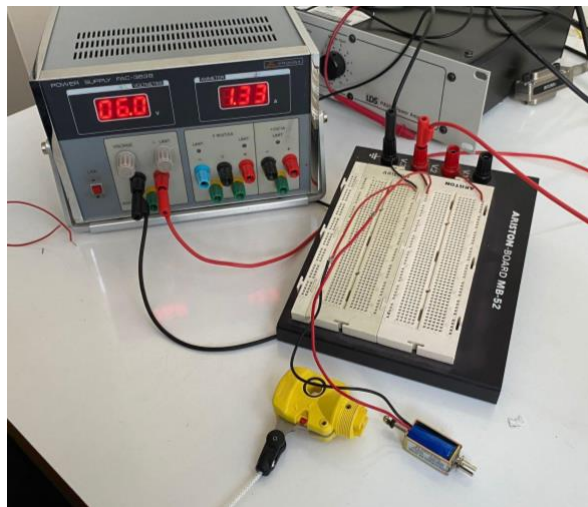


Figura 17. (Foto) Estudi del solenoide al departament d'Electrònica

Finalment es va analitzar l'actuador lineal elèctric. De la mateixa manera que el solenoide, aquest actuador té una dificultat de construcció relativament baixa. La potència és suficient per poder accionar el perforador i té un cost molt baix. L'únic gran desavantatge és la seva

velocitat. En tractar-se d'un vis sense fi, no té una resposta molt ràpida, però es considera suficient per l'aplicació en la que es vol fer servir.

Per a comparar els tres sistemes s'han qualificat quatre variables: Rapidesa, Potència, Cost i Dificultat de construcció. Aquest components es poden comprar per separat i no requereixen cap tipus de modificació, però per aquest projecte es té en compte quina dificultat tenen per implementar la seva construcció a l'MVP.

A la següent taula es valoren en cada cas:

	Actuador lineal elèctric motoritzat	Solenoide	Actuador elàstic
Rapidesa	Baixa	Alta	Alta
Potència	Moderada	Baixa	Alta
Cost	Baix	Alt	Moderat
Dificultat de construcció	Moderada	Baixa	Alta

Taula 3. Qualificacions de cada tipus d'actuador lineal

La decisió final va ser utilitzar un actuador lineal motoritzat. Com es veurà en el capítol de la construcció del prototip es va intentar construir-ne un des de zero, però ràpidament es va observar que la seva construcció era massa complicada per l'abast d'aquest projecte.

Es va optar, doncs, per utilitzar un actuador lineal ja fabricat.

Micro Actuador Lineal

Es va adquirir un Micro Actuador Lineal ²¹. Compta amb una mida compacta i una longitud de recorregut de 50 mm, permetent un moviment lineal precís en un espai limitat. L'actuador funciona amb una font d'alimentació de 12V CC.



Figura 18. (Foto) Actuador lineal de 12V

Algunes de les seves característiques clau són:

- **Moviment Lineal:** L'actuador és capaç de realitzar un moviment lineal, el que significa que pot estendre's i retreure's al llarg d'una línia recta. La seva longitud de recorregut de (50 mm) permet moure objectes o mecanismes dins d'aquest rang.
- **Interruptor de Límit Integrat:** L'actuador està equipat amb un interruptor de límit integrat. Aquest interruptor ajuda a controlar el recorregut de l'actuador senyalitzant quan ha arribat a la seva posició màxima estesa o retreta. Això afegeix una característica de seguretat per evitar sobretensió o sobre-retracció.
- **Disseny Impermeable:** L'actuador està dissenyat per ser impermeable, el que permet utilitzar-lo en entorns on hi pugui haver exposició a la humitat o aigua. Aquesta característica millora la seva durabilitat i idoneïtat per a condicions exteriors o humides, i per descomptat, compleix amb els requeriments d'aquest MVP.
- **Velocitat i Força:** L'actuador ofereix una velocitat de 4 mm/s, indicant la velocitat a la qual pot estendre's o retreure's. També proporciona una força màxima de 150N, que fa referència a la quantitat de força de pressió o tracció que pot exercir.



Figura 19. (Foto) Característiques nominals de l'actuador

Aquest actuador lineal s'alimenta amb una pila alcalina de 12V tipus 23A. La seva capacitat es de 55 mAh.



Figura 20. Bateria de 12V 23A

Per poder controlar aquest actuador lineal és necessari afegir un altre component: un *Motor Driver*. La majoria de microprocessadors no poden suportar una tensió més gran de 5V, i per tant és necessari afegir un *Driver* per tal de controlar el flux de potència amb una senyal de baix voltatge.

Analitzant el mercat de *Motor Drivers*, es va concloure que les dues millors opcions eren: el mòdul L298N i el mòdul DRV8871. Es van provar els dos i finalment es va decidir optar pel mòdul DRV8871. A continuació s'exposen els detalls de cada *Motor Driver* i s'explica el perquè de la elecció.

L298N

El mòdul L298N²² és un circuit integrat (*Integrated Circuit*) de controlador de motor de pont H dual. S'utilitza habitualment per controlar la velocitat i la direcció dels motors de corrent continu i els motors pas a pas en projectes de robòtica i automatització.

El L298N pot gestionar càrregues d'alta intensitat, el que el fa adequat per conduir motors de mida mitjana. Té dos canals, el que significa que pot controlar dos motors de manera independent o un sol motor pas a pas bipolar. Cada canal consta d'una configuració de pont H, que permet un control bidireccional de la rotació del motor.

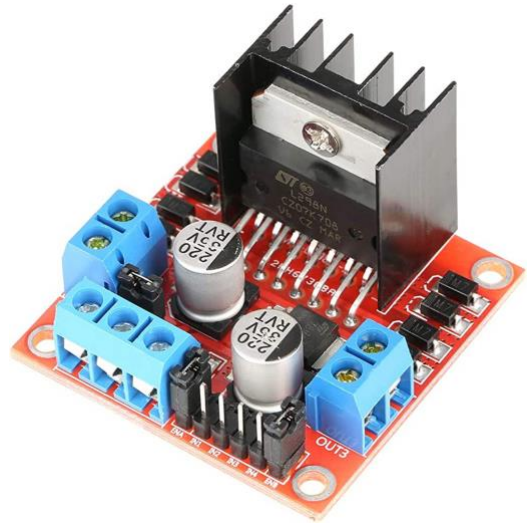


Figura 21. Mòdul L298N²²

Un altra característica important és la que inclouen protecció tèrmica i contra curtcircuits, el que ajuda a prevenir danys als motors i al mateix mòdul en cas de condicions adverses, com és el contacte amb l'aigua en aquest cas.

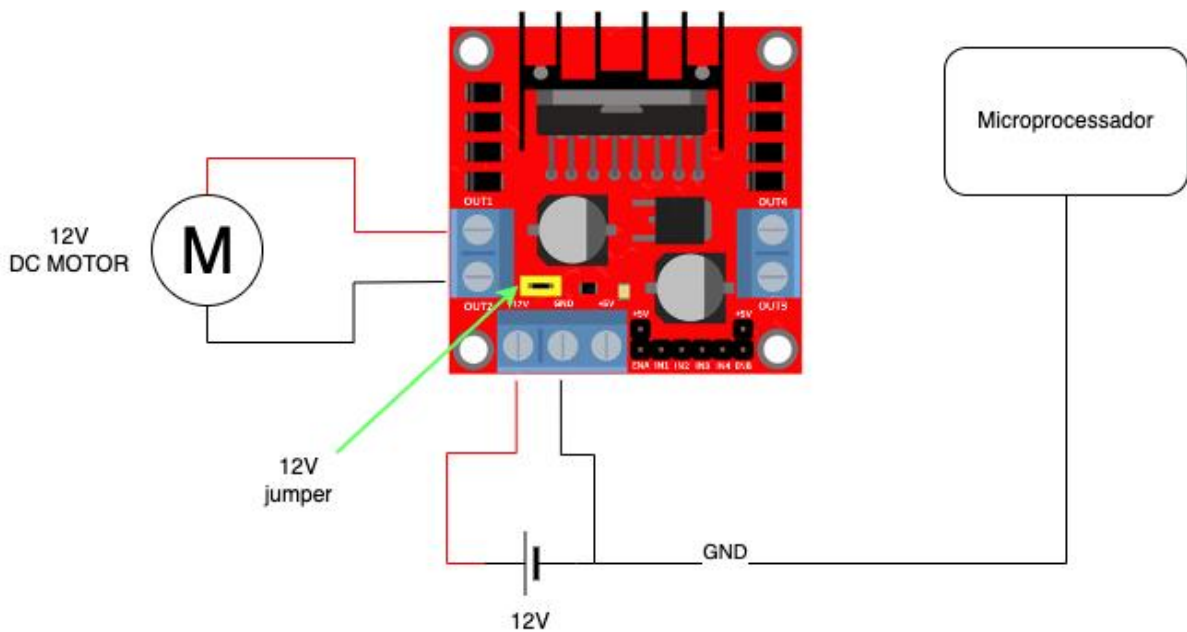


Figura 22. Esquema elèctric del mòdul L298N

En la Figura 22 es pot observar l'esquema elèctric del circuit integrat L298N. Aquest pot proporcionar 12V fins a 2 motors a la vegada. Aquests son els pins que corresponen a cada motor:

- Motor A: OUT1, OUT2, ENA, IN1, IN2, 12V, GND
- Motor B: OUT3, OUT4, ENB, IN3, IN4, 12V, GND

Per a aquest projecte només es necessari un motor i per tant s'utilitza la part del Motor A.

A continuació s'explica per a que serveix cada un dels pins de potència:

- OUT1 (potència): Connexió positiva del motor.
- OUT2 (potència): Connexió negativa del motor.
- 12V (potència): Connexió positiva de la bateria de 12V.
- GND (potència): Connexió a terra (negatiu) de la bateria de 12V. És el terra (*ground*) general del sistema i, per tant, el microprocessador també ha d'estar connectat a aquesta línia.

El circuit conté un *jumper* de 12V que permet utilitzar l'energia de la pròpia bateria de 12V per alimentar el circuit. Si no hi hagués aquest *jumper*, s'hauria d'alimentar el circuit amb una font DC de 5V en el pin +5V. En el nostre cas es deixarà el *jumper* posat.

Aquest mòdul va ser el primer en ser provat, ja que és un component molt estès i molt fàcil de aconseguir. La seva gran desavantatge, i característica crítica en aquest projecte, és la seva dimensió. Amb unes cotes de 43x43x26 mm, té una mida molt gran en comparació amb els altres components.

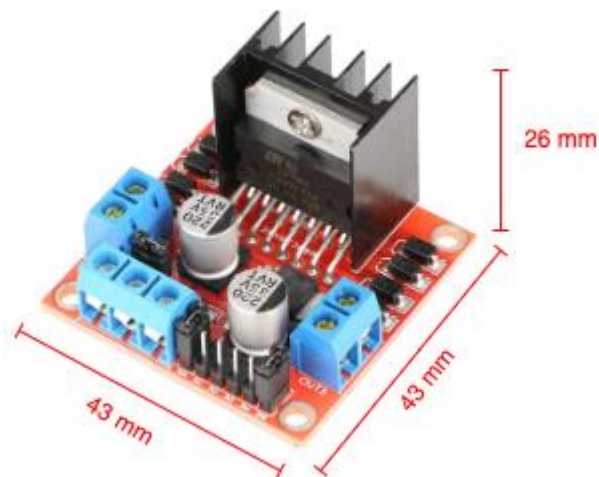


Figura 23. Dimensions del mòdul L298N

És per això que es va optar per la segona opció: el mòdul DRV8871

DRV8871

El *driver* DRV8871²³ és un circuit integrat utilitzat per controlar motors de corrent continu. És especialment dissenyat per a aplicacions de baixa tensió i alta corrent, i ofereix un rendiment eficient i una protecció integrada per al motor i el sistema.

El DRV8871 és capaç de gestionar corrents de fins a 3,6 A i tensions d'alimentació de fins a 38 V. Aquesta ampla gamma de corrents i tensions permet utilitzar el driver en una gran varietat de motors de corrent continu, des de petits motors en aplicacions de baixa potència fins a motors més grans i exigents.

Una de les característiques principals del DRV8871 és la seva capacitat de controlar la direcció del motor. Això es pot aconseguir mitjançant la inversió del sentit de corrent a través del motor, cosa que permet controlar el seu moviment en diferents direccions.

A més, ofereix protecció contra condicions extremes de corrent, temperatura i curtcircuits. Aquestes característiques de protecció integrades ajuden a garantir la seguretat i la fiabilitat del sistema, evitant danys al motor o al mateix *driver* en situacions adverses.

El *driver* DRV8871 es pot controlar mitjançant senyals digitals, com ara senyals PWM (modulació per amplada de polsos), que permeten ajustar la velocitat i el par motor del motor de corrent continu. Això permet un control precís i flexible del motor en funció de les necessitats de l'aplicació.

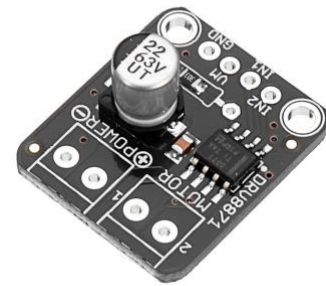


Figura 24. Driver DRV8871 ²³



Figura 25. Dimensions del driver DRV8871

Com es pot observar en la Figura 25, el *driver* té unes dimensions de 20x24x9 mm. Aquestes són molt menors que les del *driver* L298N i, per tant, és molt més adequat per aquest projecte.

Per a la seva implementació en aquest projecte es fa el següent diagrama de connexions.

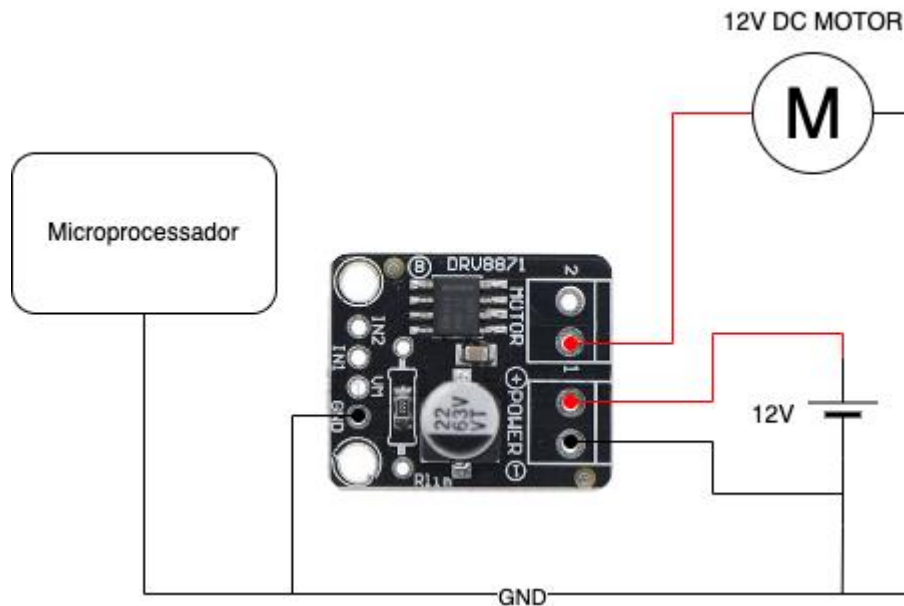


Figura 26. Esquema elèctric del driver DRV8871

Les seves connexions són molt semblants a les del mòdul L298N. Hi ha dos tipus de pins: els de potència i els digitals. Aquest últim són els que es comuniquen amb lògica booleana amb el microprocessador.

A continuació s'explica per a què serveix cada pin de potència.

- MOTOR1 (potència): Connexió positiva del motor.
- GND (potència): Connexió a terra del mòdul
- POWER+ (potència): Connexió positiva de la bateria de 12V.
- POWER- (potència): Connexió a terra (negatiu) de la bateria de 12V. És el terra (*ground*) general del sistema i, per tant, el microprocessador també ha d'estar connectat a aquesta línia.

En el següent capítol s'explicarà amb més detall com s'utilitzen els pins lògics d'aquest *driver*.

D'aquesta manera, el diagrama de la part electromecànica es pot veure en la Figura 27.

Per al prototip final s'ha estudiat que el recorregut total que ha de fer l'actuador lineal ha de ser de 3.7 mm, ja que és la distància total que ha de recórrer el pistó del perforador (veure Figura 28).

Quan l'actuador lineal va recorrent aquesta distància la punxa perforadora va sortint, alliberant així el gas de la bombona. Un altre punt a tenir en compte és la velocitat de l'actuador. La velocitat lineal nominal (veure Figura 19) és de 4 mm/s i, per tant, per realitzar la distància necessària per a activar el perforador triga com a mínim 0.925 segons:

$$3.7 \text{ mm} \times \frac{1 \text{ s}}{4 \text{ mm}} = 0.926 \text{ s}$$

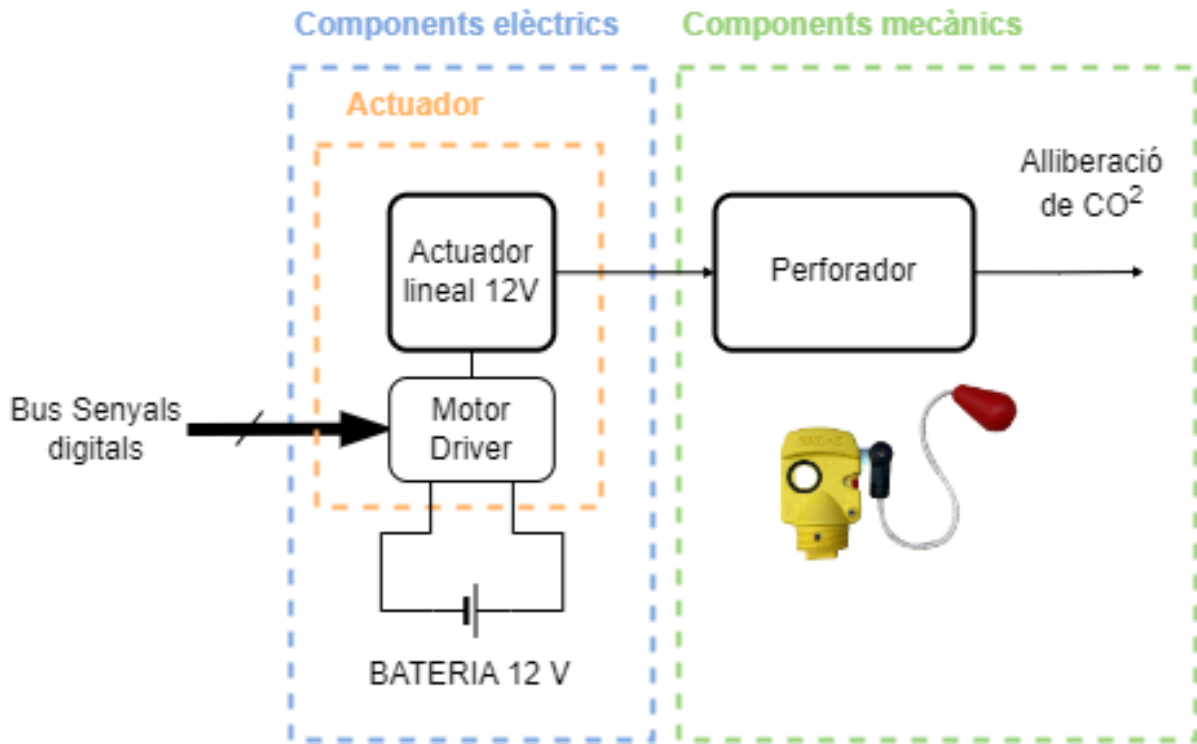


Figura 27. Diagrama final de la part electromecànica

És important que aquest és un temps teòric, ja que el fregament, la resistència que exerceix el perforador i la resistència que ofereix la bombona augmentaran el temps de perforació. s'haurà de calcular experimentalment.

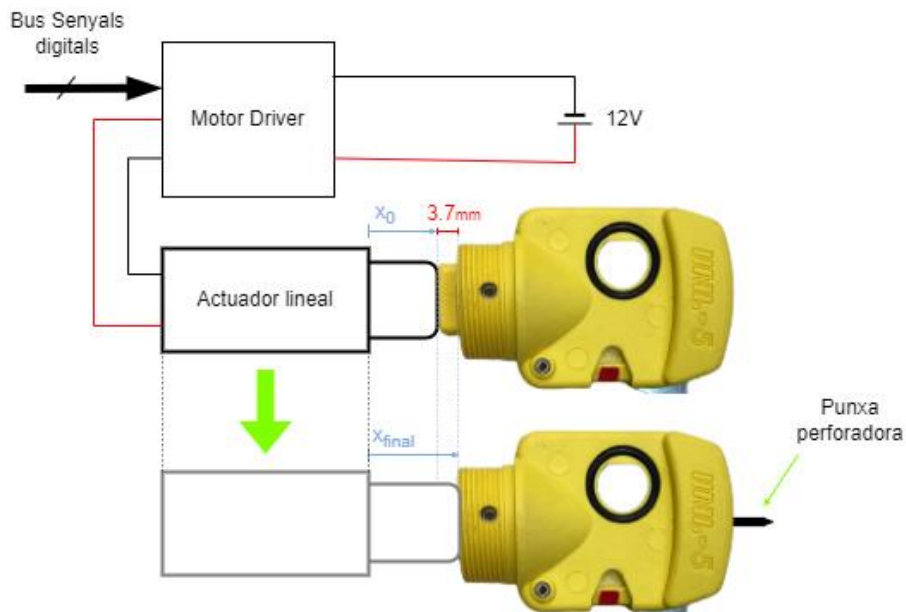


Figura 28. Distància que recorre el pistó de l'actuator

3.3.2 Part electrònica

Fins ara s'ha vist la part electromecànica del projecte. Tanmateix, per tal que aquesta funcioni necessitem controlar-la de manera que s'activi quan es reuneixin unes condicions. És per això que es faran servir uns components electrònics per tal de rebre informació de l'ambient, processar-la i donar unes ordres als components electromecànics.

A continuació s'explica la configuració general de la part electrònica.

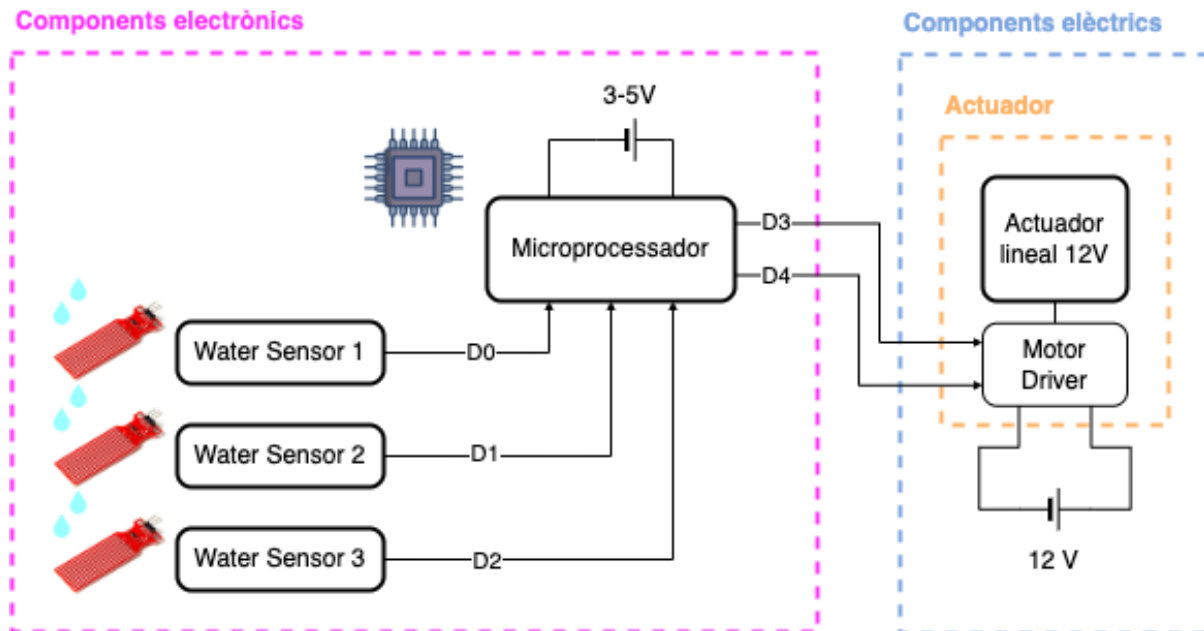


Figura 29. Diagrama general de la part electrònica

La funció principal d'aquest MVP és que l'armilla salvavides s'infla quan l'individu que la porta cau a l'aigua. Per a detectar-ho es faran servir uns sensors digitals detectors d'aigua; quan són alimentats donen un senyal digital binari: 0 quan no es detecta aigua i 1 quan es detecta aigua

Si només s'utilitzés un, podria haver-hi deteccions no desitjades com una ruixada amb una mànega. És per això que se'n posaran 3 repartits en diferents punts de l'armilla i si, només si, els tres estan activats durant un cert temps l'armilla es podrà inflar. Més endavant es parlarà amb més detall sobre aquests sensors.

Els senyals digitals (representats en l'esquema com D0, D1 i D2) permetran al microprocessador processar aquesta informació i donar ordres digitals al *driver* del motor. El microprocessador o *board* està alimentat amb un voltatge petit (entre 3 i 5 V) amb comparació al voltatge que necessita l'actuador per funcionar correctament (12V). És per això que el paper del *driver* és molt important: a partir d'uns senyals digitals provinents del microprocessador (en l'esquema D3 i D4) permet o denega el pas d'energia a l'actuador, el mou endavant o el mou enrere. Més endavant s'explicarà amb més detall.

A continuació s'estendrà l'explicació en cada un dels components i es farà una vista general completa del funcionament en conjunt.

Microprocessador

El primer component que es va analitzar va ser el microprocessador ²⁴. En ser el centre de tota la part electrònica és important escollir un que sigui adequat.

Hi ha molts microprocessadors que es poden utilitzar per a la creació de MVPs. L'elecció dependrà dels requisits específics del projecte, el pressupost, les habilitats i preferències del desenvolupador, entre altres factors. Aquests són alguns exemples comuns de microprocessadors utilitzats en la creació de MVPs:

- Arduino ²⁵: És una plataforma de maquinari i programari lliure que proporciona plaques de desenvolupament amb microcontroladors AVR de Atmel de 8 bits. És molt popular en la creació de projectes d'electrònica i IoT a causa de la seva facilitat d'ús, àmplia comunitat d'usuaris i abundant documentació.
- Raspberry Pi ²⁶: És un computador de placa única, Single Board Computer (SBC), que utilitza microprocessadors Advanced RISC Machine (ARM). És molt popular en la creació de projectes de computació, IoT i multimèdia a causa de la seva potència i flexibilitat.
- ESP32 ²⁷: És un microcontrolador de baix cost i baix consum d'energia que utilitza un nucli dual Xtensa LX6 de 32 bits.
- Particle ²⁸: És una plataforma de maquinari i programari per a la creació de projectes de Internet of Things (IoT) que utilitza microcontroladors ARM Cortex-M.

D'altra banda, Adafruit, és una empresa que s'especialitza en la fabricació i distribució de kits i components electrònics, incloent-hi plaques de desenvolupament, sensors, mòduls de comunicació, pantalles i altres components.

En general, a banda dels esmentats, hi ha una àmplia varietat de microprocessadors disponibles per a la creació de MVP's.

En aquest treball, s'han provat 4 plaques diferents, provinents del fabricant Adafruit i Arduino. A continuació s'expliquen breument les característiques de cada una.

- Adafruit Feather nRF52840 Sense ²⁹

Aquesta és una placa de desenvolupament creada per Adafruit Industries. Està dissenyada al voltant del sistema en xip (SoC) de Nordic Semiconductor nRF52840, que combina un potent processador ARM Cortex-M4F de 32 bits amb una ràdio Bluetooth de baixa energia (BLE) integrada.

El SoC nRF52840 és capaç de funcionar fins a 64 MHz i té 1 MB de memòria flash i 256 KB de RAM, el que el fa adequat per a una àmplia gamma de projectes que requereixen tant potència de processament com connectivitat sense fil.



Figura 30. Adafruit Feather nRF52840 Sense²⁹

La gran avantatge de la placa Feather nRF52840 Sense es que inclou una gran varietat de sensors integrats, cosa que la diferencia d'altres plaques *Feather*. Aquests sensors inclouen:

- Acceleròmetre: pot mesurar l'acceleració en tres eixos, permetent la detecció de moviment i el reconeixement de gestos.
- Magnetòmetre: Aquest sensor detecta la presència i la força dels camps magnètics, el que el fa útil per a aplicacions de brúixola i navegació.
- Giroscopi: el giroscopi mesura el moviment de rotació o la velocitat angular del tauler en tres eixos, permetent el seguiment de l'orientació i l'estabilització.
- Sensor de llum: aquest sensor mesura els nivells de llum ambiental, proporcionant dades per a projectes que impliquen aplicacions sensibles a la llum o ajustant la brillantor de la pantalla.
- Sensor de temperatura i humitat: Mesura la temperatura ambient i la humitat relativa, el que el fa ideal per a projectes de vigilància ambiental.
- Sensor de pressió: el sensor de pressió detecta la pressió atmosfèrica, permetent projectes relacionats amb el seguiment meteorològic o la mesura d'altitud.
- Sensor de proximitat i gestos: aquest sensor pot detectar la presència d'objectes o gestos propers, oferint capacitats d'interacció sense contacte.

La placa Feather nRF52840 Sense també inclou un connector USB integrat per a una fàcil programació i font d'alimentació, així com un connector de bateria LiPo i circuits de càrrega per a aplicacions portàtils.

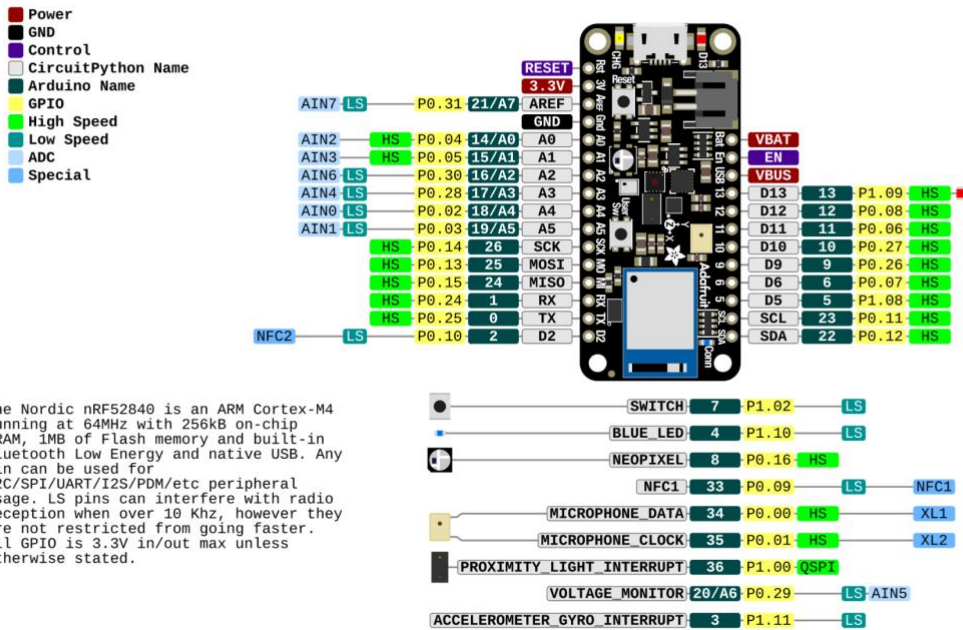
A més, la placa inclou una varietat de pins GPIO ³⁰ (entrada/sortida de propòsit general), que permeten connectar components o sensors externs per ampliar les seves capacitats. També admet protocols de comunicació Bluetooth, el que el fa adequat per a projectes IoT.

En general, l'Adafruit Feather nRF52840 Sense és una placa de desenvolupament versàtil que combina un processament potent, connectivitat sense fil i una gamma de sensors integrats, la qual cosa la converteix en una opció excel·lent per a projectes que impliquen detecció de moviment, monitorització ambiental o aplicacions IoT.

Els pins dels quals disposa es veuen en la Figura 31.

Adafruit Feather nRF52840 Sense

<https://www.adafruit.com/product/4516>



The Nordic nRF52840 is an ARM Cortex-M4 running at 64MHz with 256kB on-chip SRAM, 1MB of Flash memory and built-in Bluetooth Low Energy and native USB. Any pin can be used for I2C/SPI/UART/I2S/PDM/etc peripheral usage. LS pins can interfere with radio reception when over 10 KHz, however they are not restricted from going faster. All GPIO is 3.3V in/out max unless otherwise stated.

Figura 31. Pins de la placa Adafruit Feather nRF52840 Sense²⁹

- Adafruit ItsyBitsy nRF52840 Express³¹

La placa *Adafruit ItsyBitsy nRF52840 Express* és una altra opció de placa de desenvolupament creada per Adafruit Industries. També està basada en el sistema en xip (SoC) Nordic Semiconductor nRF52840³², que ofereix un processador ARM Cortex-M4F³³ de 32 bits i una ràdio Bluetooth de baix consum integrada.



Figura 32. Adafruit ItsyBitsy nRF52840 Express³¹

Una diferència clau entre la placa ItsyBitsy i la placa Feather nRF52840 Sense és el seu factor de forma i dimensions. La placa ItsyBitsy és més petita i compacta, ideal per a projectes que requereixen un espai reduït o una configuració més discreta.

Tot i que la placa ItsyBitsy no inclou els sensors integrats de la placa Feather nRF52840 Sense, ofereix una ampla gamma de connectors i ports per connectar components externs. Això inclou ports USB, GPIO (entrada/sortida de propòsit general) i connexions per a antenes externes.

La placa Adafruit ItsyBitsy nRF52840 Express també és compatible amb l'Arduino IDE (Integrated Development Environment), el que significa que es pot programar utilitzant el llenguatge de programació Arduino i la seva extensa llibreria de codi obert. Això facilita el desenvolupament de projectes, ja que es pot aprofitar el gran ecosistema d'eines i recursos disponibles per a Arduino.

En resum, la placa Adafruit ItsyBitsy nRF52840 Express és una placa de desenvolupament compacta i potent basada en el microcontrolador nRF52840. Tot i que no inclou sensors integrats com la placa Feather nRF52840 Sense, ofereix una ampla connectivitat i és compatible amb l'Arduino IDE. És ideal per a projectes que requereixen un factor de forma petit i la possibilitat de connectar components externs.

Els pins dels qual disposa son molt similars als de la Feather nRF52840 Sense (Figura 33)

Adafruit ItsyBitsy nRF52840

<https://www.adafruit.com/product/4481>

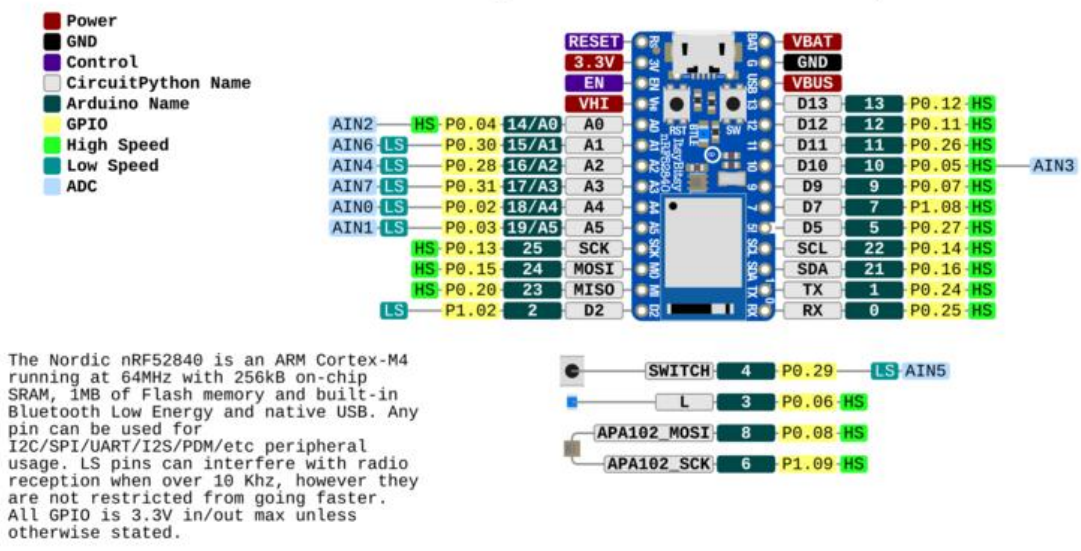


Figura 33. Pins de la placa Adafruit ItsyBitsy nRF52840 Express³¹

- Adafruit Feather RP2040 ³⁴

La placa Adafruit Feather RP2040 és una altra opció de placa de desenvolupament creada per Adafruit Industries. A diferència de la placa Feather nRF52840 Sense i la ItsyBitsy nRF52840 Express, la Feather RP2040 està basada en el microcontrolador RP2040 de Raspberry Pi.

El microcontrolador RP2040 és un xip potent que combina un processador ARM Cortex-M0+³⁵ de doble nucli a 133 MHz amb 264 KB de memòria RAM. Aquesta placa destaca per la seva

alta rendiment i eficiència energètica, així com per les seves capacitats de connectivitat i flexibilitat.

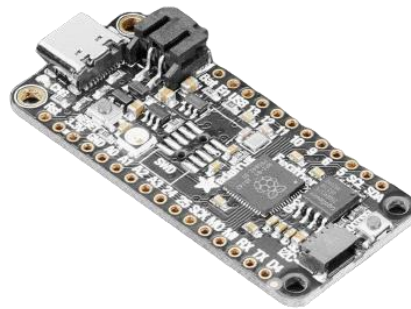
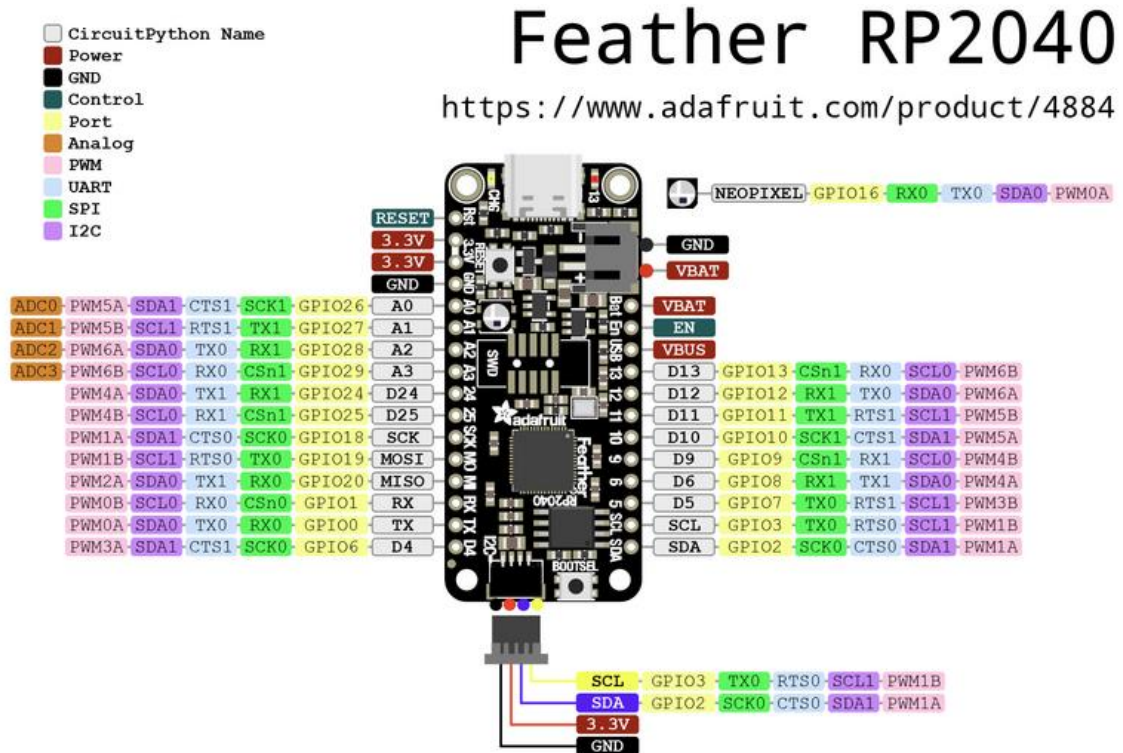


Figura 34. Adafruit Feather RP2040³⁴

Una de les principals diferències de la placa Adafruit Feather RP2040 és que, de la mateixa manera que la *ItsyBitsy nRF52840 Express*, no inclou sensors integrats. En canvi, es centra en proporcionar una plataforma versàtil i compacta per al desenvolupament de projectes amb una àmplia gamma de connectors i pins GPIO.

La placa inclou un connector USB integrat per a programació i alimentació, així com un connector de bateria LiPo i circuits de càrrega per a aplicacions portàtils. També ofereix una varietat de pins GPIO per connectar components i sensors externs i admet diverses interfícies de comunicació com SPI³⁶, I2C³⁷ i UART³⁸, ampliant així les possibilitats de connexió amb altres dispositius. Els pins dels qual disposa son molt semblants als de les plaques anteriors (Figura 35)



- Arduino Uno ³⁹

La placa Arduino Uno és una de les plaques de desenvolupament més populars i reconegudes de la família Arduino. Es basa en el microcontrolador ATmega328P ⁴⁰ de 8 bits d'Atmel (ara Microxip). Aquest microcontrolador té una velocitat d'operació de 16 MHz i està equipat amb 32 KB de memòria flaix i 2 KB de RAM.



Figura 36. Arduino UNO³⁹

La placa Arduino Uno és coneguda per la seva simplicitat i facilitat d'ús, sent una opció excel·lent per a principiants en la programació i l'electrònica. Té un factor de forma compacte i inclou tot el necessari per començar a desenvolupar projectes, com ara connexions d'entrada/sortida (GPIO), ports USB per a programació i comunicació, i un connector d'alimentació.

Una de les característiques distintives de la placa Arduino Uno és el seu conjunt d'entrades/sortides digitals i analògiques. Té 14 pins digitals, dels quals 6 poden ser utilitzats com a sortides PWM⁴¹ (modulació d'amplada de pols) per controlar la intensitat de senyals analògiques com LED⁴² o servomotors. A més, té 6 entrades analògiques per mesurar valors de tensió analògics, com ara sensors de temperatura o llum.

La placa Arduino Uno és compatible amb l'Arduino IDE, que proporciona un entorn de programació senzill i una gran llibreria de codi obert. Això permet als desenvolupadors utilitzar un llenguatge de programació similar a C/C++ per escriure codi i controlar els pins i els components de la placa. També hi ha una gran comunitat d'usuaris d'Arduino que comparteixen projectes, tutorials i exemples, el que facilita l'aprenentatge i el suport.

Una diferència notable entre la placa Arduino Uno i les plaques Adafruit mencionades anteriorment és el microcontrolador utilitzat. Mentre que la placa Adafruit Feather nRF52840 Sense i la ItsyBitsy nRF52840 Express són basades en microcontroladors més potents i compatibles amb Bluetooth, la placa Arduino Uno utilitza un microcontrolador ATmega328P més senzill i de menor capacitat.

Aquesta placa s'utilitzarà només per a fer proves i no es pretén que formi part del prototip final.

CircuitPython ⁴³

Una característica destacada de les plaques Adafruit és la seva compatibilitat amb el CircuitPython, un llenguatge de programació simplificat i amigable per a principiants que ofereix una interfície senzilla per interactuar amb els components i per desenvolupar ràpidament aplicacions. Aquesta placa es pot programar de manera molt senzilla amb Python⁴⁴. En concret s'utilitza una variant anomenada CircuitPython.

CircuitPython és un llenguatge de programació i un entorn de desenvolupament dissenyat per a microcontroladors i ordinadors de placa única.

CircuitPython simplifica el procés de programar dispositius electrònics proporcionant una interfície de nivell alt i fàcil d'utilitzar. Facilita moltes de les complexitats de la programació de baix nivell, fent-la més accessible per a principiants.

CircuitPython proporciona una manera senzilla i intuïtiva d'interactuar amb components de maquinari, com ara sensors, LED's, motors i pantalles. Inclou llibreries i mòduls integrats que engloben els detalls de baix nivell per interactuar amb el maquinari, permetent als usuaris centrar-se en la lògica dels seus projectes.

El flux de treball de desenvolupament amb CircuitPython sovint és més interactiu en comparació amb la programació embeguda tradicional. El codi es pot editar directament al microcontrolador, ja que es presenta com a un dispositiu d'emmagatzematge USB quan està connectat a un ordinador. Això significa que podeu editar el codi utilitzant un editor de text i veure els canvis que es produeixen immediatament sense necessitat d'un pas de compilació separat.

Sensor de detecció d'aigua

En aquest projecte s'utilitzarà un sensor de detecció d'aigua digital ⁴⁵ (Figura 37).

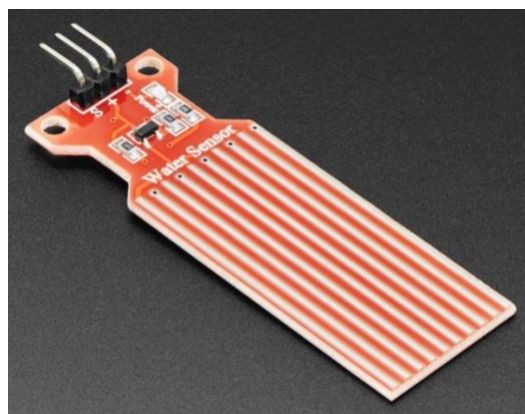


Figura 37. Sensor d'aigua de la marca Adafruit⁴⁵

Aquest és un sensor dissenyat per detectar la presència o absència d'aigua en una àrea determinada. Es un sensor molt senzill que permet una sincronització molt bona amb els components Adafruit.

El sensor incorpora un transistor amb una polarització subtil, que estableix una connexió a dos conjunts estès de vies entrelaçades. Sempre que una petita quantitat d'aigua o condensació entra en contacte amb la placa de circuit imprès (PCB) i estableix contacte entre dues d'aquestes vies, el transistor s'activa, donant lloc a que el pin de sortida s'estableixi en un estat alt.

Conté tres pins:

- (+) Pin positiu connectat a 3-5 V
- (-) Pin negatiu connectat a GND
- (S) Pin de senyal connectat al microcontrolador

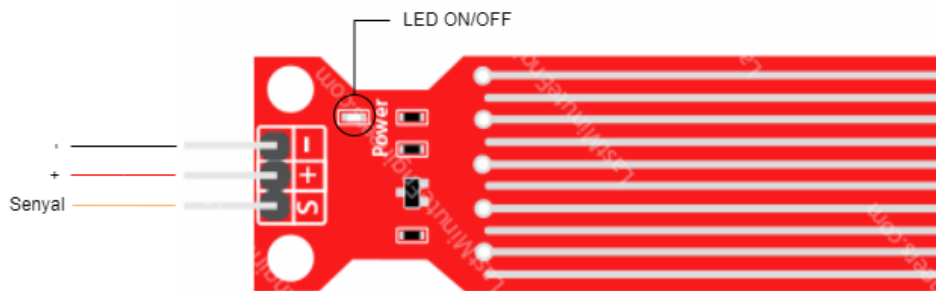


Figura 38. Esquema de les connexions del sensor d'aigua⁴⁵

Realment, la sortida (S) de senyal es analògica, ja que es poden notar diferents valors de voltatge si hi ha més o menys aigua a la placa. Tanmateix, aquesta variació és molt subtil i gairebé indetectable i per tant aquest sensor retorna un senyal digital baix (LOW) quan no hi ha aigua i alt (HIGH) quan detecta aigua.

La sensibilitat amb la qual detecta l'aigua es pot canviar en la programació de la placa Adafruit Feather nRF52840 Sense. Tot el codi s'explicarà més endavant, però per a explicar com s'extreu un senyal digital del sensor a continuació es mostra una part estreta del codi.

```
def get_voltage(pin):
    return (pin.value * 3.3) / 65536

water_sensor_1_active = get_voltage(water_sensor_1) > 1
```

Com es pot observar, hi ha una funció que permet extreure el voltatge d'un pin de la placa. Després obtenim un booleà que retorna positiu (*True*) o (*False*) segons si el voltatge obtingut del sensor d'aigua és major o menor a 1V.

El llindar de 1V és arbitrari i s'ha escollit observant experimentalment quin era el valor que retorna la funció `get_voltage(pin)`. Quan no hi havia presència d'aigua aquest valor era molt proper a 0V (per exemple 0,00023) i quan hi havia la mínima presència d'aigua aquest valor pujava fins a un valor més alt d'1V (per exemple 1.23039).

Motor driver (L298N)

El driver del motor de 12V permet gestionar l'electrònica de potència, com s'ha explicat en l'apartat anterior. Aquesta gestió es fa mitjançant impulsos lògics.

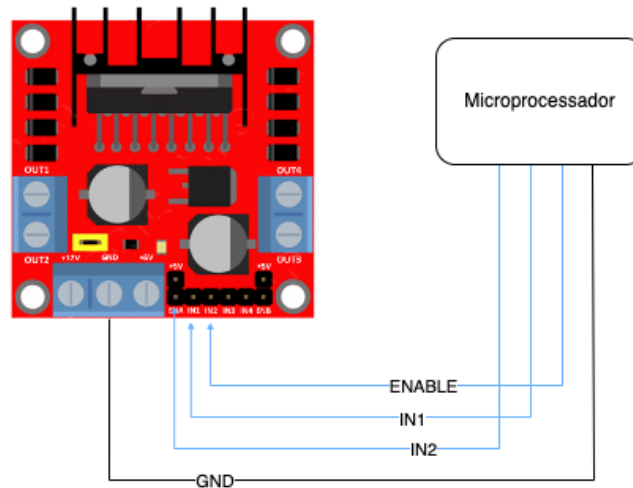


Figura 39. Esquema de les connexions digitals del driver L298N

Aquest *driver* disposa de tres pins lògics de control: "ENA", "IN1" i "IN2". Aquest pins son per controlar un motor. Si es volgués utilitzar dos motors, que no es el cas, s'haurien d'utilitzar també els pins "ENB", "IN3" i "IN4".

- ENA: "Enable". Si el valor es 1 deixa passar potència al motor, si el valor es 0 no deixa passar potència al motor.
- IN1, IN2: Si tenen el mateix valor el motor s'atura. si tenen valors diferents el motor avança o retrocedeix segons els valors.

La taula de la veritat de la lògica d'aquest *driver* és la següent:

ENABLE	IN1	IN2	MOTOR
0	0	0	STOP
0	0	1	STOP
0	1	0	STOP
0	1	1	STOP
1	0	0	STOP
1	0	1	RETROÇEDEIX
1	1	0	AVANÇA
1	1	1	STOP

Taula 4. Taula de la veritat del driver L298N

Motor driver (DRV8871)

Aquest és l'altre *driver* que s'ha utilitzat. És més compacte i la seva lògica més senzilla.

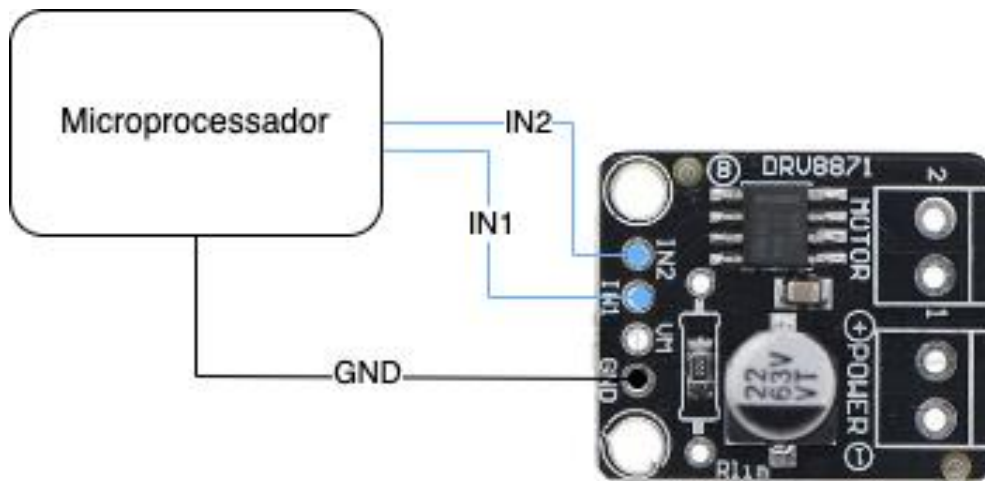


Figura 40. Esquema de les connexions digitals del driver L298N

Els pins digitals s'anomenen "IN1" i "IN2". Si tenen el mateix valor el motor s'atura i si tenen valors diferents el motor avança o retrocedeix segons els valors.

De la mateixa manera que el *driver* L298N, s'han de connectar el terra del *driver* amb el terra del microprocessador. Aquesta es la connexió GND.

La taula de la veritat es més senzilla:

IN1	IN2	MOTOR
0	0	STOP
0	1	RETROCEDEIX
1	0	AVANÇA
1	1	STOP

Taula 5. Taula de la veritat del driver DRV8871

Aquest *driver* no té cap pin lògic "enable", la qual cosa permet obtenir el mateix resultat però utilitzant dos cables digitals enlloc de tres.

3.3.3 Conjunt

A continuació s'explicarà el procés de combinar totes les parts dins d'una carcassa, per formar un conjunt que compleixi les funcions del prototip.

Primer es veurà com s'ha connectat la part electrònica i la electromecànica, explicant les connexions i la programació implementada.

També es mostrarà com s'ha dissenyat una carcassa que pugui englobar tots aquests components de forma eficient.

Cablejat i programació

A continuació es mostra el diagrama de cablejat que s'ha utilitzat en el conjunt de tots els components elèctrics (Figura 41).

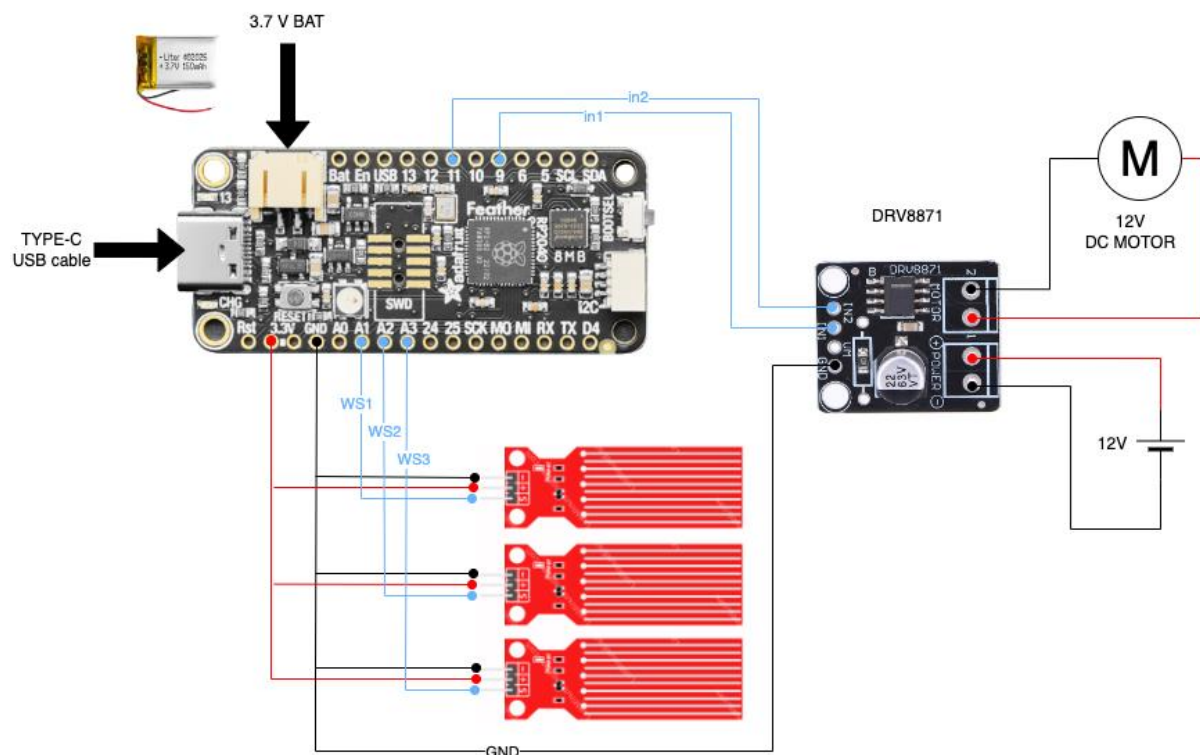


Figura 41. Diagrama de totes les connexions del prototip

La placa Adafruit (en l'apartat de construcció es veurà quina s'ha fet servir finalment) és el centre del sistema electrònic i s'ha d'alimentar a 3.7 V (l'Arduino Uno s'ha d'alimentar a 5 V).

Aquesta alimentació es pot produir de dues formes:

- Mitjançant un cable USB tipus C connectat a l'ordinador. A més de dotar d'energia a la placa, permet programar el microprocessador de la placa amb un codi *Python*.

- Amb una bateria d'ió liti en polímer (*Lithium-ion polymer battery*) de 3.7 V. Aquesta té unes dimensions que varien amb la seva capacitat, però en general són molt petites. Per al prototip s'utilitzarà una bateria de 150 mAh (Figura 42)

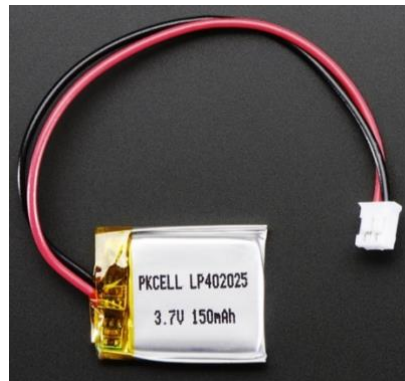


Figura 42. Bateria LiPo de 3.7V i 150 mAh⁴⁶

Si es connecta el cable USB des de l'ordinador a la placa i també es connecta la bateria, l'ordinador proporciona l'energia a la placa i a més carrega la bateria.

En aquest MVP utilitzarem el cable USB només per a programar la placa Adafruit. El prototip final, òbviament, haurà de ser autònom i per tant s'utilitzarà una la bateria de 3.7V.

Un cop s'ha vist l'alimentació de la placa, s'estudia els diferents components:

- Sensors d'aigua: El pin positiu es connecta a la sortida de 3.3 V (pin "3V" de la placa). El pin negatiu del sensor es connecta al terra del sistema (pin "GND" de la placa). Els pins de senyal dels sensor es connecten a les entrades de la placa "A1", "A2" i "A3".
- *Driver* DRV8871: Aquest component té dues entrades digitals que reben informació des de la placa Adafruit. En el pin "D9" de la placa s'emet el senyal "in1" i en el pin "D11" de la placa s'emet el senyal "in2". La combinació d'aquest dos senyals permeten moure l'actuador endavant o enrere. Es connecten els pins "GND" de la placa i el driver per establir un equilibri en els voltatges.
- Motor de 12V: Es connecten els seus terminals als pins MOTOR1 i MOTOR2 del *driver* DRV8871.
- Bateria de 12V: Es connecta als pins POWER+ i POWER- del *driver* DRV8871.

Un cop ja es té tot el cablejat, és necessari programar el microprocessador de la placa per tal de que tots els *input* i *outputs* es coordinin de forma adequada.

El codi de *Python* es el següent. En cada comentari (#Comentari), s'explica què fa cada part del programa.

```

1 ### LLIBRERIES
2 # Importem totes les llibreries necessàries per a implementar el codi
3
4 import time
5 import board
6 from analogio import AnalogIn
7 from digitalio import DigitalInOut, Direction, Pull
8
9 ### CONSTANTS
10
11 # Temps que han d'estar els sensors en contacte amb aigua per activar
    el perforador
12 REQUIRED_DURATION = 3
13
14 ### DEFINICIÓ DELS PINS
15 # A continuació es determina la posició dels pins de la placa
    Adafruit dels diferents components electrònics
16
17 # Sensors d'aigua. Per defecte es una senyal d'entrada.
18 water_sensor_1 = AnalogIn(board.A1)
19 water_sensor_2 = AnalogIn(board.A2)
20 water_sensor_3 = AnalogIn(board.A3)
21
22 # Senyals digitals IN1 i IN2. S'especifica que son senyals de
    sortida.
23
24 in1 = DigitalInOut(board.D9)
25 in1.direction = Direction.OUTPUT
26
27 in2 = DigitalInOut(board.D11)
28 in2.direction = Direction.OUTPUT
29
30 # Aquest son els valors que han de tenir IN1 i IN2 per controlar el
    motor:
31 # | IN1 | IN2 | MOTOR          |
32 # |-----|-----|-----|
33 # | 0    | 0    | STOP           |
34 # | 0    | 1    | RETROCEDEIX   |
35 # | 1    | 0    | AVANÇA         |
36 # | 1    | 1    | STOP           |
37
38 ### FUNCIONS
39
40 # get_voltage -> Permet obtenir el voltatge de qualsevol pin de la
    placa. Es fara servir en el senyal dels sensors.
41

```

```
42 def get_voltage(pin):
43     return (pin.value * 3.3) / 65536
44
45 ### CODI PRINCIPAL
46
47 # Cada vegada que s'executa el codi movem el motor enrere durant 2
48 # segons per posarlo a posició inicial.
49 in1.value, in2.value = 0, 1
50 time.sleep(2)
51
52 # Començem un contador que augmentara quan tots els sensors detectin
53 # aigua
54 active_duration = 0
55 # Definim la variable "is_punctured". De moment es False perquè
56 # encara no s'ha activat el perforador.
57 is_punctured = False
58
59 # Començem un loop que només s'executarà quan la variable
60 # "is_punctured" sigui False
61 while not is_punctured:
62     # Comprovem si els sensors detecten aigua. això es determina si
63     # el voltatge que donen es major de 1V. En cas de detectar aigua la
64     # variable "water_sensor_i_active" es True. En cas de no detectar aigua,
65     # aquesta variable es False.
66     water_sensor_1_active = get_voltage(water_sensor_1) > 1
67     water_sensor_2_active = get_voltage(water_sensor_2) > 1
68     water_sensor_3_active = get_voltage(water_sensor_3) > 1
69
70     # Entrem al següent loop si, i només si, els tres sensors
71     # detecten aigua. En cas contrari resetejem la variable "active_duration"
72     # a 0
73     if (water_sensor_1_active) and (water_sensor_2_active) and
74     (water_sensor_3_active):
75         # Sumem 0.1s al temps "active_duration"
76         active_duration += 0.1
77         # Si els tres sensors estan en contacte amb l'aigua durant el
78         # temps especificat a "REQUIRED_DURATION", entrem al següent loop
79         if active_duration >= REQUIRED_DURATION:
80             # Movem el motor endavant durant 4 segons per a perforar
81             # la bombona
82             in1.value, in2.value = 1, 0
83             time.sleep(4)
84             # Parem el motor
```

```
76         in1.value = 0
77         # Pose la variable "is_punctured" a True i per tant ja no
s'executara el loop "while"
78         is_punctured = True
79     else:
80         active_duration = 0
81
82     # Abans de començar cada bucle esperem 0.1 segons per no saturar
la execució i per marcar un ritme de rellotge.
83     time.sleep(0.1)
84
85 # Quan arribem aquí vol dir que el perforador s'ha activat i que s'ha
perforat la bombona
86 print('Sha punxat la bombona')
```

Carcassa

S'ha explicat tant el disseny de la part electromecànica i de la part electrònica. Per agrupar aquestes dues parts i formar un conjunt que sigui funcional cal dissenyar un espai tancat que ho permeti.

En total hi ha 7 elements principals que s'han d'agrupar (Figura 43):

1. Bombona de CO₂
2. Perforador
3. Actuador lineal
4. Microcontrolador
5. Bateria de 3.7 V per al microcontrolador
6. Bateria de 12V per al motor de l'actuador lineal
7. Driver
8. Sensors d'aigua

Tant la bombona com el perforador s'utilitzen els que venen en l'armilla original. Tots els altres components, però, s'han d'incorporar en una carcassa que permeti un correcte accionament del perforador per part de l'actuador lineal. A més, els sensors d'aigua hauran de poder sortir de la carcassa.

Hi ha 4 objectius a l'hora de dissenyar-la:

- Volum ocupat. Aquest ha de ser el mínim possible.
- Fixació interna. tots els components interiors han de quedar perfectament fixats en totes les direccions.

- Estanqueïtat. Imprescindible per tal de que no hi hagi cap mena de contacte entre l'aigua i els components elèctrics.
- Facilitat d'impressió. S'ha de fer un disseny pensant en no deixar gaires sortints de 90°, ja que dificulta la impressió.

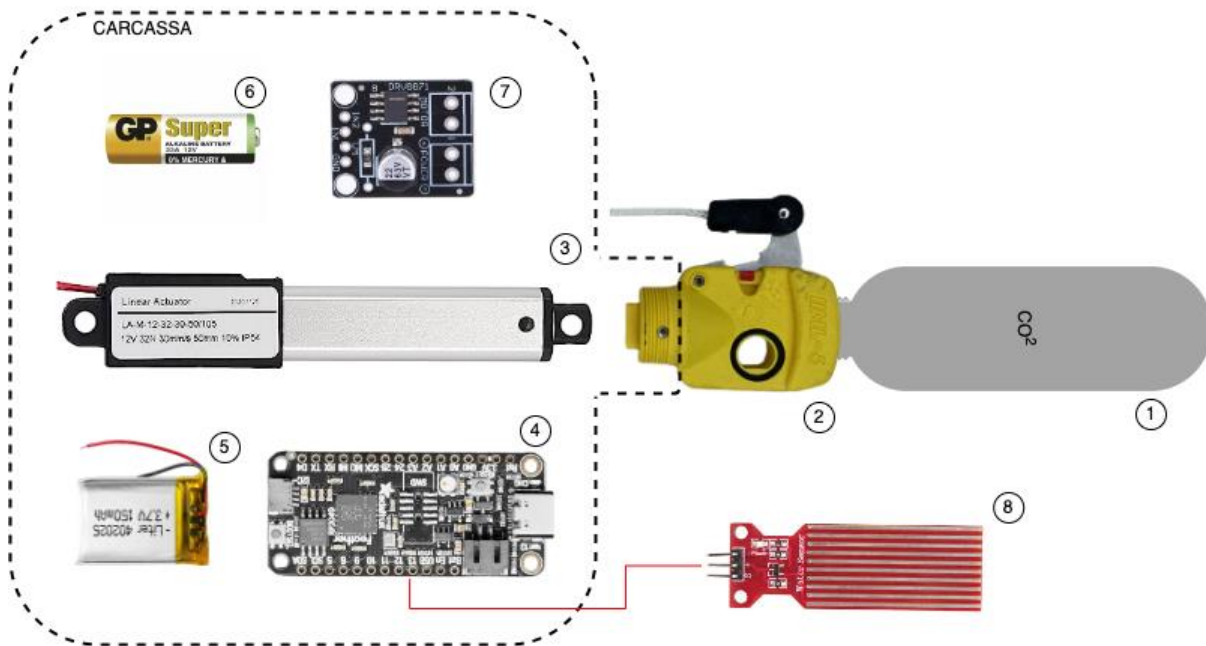


Figura 43. Components que s'han d'agrupar a la carcassa

Tenint en compte el disseny original, es vol fer quelcom semblant. S'aprofita la rosca del perforador i es dissenyarà una carcassa adient que encaixa en aquesta rosca.

El procés general del disseny de la carcassa es visualitza en el diagrama de flux de la Figura 44.

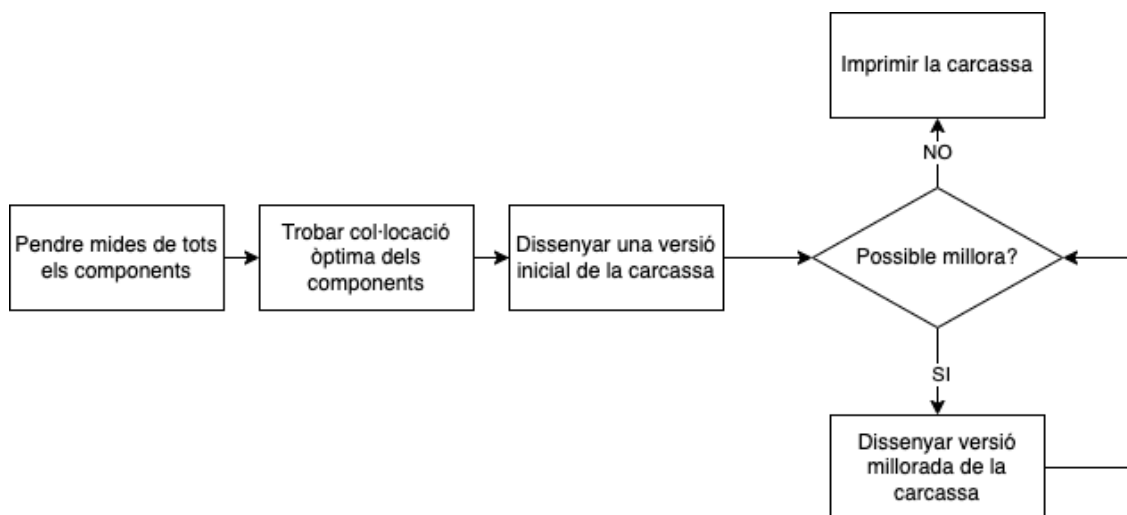


Figura 44. Diagrama de flux del disseny de la carcassa

Els passos són els següents:

1. Mesurar les dimensions generals de tots els components que aniran a l'interior.

D'aquesta manera es podrà dissenyar una carcassa fidel a les mides reals dels components interiors. A més també es fa el disseny 3D de cada component per facilitar el disseny de la carcassa.

En la Figura 45 es mostren els components dissenyats amb CAD. Els components:

- (1) Perforador
- (2) Bateria de 3.7V
- (3) Actuador lineal

son dissenyats manualment a partir de mesures preses en el component real mitjançant un peu de rei i portats a l'ordinador amb el programa de de CAD anomenat SolidWorks.

Els dissenys dels components:

- (4) Pila de 12V
- (5) Placa Adafruit Feather nRF52840 Sense
- (6) Driver DRV8871
- (7) Sensor d'aigua

Son extrets de la plataforma GrabCAD, un gran dipòsit online de dissenys CAD.

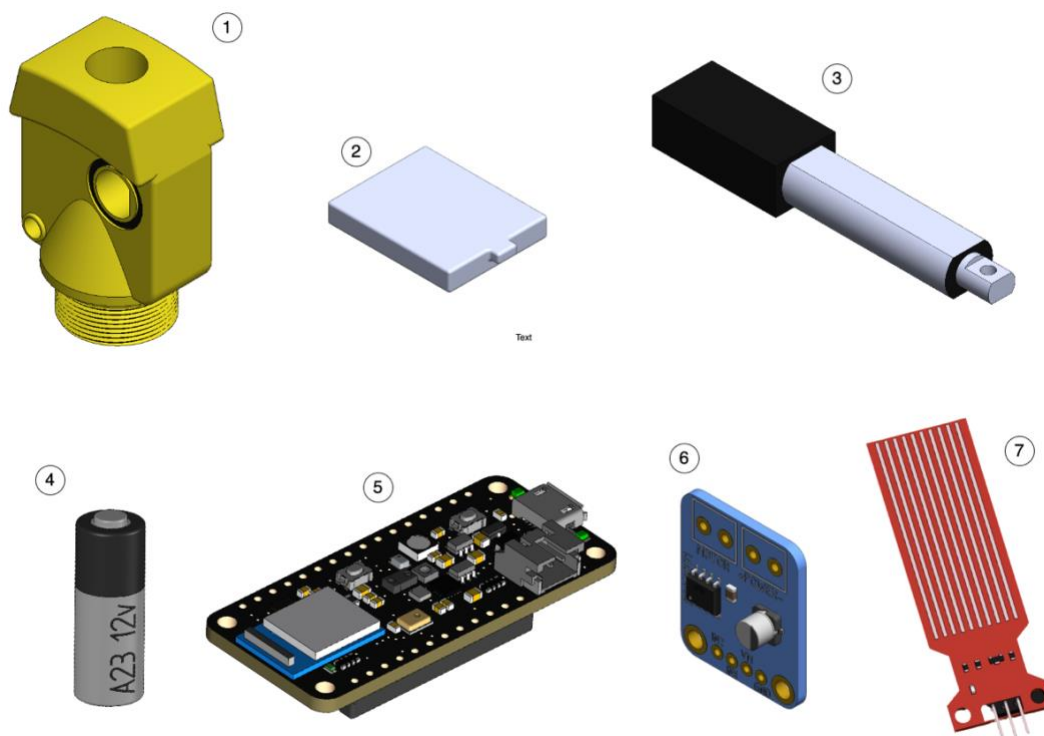


Figura 45. Components dissenyats amb CAD

2. Trobar la col·locació òptima dels components.

Abans de dissenyar la carcassa és necessari trobar la posició que més idònia de cada component. Com es vol que la carcassa tingui les dimensions més petites possibles, cal que el components ocupin el mínim espai interior. S'ha triat la disposició de la Figura 46.

Com es pot observar, aquesta disposició es va aconseguir mitjançant els models 3D dels components. Es ideal, ja que esta dissenyada al voltant de l'actuador, que es l'element més gran.

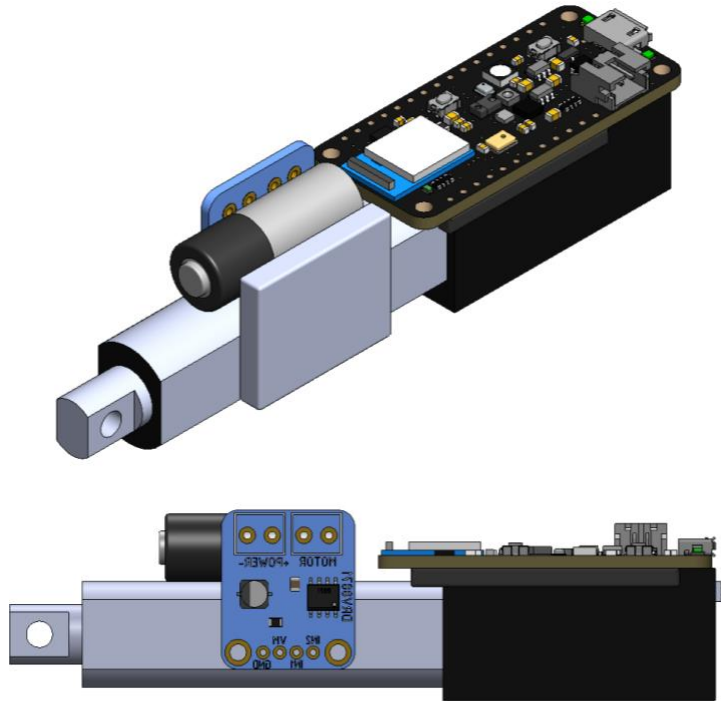


Figura 46. Disposició final dels components

3. Dissenyar una versió inicial de la carcassa.

En aquest punt, tenint en compte les mides de tots els components i la disposició d'aquests, ja es pot dissenyar una versió inicial de la carcassa. Ha de ser molt simple i, en part, serveix per a visualitzar l'espai general ocupat.

Com es pot veure te una geometria molt senzilla (Figura 47).

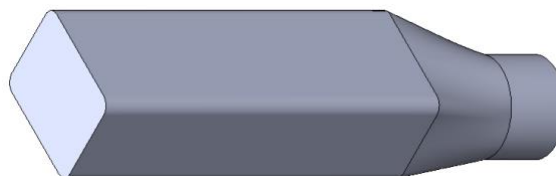


Figura 47. Versió inicial de la carcassa

Es va calcular de manera que en el seu volum interior es poguessin col·locar tots els components.

4. Possible millora.

Si en l'última versió de la carcassa hi ha possibles millores relacionades amb els quatre objectius principals esmentats anteriorment, es dissenya una versió on es solucioni aquesta millora. Aquest procés es repeteix fins que es consideri que no hi ha més millores a fer.

A partir del volum creat a l'apartat 3, es van començar a fer millores:

- Es van posar uns suports a la part interior per tal de fixar correctament tots els components.

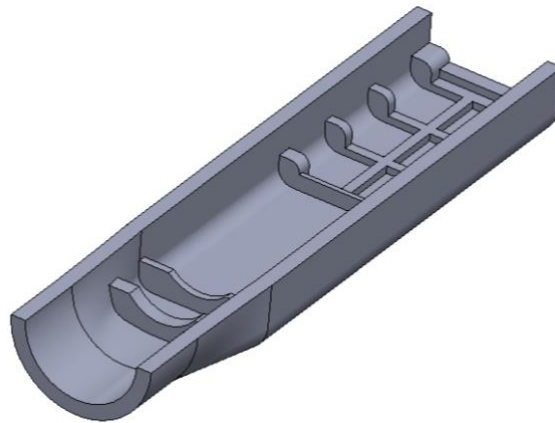


Figura 48. Vista trencada de la carcassa. Suports interiors

- Es va crear una tapa a la part de darrera per tal de facilitar la introducció i la extracció dels components. A més, per mantenir l'estanqueïtat, es va posar una goma entre la tapa i la carcassa.

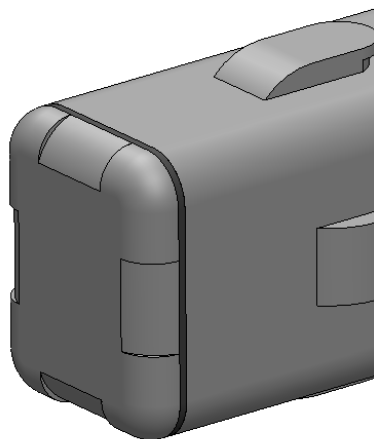


Figura 49. Tapa de la carcassa

- Es va dissenyar la rosca que permet acoblar la carcassa amb el perforador, tot mantenint la estanqueïtat. Aquesta rosca no està estandarditzada, i per tant, es va calcular el pas i el diàmetre amb un peu de rei.

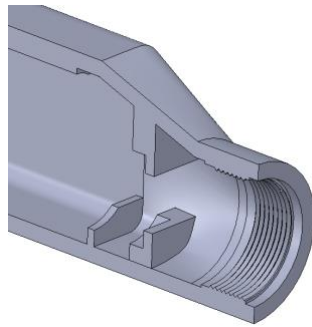


Figura 50. Vista trencada de la carcassa. Rosca

- Es van fer uns sortints als laterals amb la idea de col·locar dues gomes elàstiques d'extrem a extrem per exercir pressió sobre la tapa.

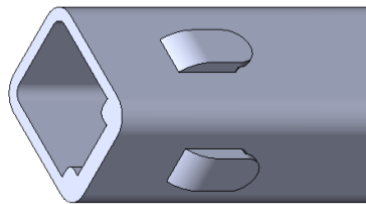


Figura 51. Sortints laterals de la carcassa

Finalment, es va arribar a un disseny que resolva tots els objectius. El disseny final de la carcassa és el següent.

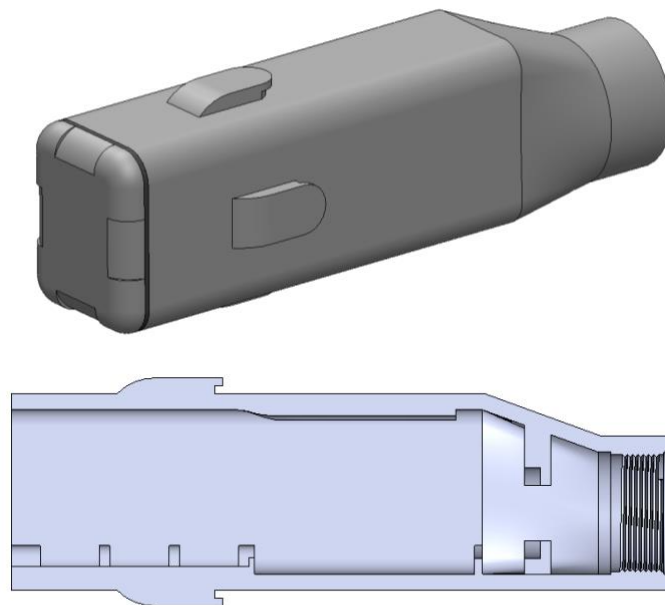


Figura 52. Disseny final de la carcassa

Per veure perfectament el conjunt i com els components s'adapten a l'interior, a continuació es mostren imatges on la carcassa s'ha transparentat.

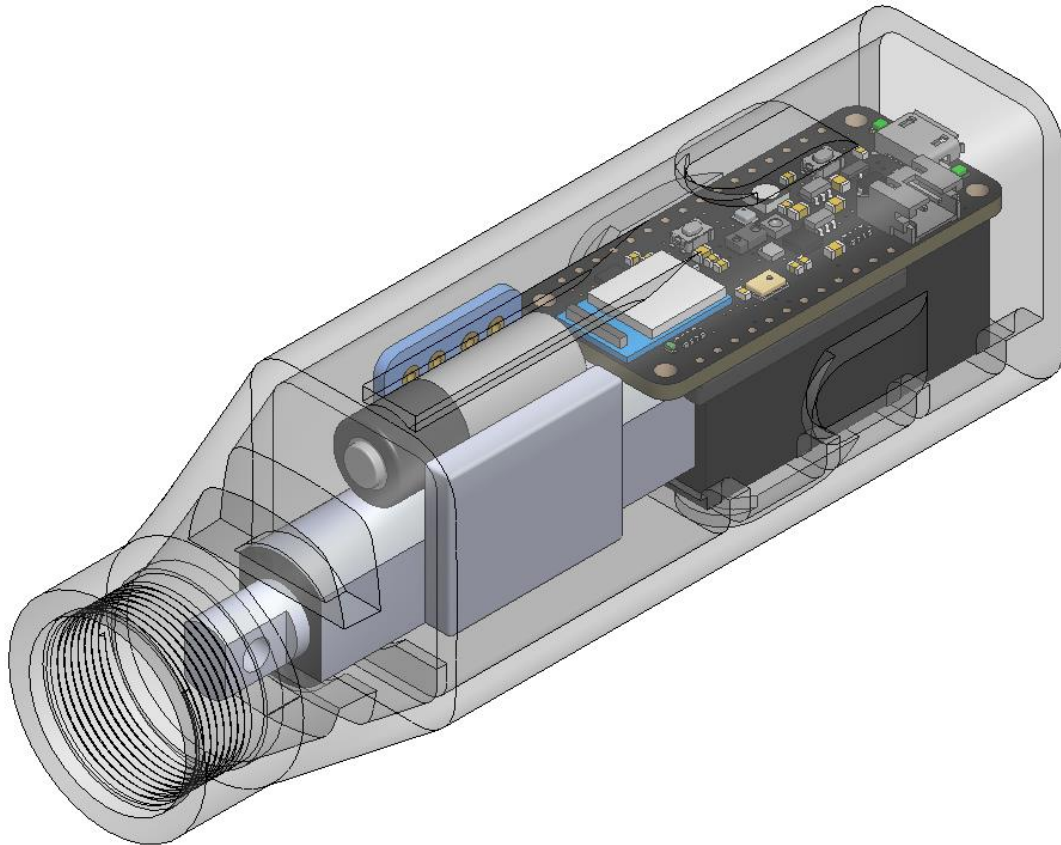


Figura 53. Vista isomètrica del conjunt

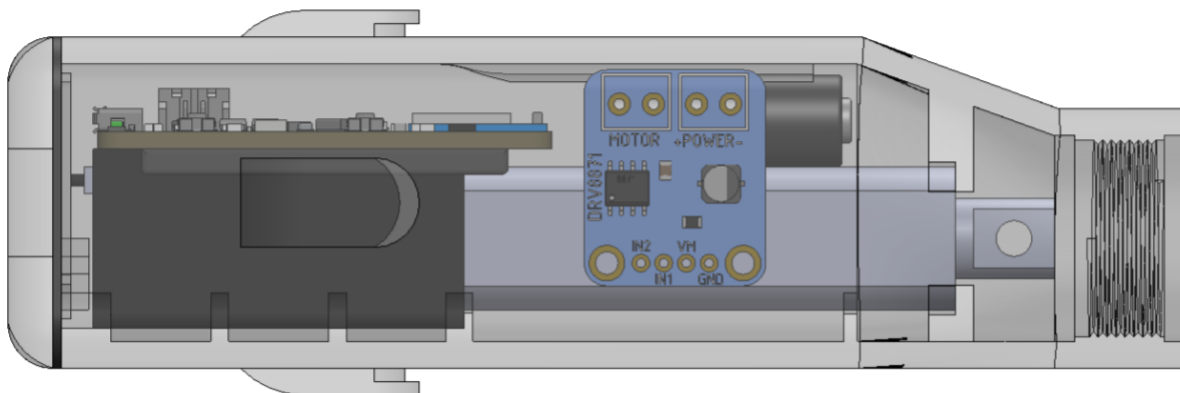


Figura 54. Vista lateral del conjunt

La següent Figura mostra el conjunt global, incloent la bombona i el perforador.

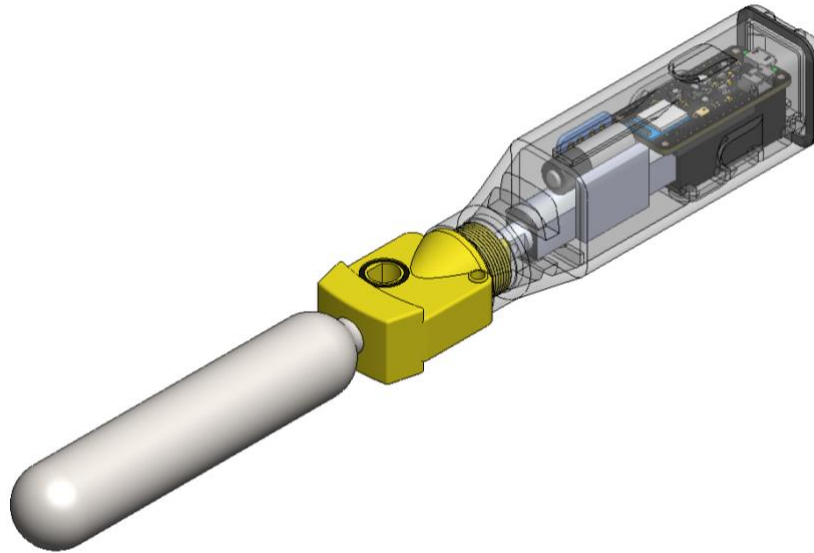


Figura 55. Conjunt global en vista isomètrica

Finalment, es mostra un renderitzat del model amb la opacitat de la carcassa disminuïda per tal de veure els components interiors.



Figura 56. Renderitzat del model final

5. Un cop es té el disseny final a punt, s'imprimeix la carcassa amb una impressora 3D.

Aquest pas s'explicarà en més detall en el següent apartat.

4. Construcció del prototip

Fins ara s'ha vist el disseny de totes les parts que conformen aquest projecte i el seu conjunt. A continuació es mostrarà el procés de construcció d'aquest. Primer s'explicarà la construcció de la part electromecànica i electrònica i després el procés de construcció de la carcassa i l'assemblatge d'aquesta amb tots els altres components.

Abans de construir el prototip final, dissenyat en capítols anteriors, es va fer un primer model sense tenir cap disseny de la part elèctrica. Va servir per descartar la idea de crear un dispositiu amb un actuador lineal elàstic.

S'utilitza una molla acoblada a un pistó. Aquests components anaven a l'interior d'una carcassa impresa en 3D on, a més, s'hi col·loca una bombona de CO₂ a un extrem, acoblada amb una rosca metàl·lica.

La carcassa té una ranura longitudinal per veure el funcionament del mecanisme.



Figura 57. Actuador elàstic desacoblat



Figura 58. Actuador elàstic acoblat

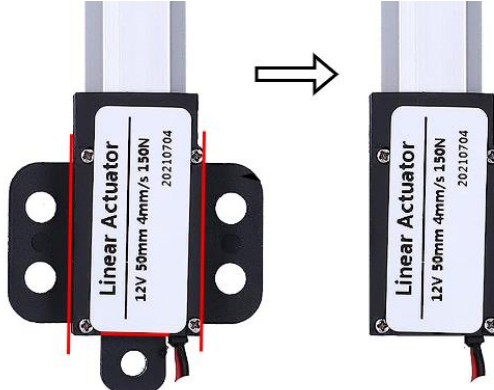
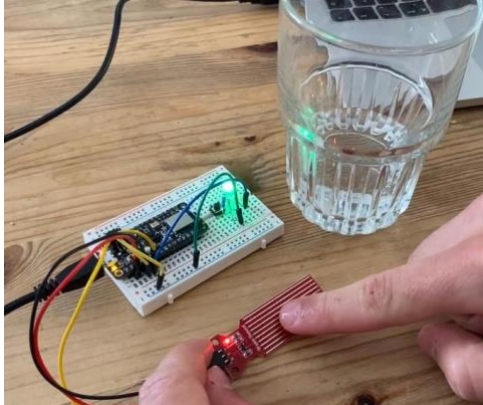
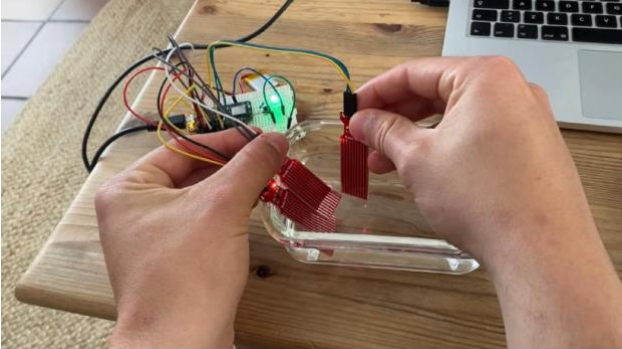
Es va descartar perquè no es va veure viable dissenyar un mecanisme d'alliberació automàtica de la molla.

D'aquesta manera es va començar a dissenyar un mecanisme motoritzat amb un actuador, el disseny del qual es l'explicat en capítols anteriors.

A continuació es mostren els passos que es van anar seguint i els problemes que van sorgir per construir el prototip final.

Taula 6. Procés de construcció

Components	Explicació
<p>Armilla salvavides del Decathlon</p>	<p>Es compra l'armilla salvavides del Decathlon (Figura 59), la qual incorpora molts components que es reutilitzaran.</p> <div data-bbox="746 427 1050 824" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="730 853 1070 887"><i>Figura 59. Armilla del Decathlon</i></p> <p>S'analitzen els components de l'armilla. En el perforador es calcula la força necessària per activar-lo (Figura 14). També es s'analitza l'interior de l'actuador original per veure el seu funcionament (Figura 60).</p> <div data-bbox="679 1106 1118 1308" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="691 1339 1107 1373"><i>Figura 60. Interior de l'actuador original</i></p>
<p>Motor de reducció de velocitat DC N20 M3</p> <p>Pila de 6 V</p> <p>Femella M3</p>	<p>Es prova si es pot construir un actuador lineal des de zero. No es veu factible, ja que s'han d'introduir més disseny i components.</p> <div data-bbox="855 1525 938 1794" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="603 1832 1198 1865"><i>Figura 61. Motor de reducció de velocitat DC N20 M3⁴⁷</i></p>

<p>Actuador lineal 12V</p> <p>Pila de 12 V A23</p>	<p>Es compra un actuador lineal prefabricat (Figura 18) per tal de facilitar el procés i una pila de 12 V (Figura 20) per fer-lo funcionar.</p> <p>De l'actuador es tallen alguns sortints que no son necessaris, per tal de fer un disseny més eficient.</p>  <p><i>Figura 62. (Elaboració pròpia) Talls realitzats a l'actuador</i></p>
<p>Adafruit Feather nRF52840 Sense</p> <p>Protoboard</p> <p>LED</p> <p>Sensor d'aigua</p>	<p>S'adquireix la placa Adafruit Feather nRF52840 Sense (Figura 30). Es prova el sensor d'aigua (Figura 37). Es prova d'encendre un LED quan un dels sensors d'aigua es mulla (Figura 63).</p>  <p><i>Figura 63. Prova d'un sensor d'aigua</i></p> <p>Es fa el mateix, però introduint tres sensors enlloc de un. Ara el LED s'encén quan els tres sensors estan a l'aigua.</p>  <p><i>Figura 64. Prova de tres sensors</i></p>

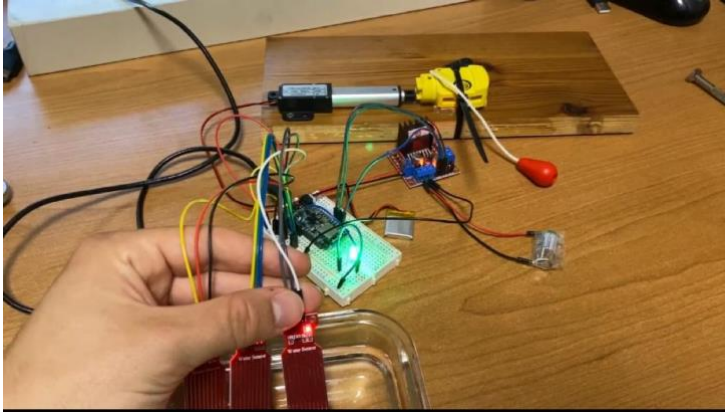
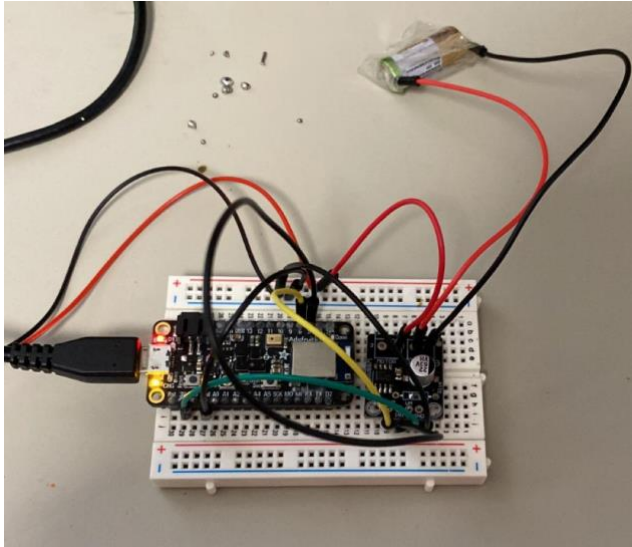
<p>Adafruit Feather nRF52840 Sense</p> <p>Protoboard</p> <p>LED</p> <p>Sensor d'aigua</p> <p>Driver L298N</p> <p>Actuador lineal</p> <p>Pila de 12 V</p> <p>Perforador</p>	<p>Es prova de fer funcionar l'actuador només quan els sensors estan en contacte amb l'aigua durant més de 3 segons.</p> <p>L'actuador prem bé el perforador.</p>  <p><i>Figura 65. Prova del sistema amb L298N</i></p>
<p>Adafruit Feather nRF52840 Sense</p> <p>Protoboard</p> <p>LED</p> <p>Sensor d'aigua</p> <p>Driver DRV8871</p> <p>Actuador lineal</p> <p>Pila de 12 V</p> <p>Perforador</p>	<p>Es fa el mateix però canviant el driver L298N per el driver DRV8871.</p>  <p><i>Figura 66. Prova del sistema amb DRV8871</i></p>
<p>Carcassa</p>	<p>S'acaba el disseny de la carcassa, tenint els components utilitzats fins ara.</p> <p>S'imprimeix a l'Espai de Fabricació Digital de la ETSEIB. La impressora 3D utilitzada és la "BCN3D Epsilon W27" de doble extrusió. A més, es fa servir un filament de PLA blanc, ja que és un material resistent i més econòmic.</p> <p>En primer lloc només s'imprimeix la punta de la carcassa, on hi ha la rosca, per tal de comprovar si coincideix amb la rosca del perforador. La primera iteració es defectuosa, però la segona es bona.</p>



Figura 67. Rosques impreses en 3D

En comprovar si la rosca encaixa, aquesta no ho fa. Es decideix que s'utilitzarà un altre mètode per fer encaixar les dues peces.

S'escalfa la part interior de la rosca de la carcassa amb un soldador i, un cop el PLA de la superfície està tou, es rosca amb el perforador de manera que el plàstic agafa la forma de la rosca.






Figura 68. S'escalfa l'interior de la rosca

Ara la carcassa s'acobla perfectament al perforador.



Figura 69. Acoblament de la rosca de la carcassa amb el perforador

	<p>S'imprimeix la carcassa sencera i la tapa d'aquesta. El temps total d'impressió es de 18 hores.</p> <p>La primera iteració surt defectuosa:</p>  <p><i>Figura 70. Impressió defectuosa de la carcassa</i></p> <p>Però la segona iteració surt bona. A més, la part interior queda perfecte, tenint en compte les complicacions que hi havia.</p>  <p><i>Figura 71. Impressió bona de la carcassa</i></p>  <p><i>Figura 72. Interior de la carcassa impresa</i></p>
<p>Adafruit Feather nRF52840 Sense</p> <p>Adafruit ItsyBitsy nRF52840 Express</p>	<p>La placa "Adafruit Feather nRF52840 Sense" es desconfigura i deixa de funcionar. Es prova de rescatar-la durant una setmana, sense èxit.</p> <p>Es decideix comprar una placa semblant, la "Adafruit ItsyBitsy nRF52840 Express" (Figura 32). L'únic inconvenient és que aquesta placa té unes dimensions diferents i per tant s'ha de modificar el disseny.</p>
<p>Adafruit ItsyBitsy nRF52840 Express</p>	<p>La placa "Adafruit ItsyBitsy nRF52840 Express" funciona durant 5 minuts i de sobte es crema. Possible error de fàbrica.</p>

<p>Adafruit Feather RP2040</p>	<p>Es decideix comprar una altra placa, la “Adafruit Feather RP2040” (Figura 34). Aquesta funciona sense problemes i a més té les mateixes dimensions que la “Adafruit Feather nRF52840 Sense” i per tant es pot fer servir el disseny de la carcassa que s’havia fet fins ara.</p>
<p>Soldador Estany Pistola de silicona Components elèctrics</p>	<p>Ara ja funciona tot. Cal soldar tots els components per tal de no dependre de la <i>proto-board</i>. A més, es posa una capa de silicona per sobre de les soldadures per a protegir aquestes.</p> <p>S’ha de dir que en la construcció del prototip només s’utilitza un sensor, ja que és suficient per comprovar si el sistema funciona. Es comporta com tres sensors que s’activen quan els tres estan sota l’aigua. Això es fa per estalviar fer moltes soldadures.</p> <div data-bbox="571 703 1219 1084" data-label="Image"> </div> <p style="text-align: center;"><i>Figura 73. Components soldats</i></p>
<p>Carcassa Components elèctrics</p>	<p>S’intenta introduir el conjunt de components a l’interior de la carcassa tal i com s’ha dissenyat.</p> <div data-bbox="564 1263 1225 1473" data-label="Image"> </div> <p style="text-align: center;"><i>Figura 74. Components agrupats</i></p> <p>Però no es pot degut a un error de mides. Una de les parts del driver DRV8871 sortia més de l’esperat i tocava amb la paret de la carcassa, fent impossible la inserció.</p> <div data-bbox="564 1657 1187 1953" data-label="Image"> </div> <p style="text-align: center;"><i>Figura 75. Component del driver que toca amb la paret</i></p>

Per intentar fer-ho cabre, es van tallar els suports inferiors de la carcassa.



Figura 76. Suports de la carcassa tallats

D'aquesta manera si que cabien els components si es girava l'actuador 90° en l'eix longitudinal.

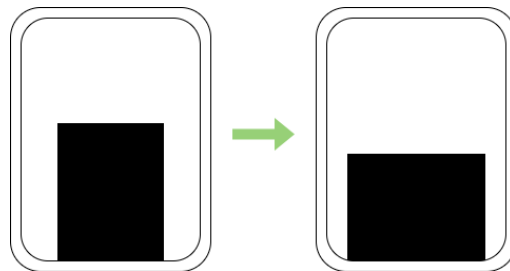


Figura 77. Representació de la nova disposició de l'actuador

El problema amb aquesta disposició era que no es va tenir en compte el cable de la bateria de 3.7V del microprocessador.

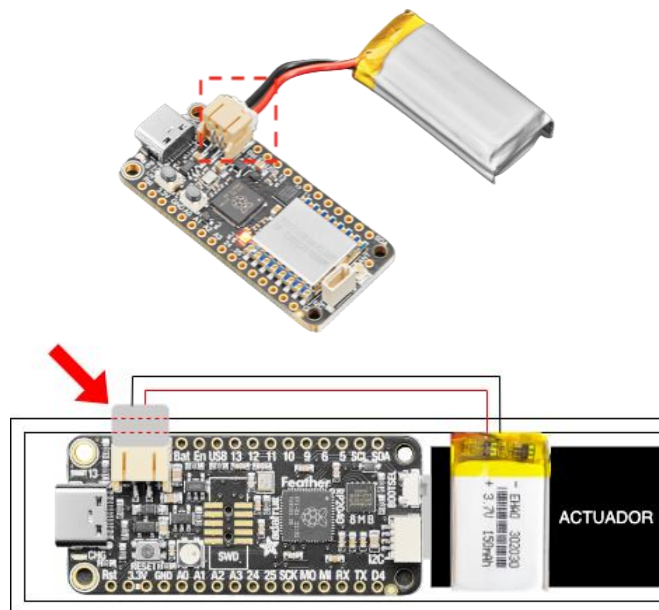
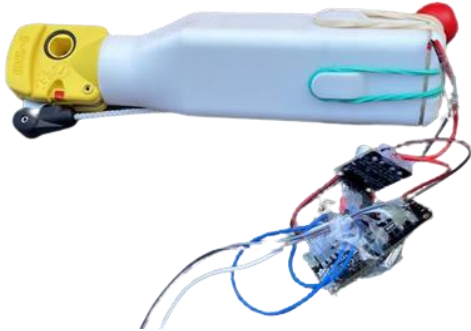



Figura 78. (Elaboració pròpia) Problemàtica amb el cable de la bateria



	<p>Això impossibilitava la introducció dels components a l'interior de la carcassa.</p> <p>Es decideix posar a l'interior de la carcassa només l'actuador per poder comprovar el funcionament del conjunt. Els components elèctric aniran fora.</p> <p>D'aquesta forma, però no es pot comprovar l'estanqueïtat dels sistema.</p> <p>De totes formes, no s'hagués fet cap prova d'estanqueïtat del sistema amb els components electrònics dins, ja que qualsevol error pot conduir a trencar tot els sistema.</p>
	<p>S'introdueix l'actuador a la carcassa i es deixen sortir els seus dos cables. La tapa s'ajusta amb dues gomes elàstiques.</p> <p>El prototip ja està acabat.</p>  <p>Figura 79. Prototip finalitzat</p>  <p>Figura 80. Prototip incloent l'armilla</p>

5. Proves i resultats

5.1 Proves realitzades

A continuació es mostren les diferents proves que s'han fet per comprovar la viabilitat del prototip.

Tipus de prova	Descripció	Resultat
Estanqueïtat	<p>No s'ha pogut realitzar una prova d'estanqueïtat de tot el sistema complet, ja que com s'ha comentat anteriorment alguns components electrònics han hagut de quedar-se fora de la carcassa. De totes formes, es va fer una prova d'impermeabilitat de la carcassa.</p> <p>Es va tancar un dels extrems i es va introduir aigua fins arribar a l'altre extrem. En cap moment va traspasar aigua i per tant es pot confirmar que la carcassa és impermeable.</p>  <p><i>Figura 81. Prova d'impermeabilitat de la carcassa</i></p>	Nul
Sistema automatitzat d'inflació	<p>El prototip es va posar a prova, incloent l'armilla salvavides i la bombona de CO₂.</p>  <p><i>Figura 82. Prova del sistema automàtic d'inflació</i></p>	Negatiu

	<p>Es va posar el sensor en aigua i l'actuador va començar a empènyer endavant. Malgrat tot, no va tenir suficient força per perforar la bombona.</p> <p>Per tal de veure com s'inflava l'armilla, es va estirar de la palanca manual del perforador.</p>  <p><i>Figura 83. Activació manual de l'armilla</i></p> <p>D'aquesta forma l'armilla es va inflar sense problemes.</p>  <p><i>Figura 84. Prototip amb l'armilla inflada</i></p>	
<p>Robustesa</p>	<p>Es va fer una prova de robustesa, on es va deixar caure el dispositiu des d'una altura de 50 cm. L'altura mitja d'un infant de 5 anys és 100 cm i es suposa que el dispositiu estaria a prop de la cintura, aproximadament la meitat de l'altura.</p> <p>El prototip no va patir cap dany.</p>	<p>Positiu</p>

5.2 Resultats obtinguts

Els resultats del projecte són els següents:

- S'ha dissenyat un prototip teòric senzill però molt robust, utilitzant eines de CAD i components electrònics sofisticats. A més aquest disseny està pensat per poder estar sota l'aigua.
- La construcció ha sigut més difícil del que s'havia previst, degut a errors de dimensions en el disseny de la carcassa. S'ha decidit que els components elèctrics, menys l'actuador, han de romandre fora de la carcassa. Això fa que el sistema ja no protegeixi els components de l'aigua.
- S'ha aconseguit que els sensors detectin perfectament la presència d'aigua i que quan això passa, l'actuador activa el perforador en buit. Malgrat tot, no s'ha aconseguit perforar la bombona.

Finalment, doncs, el prototip no ha acabat essent funcional. A continuació es descriuran possibles raons per les quals això pot haver passat.

6. Discussió

S'ha aconseguit que l'actuador lineal utilitzat activés el perforador en el moment concret que ho havia de fer. Però no ha sigut capaç de perforar la bombona. S'ha deduït dues possibles raons.

- L'actuador lineal no té prou potència

Les dades nominals (Figura 19) del motor són les següents:

Voltatge: 12 V
Recorregut: 50 mm
Velocitat: 4 mm/s
Força: 150 N

La força de l'actuador (150N) és suficientment gran com per prémer el perforador en buit, del qual es va mesurar que es necessitaven 6 N de força. Ara bé, com no sabem la força necessària per perforar la bombona, és possible que es 150 N no siguin suficients per a realitzar-ho.

150N és aproximadament la força vertical que fa una massa de 15 kg i per tant, és estrany que no sigui capaç de perforar la bombona.

És per això que la raó més possible sigui la següent:

- La tapa de la carcassa no ha fet prou pressió

La carcassa es va dissenyar amb una tapa per facilitar la introducció i extracció dels components interiors (Figura 49). Com que es volia que fos una carcassa estanca, es va pensar en tancar-ho amb unes gomes elàstiques, que farien pressió (Figura 85).



Figura 85. Gomes col·locades en la tapa del prototip final

Aquestes gomes, però, és possible que no facin una pressió suficientment gran com per contrarestar la força que exerceix la bombona.

Com es pot observar en la Figura 86, quan l'actuador intenta avançar hi ha un moment en que la punxa del perforador toca la làmina de la bombona. En aquest moment, és molt probable que les gomes no puguin contrarestar la força que exerceix la bombona al perforador, traslladant l'actuador (i per tant, la tapa) cap enrere.

Així, és molt complicat que la bombona es perfori correctament.

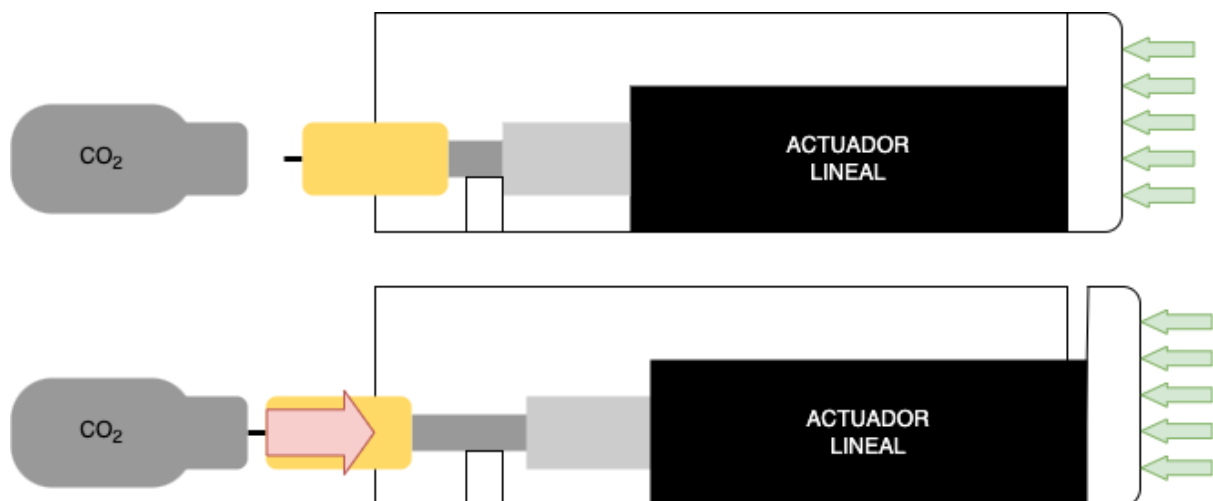


Figura 86. (Elaboració pròpia) Forces que actuen a la tapa i al perforador

La millor solució seria augmentar el número de gomes elàstiques, augmentant la força exercida a la tapa. Una altra solució, no tant adient, seria fixar la tapa amb cola. Això, però, significaria que no es podria extreure l'actuador i per tant no seria viable.

6.1 Estudi econòmic del projecte

A la següent taula es mostren tots els components comprats per a realitzar el projecte.

Taula 7. (Elaboració pròpia) Costos del projecte

Component	Prototip final?	Quantitat adquirida	Preu de compra	Preu unitat	Quantitat utilitzada	Preu components utilitzats
Armillla salvavides Decathlon	Si	1	59,99 €	59,99 €	1	59,99 €
Bombona de CO ₂	Si	1	14,99 €	14,99 €	1	14,99 €
Sensors d'aigua Adafruit	Si	5	9,75 €	1,95 €	3	5,85 €
Adafruit Feather nRF52840 Sense	No	1	39,50 €	39,50 €	1	39,50 €
Adafruit ItsyBitsy nRF52840 Express	No	1	32,61 €	32,61 €	1	32,61 €
Adafruit Feather RP2040	Si	1	24,94 €	24,94 €	1	24,94 €
Driver L298N	No	3	10,99 €	3,66 €	1	3,66 €
Driver DRV8871	Si	1	13,89 €	13,89 €	1	13,89 €
Bateria 12V 23A	Si	5	4,06 €	0,81 €	1	0,81 €
Actuador lineal 12V	Si	1	34,60 €	34,60 €	1	34,60 €
Carcassa	Si	1	28,00 €	28,00 €	1	28,00 €
Protoboard	No	1	4,95 €	4,95 €	1	4,95 €
Motor reductor vis sense fi	No	1	11,82 €	11,82 €	1	11,82 €
			Cost total	290,09 €	Cost del prototip final	183,07 €
					Cost de tots els components utilitzats	275,62 €

Els components que es veuen ressaltats en verd son els que s'han acabat utilitzant per al prototip final. Els que estan en vermell són els que s'han utilitzat en algun punt del procés, però que no han acabat format part del prototip final.

El cost total, incloent tots els components que s'han utilitzat i els que no s'han utilitzat es de 290,09 €. D'aquest cost, els components que s'han utilitzat és de 275,62 € i, d'aquests, els cost dels components que han acabat formant part del prototip final es de 183,07 €.

L'estudi econòmic té com a objectiu avaluar els costos directes i indirectes del projecte, així com analitzar la viabilitat econòmica del prototip d'armilla salvavides. Aquesta anàlisi proporcionarà una comprensió clara de l'impacte financer del projecte i ajudarà a prendre decisions informades respecte a la seva continuïtat i desenvolupament futur.

- Costos directes:

Els costos directes estan relacionats amb els components adquirits per al prototip. El cost total dels components utilitzats en el prototip final és de 183,07 €.

- Costos indirectes:

Els costos indirectes són aquells associats a despeses complementàries necessàries per al desenvolupament del prototip. Aquests costos poden incloure despeses com ara materials de consum, eines, serveis d'enviament, despeses de transport i altres despeses relacionades amb el procés de disseny i construcció.

- Mà d'obra:

El cost de la mà d'obra involucrada en el projecte és un factor important a tenir en compte. Això pot incloure el temps i els recursos dedicats pels membres de l'equip de desenvolupament o de professionals contractats. Cal tenir en compte els salaris, els costos laborals i altres despeses relacionades amb la mà d'obra per calcular els costos laborals totals. En aquest estudi, no s'han proporcionat dades específiques sobre els costos laborals.

- Anàlisi de la viabilitat econòmica:

L'anàlisi de la viabilitat econòmica avalua la relació entre els costos del projecte i els possibles beneficis o valor que el producte final podria aportar en el mercat. Aquesta anàlisi pot incloure una estimació dels costos de producció a gran escala, la comercialització i altres factors rellevants. És important tenir en compte aquest aspecte en futurs desenvolupaments del prototip.

- Optimització dels costos:

És recomanable realitzar una anàlisi detallada per identificar possibles oportunitats d'optimització dels costos. Això pot incloure la recerca de solucions alternatives o més econòmiques per als components, la reducció de despeses innecessàries i l'exploració de l'eficiència en el procés de disseny i fabricació. Aquesta anàlisi pot ajudar a reduir els costos generals del projecte i augmentar la seva viabilitat econòmica.

L'estudi econòmic proporciona una visió general dels costos directes i indirectes del prototip d'armilla salvavides. Si bé s'han presentat els costos dels components utilitzats en el prototip final, s'ha de tenir en compte que hi ha altres costos indirectes i laborals que poden influir en l'impacte financer total del projecte.

6.2 Possibles millores del prototip

A continuació es presenten possibles millores que es podrien fer en aquest prototip en un futur:

- Dissenyar una tapa de la carcassa que sigui més robusta.

- Afegir més sensors. Per exemple, es podria afegir un sensor de rajos UVA per saber si la radiació solar es massa forta per a l'infant.
- Afegir la possibilitat de connectar-se al sistema remotament. Mitjançant un sistema Bluetooth o WIFI, es podria alertar al mòbil si s'ha inflat l'armilla.
- Reduir el cost de producció.
- Reduir l'espai ocupat. Si s'utilitzés un actuator i uns components electrònics més petits, les dimensions del producte podria disminuir considerablement.

7. Estudi ambiental

A continuació, es presenta un estudi ambiental preliminar per al prototip d'armilla salvavides:

Materials utilitzats:

Els materials utilitzats en el projecte inclouen PLA (àcid polilàctic), circuits electrònics, bombona de CO₂ i *nylon* (armilla). És important tenir en compte l'origen i el cicle de vida d'aquests materials per comprendre el seu impacte ambiental.

- El PLA és un material compostable derivat de fonts renovables com el midó de blat de moro o la canya de sucre. És biodegradable i no genera emissions tòxiques en cremar-se. No obstant això, cal tenir en compte els recursos necessaris per a la seva producció i la gestió adequada dels residus.
- Els circuits electrònics estan compostos per una varietat de materials, incloent metalls, plàstics i productes químics. La seva fabricació implica l'extracció de recursos naturals i processos de producció intensius en energia. És important garantir una correcta gestió dels residus electrònics per evitar l'acumulació en abocadors i el risc de contaminació.
- Les bombones de CO₂ són recipients de gas comprimit. Els gasos comprimits poden tenir impactes negatius si no es manipulen adequadament. És important assegurar-se que les bombones es manipulen i emmagatzemen de manera segura i que es reciclin o es disposin adequadament quan es faci servir.
- El *nylon* és un plàstic sintètic que requereix recursos fòssils per a la seva producció. Els plàstics tenen un impacte significatiu en la contaminació dels oceans i la degradació ambiental. És important considerar alternatives més sostenibles i reciclables en la mesura del possible.

Gestió de residus:

Una part essencial de l'estudi ambiental és la gestió adequada dels residus generats durant el desenvolupament i l'ús del prototip. És important promoure la reutilització i el reciclatge dels materials sempre que sigui possible i disposar els residus de manera responsable per evitar la contaminació ambiental.

Eficiència energètica:

La eficiència energètica és un aspecte clau a considerar en el projecte. L'ús de circuits electrònics i altres components ha de ser optimitzat per minimitzar el consum d'energia. També es poden explorar fonts d'energia renovable per alimentar el prototip i reduir l'impacte de les emissions de carboni.

Durabilitat i vida útil:

Es recomana considerar la durabilitat i la vida útil del prototip d'armilla salvavides. El disseny i els materials han de ser duradors per garantir que el prototip tingui una vida útil màxima i no esdevingui un residu ràpidament.

L'estudi ambiental, per tant, destaca la importància de tenir en compte els materials utilitzats, la gestió de residus, l'eficiència energètica i la durabilitat en el desenvolupament i l'ús del prototip d'armilla salvavides.

8. Estudi social i d'igualtat de gènere

L'estudi social i d'igualtat de gènere és una part important per avaluar l'impacte social del projecte i assegurar-se que s'aborden les necessitats i les desigualtats existents.

- Accessibilitat i inclusió:

És important garantir que el prototip d'armilla salvavides sigui accessible i pugui ser utilitzat per totes les persones, independentment de les seves capacitats físiques o discapacitats. Es recomana realitzar proves amb persones amb diversitat funcional per assegurar que el dispositiu sigui usable i funcional per a tots.

- Igualtat de gènere:

En el context de la igualtat de gènere, és important assegurar-se que el prototip sigui inclusiu i no reproduïxi estereotips de gènere. El disseny ha de ser neutre i que no discriminin a cap gènere específic.

- Sensibilitat cultural i diversitat:

Cal tenir en compte la diversitat cultural i respectar les diferents necessitats i pràctiques relacionades amb l'ús de l'armilla salvavides en diferents comunitats. És important recollir perspectives i coneixements locals per adaptar el prototip a les necessitats específiques de cada context cultural.

- Informació i conscienciació:

Promoure la consciència sobre l'ofegament i la importància de la prevenció pot tenir un impacte positiu en la seguretat aquàtica. Es recomana incloure materials informatius clars i comprensibles sobre el risc d'ofegament i les mesures preventives en relació amb l'ús de l'armilla salvavides. A més, es pot considerar la col·laboració amb organitzacions o institucions locals per a difondre aquesta informació i arribar a un públic més ampli.

9. Conclusions

Un cop acabat el projecte havent estudiat els resultats es poden treure les següents conclusions.

Molts dels objectius proposats s'han aconseguit, però alguns altres no. Per exemple, es una llàstima que no es pogués comprovar l'estanqueïtat del prototip o que no acabés de funcionar la perforació.

Tot i així aquests problemes es podrien afrontar, ja que s'han donat solucions. Per una qüestió de temps, però, es impossible resoldre els problemes.

Les principals dificultats han estat les següents:

- Errors de fàbrica d'alguns component electrònics. Dues de les tres plaques utilitzades han deixat de funcionar inesperadament i, això, ha retardat el procés de construcció del prototip.
- La impressió en 3D de la carcassa va sortir malament a la primera, però es va poder solucionar ràpidament.
- La rosca de la carcassa no encaixava amb la rosca del perforador. Es va solucionar escalfant la rosca de la carcassa i adaptant-la a la rosca del perforador.
- Soldar tots els components va ser complicat, ja que era la primera vegada que soldava punts tant petits.
- Vaig haver de mirar molts tutorials sobre els *drivers*, ja que no aconseguia fer-los anar.
- Va ser molt complicat posar tots els components elèctrics dins de la carcassa. Es va decidir posar només l'actuador.

En conclusió es pot dir que el treball ha estat un èxit relatiu. S'han aconseguit resoldre molts problemes, però a la vegada no s'ha pogut crear un prototip completament funcional.

Si s'hagués disposat de més temps o d'un equip més gran de persones, segurament es podria haver arribat més lluny.

10. Agraïments

Vaig començar a fer aquest treball fa més d'un any i el vaig haver de deixar a mitges per problemes personals. Sense els meus germans, la meva mare, i la meva parella no hagués pogut agafar forces per acabar aquest projecte.

M'agradaria agrair també al meu tutor, Josep Bordonau, per els consells que m'ha donat.

11. Referències

- [1] ORGANITZACIÓ MUNDIAL DE LA SALUT. OFEGAMENTS. [<https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drowning>, 21 de març de 2023]*. *[URL, data de consulta].
- [2] HOSPITAL DE NENS. Guia de la salut i malalties - Ofegament. [<https://hospitaldenens.com/guia-de-la-salut-i-malalties/ofegament/>, 17 de març de 2023]*. *[URL, data de consulta].
- [3] CET10. 6a edició de la campanya "Cap nen s'ofega". [<https://cet10.com/6a-edicio-de-la-campanya-cap-nen-sofega/>, 28 d'abril de 2023]*. *[URL, data de consulta].
- [4] SALUT PÚBLICA DE LA GENERALITAT DE CATALUNYA. Tothom pot ofegar-se, a ningú hauria de passar-li: lema del Dia Mundial per a la Prevenció dels Ofegaments. [<https://salutpublica.gencat.cat/ca/detalls/Article/Tothom-pot-ofegar-se-a-ningu-hauria-de-passar-li-lema-del-Dia-Mundial-per-a-la-Prevencio-dels-Ofegaments>, 3 de maig de 2023]*. *[URL, data de consulta].
- [5] ORGANITZACIÓ MARÍTIMA INTERNACIONAL. International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS), 1974. [[https://www.imo.org/es/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-\(SOLAS\)%2C-1974.aspx](https://www.imo.org/es/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-(SOLAS)%2C-1974.aspx), 9 d'abril de 2023]*. *[URL, data de consulta].
- [6] LIFE-SAVING APPLIANCES - INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION (IMO) [<https://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Pages/LifeSavingAppliances-default.aspx>, 15 de març de 2023]*. *[URL, data de consulta].
- [7] ISO 12402-4:2015 - PERSONAL FLOTATION DEVICES -- PART 4: LIFEJACKETS, PERFORMANCE LEVEL 100 [<https://www.iso.org/standard/56684.html>, 19 de maig de 2023]*. *[URL, data de consulta].
- [8] SAIL AND TRIP. CHALECO SALVAVIDAS [<https://sailandtrip.com/chaleco-salvavidas/>, 18 d'abril de 2023]*. *[URL, data de consulta].
- [9] Mustang Survival. Inflatable PFDs [<https://mustangsurvival.com/collections/inflatable-pfds>, 2 de maig de 2023]*. *[URL, data de consulta].
- [10] Spinlock. Lifejackets [<https://www.spinlock.co.uk/en-GB/uk/categories/lifejackets>, 15 de març de 2023]*. *[URL, data de consulta].
- [11] Onyx Outdoor. Inflatable Life Jackets [<https://www.onyxoutdoor.com/onyx-ecom/life-jackets/inflatable-life-jackets/5637215837.c>, 7 de maig de 2023]*. *[URL, data de consulta].
- [12] SECUMAR. Manual for SECUMATIC 4001S [<https://www.secumar.com/wp-content/uploads/2016/08/Manual-for-SECUMATIC-4001S.pdf>, 20 d'abril de 2023]*. *[URL, data de consulta].
- [13] Lalizas. Aufblasbare Rettungswesten [<https://www.lalizas.de/category/118-aufblasbare-rettungswesten>, 28 d'abril de 2023]*. *[URL, data de consulta].
- [14] Plastimo. Brassieres et gilets de sauvetage [<https://www.plastimo-pro.com/products/securite/brassieres-et-gilets-de-sauvetage-1/gilets-de-sauvetage-gonflable-1>, 10 de maig de 2023]*. *[URL, data de consulta].
- [15] Decathlon [<https://www.decathlon.es/>, 5 de maig de 2023]*. *[URL, data de consulta].
- [16] Decathlon. Chaleco salvavidas automático inflable adulto LJ 150N Air [https://www.decathlon.es/es/p/chaleco-salvavidas-automatico-inflable-adulto-lj-150n-air/_/R-p-170813?mc=8491769, 12 de maig de 2023]*. *[URL, data de consulta].

- [17] WIKIPEDIA. PRODUCTE MÍNIM VIABLE.
[https://en.wikipedia.org/wiki/Minimum_viable_product, 22 de març de 2023]*. *[URL, data de consulta].
- [18] FIRGELLIAUTO. ACTUADOR LINEAL MOTORIZADO
[<https://www.firgelliauto.com/es/products/adjustable-stroke-linear-actuators>, 7 de maig de 2023]*. *[URL, data de consulta].
- [19] SOCIEDAD MEXICANA DE INGENIERÍA MECÁNICA. A1_94.PDF
[http://somim.org.mx/memorias/memorias2017/articulos/A1_94.pdf, 18 de maig de 2023]*. *[URL, data de consulta].
- [20] WIKIPEDIA. CAD/CAM [<https://es.wikipedia.org/wiki/CAD/CAM>, 20 de març de 2023]*. *[URL, data de consulta].
- [21] MOUSER ELECTRONICS.
[https://www.mouser.es/ProductDetail/DFRobot/FIT0805?q_s=pBJMDPsKWf1T7nMWxYK%2FVA%3D%3D&mgh=1&vip=1&gclid=CjwKCAjwhdWkZhBZEiwA1ibLmNjmU4uda5sHuY8yS44Pwa2Y2hTRf8JqpA66-IYvhSTgY81ix6XiyRoCcF4QAvD_BwE, 19 de maig de 2023]*. *[URL, data de consulta].
- [22] COMPONENTS101. L293N MOTOR DRIVER MODULE
[<https://components101.com/modules/l293n-motor-driver-module>, 16 de maig de 2023]*. *[URL, data de consulta].
- [23] ADAFRUIT. ADAFRUIT DRV8871 BRUSHED DC MOTOR DRIVER BREAKOUT
[<https://learn.adafruit.com/adafruit-drv8871-brushed-dc-motor-driver-breakout/overview>, 17 de maig de 2023]*. *[URL, data de consulta].
- [24] WIKIPEDIA. MICROPROCESADOR [<https://es.wikipedia.org/wiki/Microprocesador>, 21 de març de 2023]*. *[URL, data de consulta].
- [25] ARDUINO [<https://www.arduino.cc/>, 16 de maig de 2023]*. *[URL, data de consulta].
- [26] RASPBERRY PI [<https://www.raspberrypi.org/>, 19 de maig de 2023]*. *[URL, data de consulta].
- [27] ESPRESSIF [<https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32>, 20 de maig de 2023]*. *[URL, data de consulta].
- [28] PARTICLE [<https://www.particle.io/>, 18 de maig de 2023]*. *[URL, data de consulta].
- [29] ADAFRUIT 4516 [<https://www.adafruit.com/product/4516>, 17 de maig de 2023]*. *[URL, data de consulta].
- [30] WIKIPEDIA. GPIO [<https://es.wikipedia.org/wiki/GPIO>, 15 de maig de 2023]*. *[URL, data de consulta].
- [31] ADAFRUIT 4481 [<https://www.adafruit.com/product/4481>, 19 de maig de 2023]*. *[URL, data de consulta].
- [32] MOUSER ELECTRONICS. NORDIC NRF52840 SOC
[<https://eu.mouser.com/new/nordic-semiconductor/nordic-nrf52840-soc/>, 16 de maig de 2023]*. *[URL, data de consulta].
- [33] WIKIPEDIA. ARM CORTEX-M [https://en.wikipedia.org/wiki/ARM_Cortex-M, 18 de maig de 2023]*. *[URL, data de consulta].
- [34] ADAFRUIT 4884 [<https://www.adafruit.com/product/4884>, 20 de maig de 2023]*. *[URL, data de consulta].
- [35] ARM CORTEX-M0 PLUS [<https://developer.arm.com/Processors/Cortex-M0-Plus>, 17 de maig de 2023]*. *[URL, data de consulta].
- [36] WIKIPEDIA. SERIAL PERIPHERAL INTERFACE
[https://es.wikipedia.org/wiki/Serial_Peripheral_Interface, 19 de maig de 2023]*. *[URL, data de consulta].

- [37] WIKIPEDIA. I2C [<https://es.wikipedia.org/wiki/I%C2%B2C>, 15 de maig de 2023]*. *[URL, data de consulta].
- [38] WIKIPEDIA. UNIVERSAL ASYNCHRONOUS RECEIVER-TRANSMITTER [https://es.wikipedia.org/wiki/Universal_Asynchronous_Receiver-Transmitter, 18 de maig de 2023]*. *[URL, data de consulta].
- [39] ARDUINO UNO REV3 [<https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3>, 20 de maig de 2023]*. *[URL, data de consulta].
- [40] MICROCHIP ATMEGA328P DATASHEET [https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf, 16 de maig de 2023]*. *[URL, data de consulta].
- [41] CITCEA-UPC. PWM [<https://recursos.citcea.upc.edu/vestible/programa/pwm.html>, 17 de maig de 2023]*. *[URL, data de consulta].
- [42] WIKIPEDIA. LED [<https://es.wikipedia.org/wiki/Led>, 19 de maig de 2023]*. *[URL, data de consulta].
- [43] CIRCUITPYTHON [<https://circuitpython.org/>, 15 de maig de 2023]*. *[URL, data de consulta].
- [44] PYTHON [<https://www.python.org/>, 18 de maig de 2023]*. *[URL, data de consulta].
- [45] ADAFRUIT 4965 [<https://www.adafruit.com/product/4965>, 20 de maig de 2023]*. *[URL, data de consulta].
- [46] BATERIA 3.7V [<https://www.meloper.com/es/tienda/componentes/suministrar/i%C3%B3n-litiopol%C3%ADmerobater%C3%ADa3dot7v150mah/>, 19 de maig de 2023]*. *[URL, data de consulta].
- [47] MOTOR DE REDUCCIÓ DE VELOCITAT DC N20 M3 [<https://www.amazon.es/Engranajes-Reducci%C3%B3n-Velocidad-Reductor-Salida/dp/B0753G5268>, 20 de maig de 2023]*. *[URL, data de consulta].
- [48] Heschen Electroimán solenoide HS-0530B DC6V [<https://www.amazon.es/Fabricen-JF-0530B-Electroim%C3%A1n-solenoide-abierto/dp/B07MM131FS>, 10 de maig de 2023]*. *[URL, data de consulta].