



**UST**  
FACULTAT DE CIÈNCIES  
I TECNOLOGIA  
**UVIC-UCC**

**Treball de Fi de Grau**

*Hand Robotic Sensitive*

Javier Chacón Cerdà

**Grau en Enginyeria Mecatrònica**  
**Grau en Enginyeria Electrònica Industrial i Automàtica**

Tutors: Moisès Serra Serra

Vic, Juny del 2018



*A la meva família*

## AGRAÏMENTS

Primerament voldria agrair aquest treball i els anys d'universitat a la meua família, ja que són les persones que han fet possible poder arribar al final d'aquesta tapa fent uns esforços que només ells saben i donant-me sempre els millors ànims que un pot tenir.

A la UVIC-UCC i el grup de recerca MECAMAT per donar-me la possibilitat de desenvolupar aquest projecte però sobretot per oferir aquests estudis que algunes institucions volen depreciar sense tenir ni idea de la gran qualitat que hi ha en ells. Al Jordi Serra dels tallers per la infinitat de consells que dona als alumnes i la paciència que té.

També agrair a Seidor Labs i a tots els treballadors que ens hem creuat durant aquest període, primerament per apostar per estudiants que estan finalitzant els seus estudis però sobretot per donar-me totes les possibilitats i flexibilitats per poder desenvolupar aquest treball, sigui amb temps o material.

Als "Olivaires" i a tots els companys de viatge d'aquests 5 anys a la UVIC-UCC, gràcies per fer d'aquest període els millors anys de la meua vida sense cap dubte. Sabeu que sense vosaltres no hagués estat el mateix.

Per acabar i no menys important, agrair al meu tutor Moisès Serra Serra per tot. Els dos sabem que sense tu això no hagués estat possible i que si hi hagués més professors com tu, segur que l'educació d'aquest país faria un salt qualitatiu, gràcies.

<b>RESUM</b> .....	<b>1-7</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>1-8</b>
<b>TAULA D'ILUSTRACIONS</b> .....	<b>1-9</b>
<b>1 INTRODUCCIÓ</b> .....	<b>1-11</b>
1.1 MOTIVACIÓ .....	1-11
1.2 OBJECTIU PRINCIPAL .....	1-11
1.3 METODOLOGIA .....	1-13
1.4 ESTRUCTURA DE LA MEMÒRIA.....	1-14
<b>2 ESTAT DE L'ART</b> .....	<b>2-15</b>
2.1 EMG .....	2-15
2.2 MANS ROBOTIQUES .....	2-15
2.2.1 MÀ ROBÒTICA BEBIONIC, OTTOBOCK .....	2-15
2.2.2 AR10 HUMANOID ROBOTIC HAND (ACTIVE 8 ROBOTS) .....	2-18
<b>3 FONAMENTS TEÒRICS</b> .....	<b>3-19</b>
3.1 EMG .....	3-19
3.2 CONTROL EN LLAÇ OBERT/TANCAT .....	3-20
3.2.1 CONTROL EN LLAÇ OBERT.....	3-21
3.2.2 CONTROL EN LLAÇ TANCAT .....	3-21
3.3 CONTROL DE PARELL - PID .....	3-22
3.4 FISIOLOGIA I BIOMECÀNICA DE LA MÀ.....	3-25
3.4.1 OSSOS .....	3-25
3.4.2 TENDONS I MUSCLES .....	3-26
3.4.3 SISTEMA SENSORIAL .....	3-27
<b>4 DISSENY MÀ ROBÒTICA</b> .....	<b>4-28</b>
4.1 SELECCIÓ HARDWARE/SOFTWARE .....	4-29
4.1.1 HARDWARE.....	4-29
4.1.2 SOFTWARE.....	4-41
4.2 DISSENY MÀ .....	4-43
4.2.1 ESCANEIG.....	4-43
4.2.2 PROCÉS DE DISSENY.....	4-44
4.3 DISSENY AVANTBRAÇ .....	4-47
4.3.1 UNIÓ MÀ/AVANTBRAÇ .....	4-47
4.3.2 SUPORT MOTORS.....	4-50
4.3.3 SUPORT ELECTRÒNICA.....	4-51
4.3.4 CARCASSA EXTERIOR.....	4-52
4.3.5 POLITJA .....	4-55
4.4 ASSAIG/CÀLCUL PARELL NECESSÀRI I DIMENSIONAMENT .....	4-56
4.4.1 PROTOTIP DE MESURA/BANC D'ASSAIG .....	4-57
4.4.2 ASSAIG AMB DIFERENTS OBJECTES .....	4-58
4.4.3 DIMENSIONAMENT DELS MOTORS .....	4-61
4.5 ELECTRÒNICA .....	4-62
4.5.1 THALMIC MYO .....	4-62
4.5.2 CONTROLADOR.....	4-63
4.5.3 DRIVERS MOTORS .....	4-64
4.5.4 REGULADOR DE TENSIÓ.....	4-66

<b>5</b>	<b>CONSTRUCCIÓ MÀ ROBÒTICA .....</b>	<b>5-67</b>
5.1	ASSAMBLATGE .....	5-67
5.1.1	<i>DITS</i> .....	5-67
5.1.2	<i>MÀ</i> .....	5-68
5.1.3	<i>SUPORT MOTORS</i> .....	5-69
5.1.4	<i>CARCASSES AVANTBRAÇ</i> .....	5-70
5.1.5	<i>POLITJA/FILS</i> .....	5-70
5.2	ASSAMBLATGE ELECTRÒNICA .....	5-71
<b>6</b>	<b>PROGRAMACIÓ MÀ ROBÒTICA .....</b>	<b>6-73</b>
6.1	MOTORS.....	6-74
6.2	THALMIC MYO.....	6-75
6.3	CONJUNT: MOTORS + THALMIC MYO .....	6-76
6.4	UART .....	6-77
6.5	PSEUDOCODI.....	6-78
<b>7</b>	<b>COSTOS .....</b>	<b>7-79</b>
<b>8</b>	<b>MILLORES .....</b>	<b>8-80</b>
8.1	DISSENY.....	8-80
8.1.1	<i>MÀ</i> .....	8-80
8.1.2	<i>AVANTBRAÇ</i> .....	8-81
8.2	CONSTRUCCIÓ.....	8-81
8.3	ELECTRÒNICA I PROGRAMACIÓ .....	8-82
8.4	ALTRES .....	8-82
<b>9</b>	<b>RESULTATS .....</b>	<b>9-83</b>
<b>10</b>	<b>CONCLUSIONS .....</b>	<b>10-84</b>
<b>11</b>	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>11-85</b>
<b>12</b>	<b>ANNEX 1. MOTORS I EL SEU DIMENSIONAMENT .....</b>	<b>11-87</b>
12.1	MOTORS DYNAMIXEL AX12-A.....	11-87
12.2	DIMENSIONAMENT .....	11-88
12.2.1	<i>DSL OBJECTE</i> .....	11-89
12.2.2	<i>DSL BANC ASSAIG</i> .....	11-89
12.2.3	<i>DSL POLITJA</i> .....	11-90
12.2.4	<i>OBTENCIÓ DE LA FORÇA DE DEFORMACIÓ EXPERIMENTALMENT</i> .....	11-92
12.2.5	<i>CÀLCUL FINAL</i> .....	11-93

## RESUM

Títol: Hand Robotic Sensitive.

Paraules clau: Additiva, *Low Cost*, Electromiogràfics, Hardware, Software.

Autor: Javier Chacón Cerdà.

Tutor: Moisès Serra Serra.

Data: Juny del 2018.

Aquest treball de fi de grau, està basat en el disseny i construcció d'un prototip d'una mà robòtica, es a dir, desenvolupar un prototip que permeti extreure les primeres conclusions sobre la possibilitat d'avançar en aquest camp de les mans robòtiques, mitjançant fabricació additiva i que sigui el més fiable possible, *Low Cost* però sobretot que retorni Feedback a l'usuari portador que tingui algun tipus d'amputació transradial.

La base del projecte es basa a trobar una solució, a partir del raonament i estat actual del mercat, que sigui finalment la més fiable i econòmica per satisfer les necessitats del projecte. Aquesta solució comença per analitzar les inquietuds d'un usuari portador, que entre d'altres, es queixa sobretot de no saber la força que està realitzant quan agafa un objecte, podent fent més força del necessari, o al contrari, no agafar-lo amb la força que voldria.

El primer pas es basa en trobar inicialment les plataformes, es a dir, totes les parts per al desenvolupament del projecte i que funcionin homogèniament entre elles. Paral·lelament també es dissenya tot el braç robòtic per a la seva posterior part d'implementació del Hardware dintre d'ell, i finalment poder imprimir-lo mitjançant fabricació additiva, que en el nostre cas serà, impressió 3D.

També, paral·lelament al desenvolupament del Hardware, es desenvolupa un algoritme que ens permeti detectar els senyals electromiogràfics del braç, amb la màxima fiabilitat possible i controlar en funció de la captació dels senyals la força (concretament el parell) que es desitja aplicar a l'objecte que es vulgui agafar, podent finalment retornar un feedback final a l'usuari amb forma de vibració al braç, per saber la força que està aplicant finalment.

Els objectius han sigut la resolució de la millor manera els punts que marquen la pauta de desenvolupament sent satisfactòriament amb la majoria dels àmbits.

Aquest treball de fi de grau s'espera que segueixi endavant gràcies al grup de recerca "MECAMAT" (Mecatrònica i modelització aplicada a la Tecnologia de Materials) de la Uvic-UCC, com també deixar-lo obert perquè futurs estudiants el puguin millorar o utilitzar, com per exemple el tractament del senyal EMG un estudiant Biomèdic, i la creació d'un entorn virtual d'entrenament un estudiant de Multimèdia.

## SUMMARY

Title: Hand Robotic Sensitive.

Keywords: Additive, Low Cost, electromyographic, Hardware, Software.

Author: Javier Chacón Cerdà.

Tutor: Moisès Serra Serra.

Date: June 2018.

This final project is based in the design and construction of a robotic hand, that is, to develop a prototype that manages to come to the first conclusions on the possibility to move forward in the field of robotic hands by means of the additive manufacture as reliable as possible, low cost, but mainly, that return feedback to the bearer user who has some type of transradial amputation.

The basis of the project consist of finding a solution, from the reasoning and the market's current state that, eventually, would be the most reliable and economic to satisfy the needs of the project. The solution starts with the analysis of a bearer user's interests who, among others, complains about not knowing the strength that is realising when an object is taken, being able to do more strength than necessary or, on the contrary, not to take the object with the strength the user would want.

The first step consists of finding the platforms, that is, all the fractions for the project's development and these platforms work in a homogeneous way among them. Simultaneously it is also designed the entire robotic arm for the following hardware implementation, and finally, to be printed by means of additive manufacture, in our case, will be 3D printing.

In addition, and simultaneously to the hardware development, an algorithm is developed allowing us to detect the electromyographic signals of the arm, with the most reliability as possible and to control, according to the raising signals, the strength (specifically the pair) that is wished to apply to the object that the user wants to take, being able in this way to return a feedback back to the user with the shape of vibration to the arm to let us know the strength that is applying.

The aims have been the resolution in the best way of the points that mark the development pattern, being satisfactory in the majority of fields.

It is expected that this final project carries on thanks to the group research "MECAMAT" (Mechatronics and Modelling Applied on Technology of Materials) of the Uvic-Ucc, and also leave it open so as future students can improve it or use it, for example, the signal EMG treatment (a biomedical student), and the creation of some virtual surrounding of training (a multimedia student).



## TAULA D'ILUSTRACIONS

IMATGE 1:DIAGRAMA FUNCIONAL.....	1-13
IMATGE 2: METODOLOGIA SCRUM[1]. .....	1-14
IMATGE 3: MÀ BEBIONIC, DE LA CASA OTTOBOCK[2]. .....	2-16
IMATGE 4: DIMENSIONS MÀ BEBIONIC. ....	2-17
IMATGE 5: A10R ROBOTIC HAND[3]. .....	2-18
IMATGE 6: DEMOSTRACIÓ GRÀFICA D'EMG[4]. .....	3-19
IMATGE 7: CAPTACIÓ I DESCOMPOSICIÓ D'EMG[5].....	3-20
IMATGE 8: RELACIÓ ENTRE CONTRACCIÓ MUSCULAR I EL SENYAL EMG[5]. ....	3-20
IMATGE 9: SISTEMA DE CONTROL EN LLAÇ TANCAT[7]. .....	3-21
IMATGE 10: PROPORCIONAL[8].....	3-23
IMATGE 11: INTEGRAL[8]. .....	3-23
IMATGE 12: DERIVATIU. ....	3-24
IMATGE 13:GRÀFIC PARELL-CORRENT[9]. .....	3-24
IMATGE 14: MOVIMENTS DIT POLZE[10]. .....	3-25
IMATGE 15: TENDONS I MUSCLES[10]. .....	3-26
IMATGE 16:MECANO- RECEPTORS SENSORIALS DE LA PELL[11]. .....	3-27
IMATGE 17: IMATGE DIMENSIONS MÀ ROBÒTICA .....	4-28
IMATGE 18: ARDUINO UNO[12]. .....	4-30
IMATGE 19: ARDUINO MEGA[13]. .....	4-31
IMATGE 20: RASPBERRY PI 3[14]. .....	4-32
IMATGE 21: BEAGLEBONE BLACK[15]. .....	4-32
IMATGE 22: ONION OMEGA 2+[16]. .....	4-33
IMATGE 23: PINOUT DE L PLACA OMEGA 2+[16]. .....	4-34
IMATGE 24: EXPANSION DOCK[17]. .....	4-35
IMATGE 25: POWER DOCK 2.....	4-36
IMATGE 26: ARDUINO DOCK. [18].....	4-36
IMATGE 27: SERVOMOTOR MG996 (12Kg)[19]. .....	4-37
IMATGE 28: MOTORS DYNAMIXEL AX-12[20]. .....	4-38
IMATGE 29: E-HEALTH ARDUINO/RASPBERRY PI SHIELD[21]. .....	4-39
IMATGE 30: E-HEALTH SHIEDL + SENSORS[21]. .....	4-40
IMATGE 31:BRAÇALET MYO[22]. .....	4-40
IMATGE 32: BRAÇALET MYO 2[22]. .....	4-41
IMATGE 33: LOGOTIP JAVASCRIPT.....	4-41
IMATGE 34: LOGOTIP C++[24]. .....	4-42
IMATGE 35: LOGOTIP PYTHON[25]. .....	4-42
IMATGE 36: ESCÀNER ISENSE.....	4-43
IMATGE 37: ESCANEIG AMB BRUT. ....	4-44
IMATGE 38: CONJUNT DEL DISSENY DE LA PALMA DE LA MÀ. ....	4-44
IMATGE 39: DITS DE LA MÀ. ....	4-45
IMATGE 40: DISSENY COMPLERT DE LA MÀ.....	4-46
IMATGE 41: UNIÓ MÀ-AVANTBRAÇ (FRONTAL).....	4-48
IMATGE 42: UNIÓ MÀ-AVANTBRAÇ (POSTERIOR). ....	4-49
IMATGE 43: GEOMETRIA MOTOR DYNAMIXEL AX-12. ....	4-50
IMATGE 44: SUPORTS MOTORS (1). ....	4-51
IMATGE 45: SUPORT ELECTRÒNICA.....	4-52
IMATGE 46: AVANTBRAÇ(1). ....	4-53
IMATGE 47: SUBCONJUNT DE LES CARCASSES EXTERIORS(1). .....	4-54
IMATGE 48:SUBCONJUNT DE LES CARCASSES EXTERIORS(3). .....	4-54
IMATGE 49: SUBCONJUNT DE LES CARCASSES EXTERIORS(3). .....	4-55
IMATGE 50: DIMENSIONS DEL MOTOR AX-12[20]. .....	4-55
IMATGE 51: DISSENY 3D DE LA POLITJA .....	4-56

IMATGE 52: PROTOTIP DE MESURA .....	4-57
IMATGE 53: POSICIÓ PER MESURAR. ....	4-58
IMATGE 54: SUBJECCIÓ GOT/AMPOLLA BUIT/BUIDA.....	4-59
IMATGE 55: FORÇA NECESSÀRIA PER AGAFAR BOLLA ANIT-ESTRÈS. ....	4-60
IMATGE 56: THALMIC MYO.....	4-63
IMATGE 57: PLACA CONTROLADORA MUNTADA I LLOC ON ES MUNTA A L'AVANTBRAÇ .....	4-63
IMATGE 58: ESQUEMA DE CONTROL DELS MOTORS[20]. ....	4-64
IMATGE 59: ESQUEMA ELÈCTRIC.....	4-65
IMATGE 60: REGULADOR DE TENSIO S18V20ALV. ....	4-66
IMATGE 61: IMATGE LATERAL DELS DITS. ....	5-67
IMATGE 62: MÀ ASSEMBLADA AMB ELS DITS. ....	5-68
IMATGE 63: SUPORTS MOTORS. ....	5-69
IMATGE 64: CARCASSES EXTERIORS. ....	5-70
IMATGE 65: POLITJA.....	5-71
IMATGE 66: ELECTRÒNICA MUNTADA. ....	5-71
IMATGE 67: DIAGRAMA DE FLUX DE L'ALGORITME DE PROGRAMACIÓ.....	6-73
IMATGE 68: MYO GESTURES.....	6-76
IMATGE 69: CONFIGURACIÓ UART .....	6-77
IMATGE 70: ESQUEMA DEL FUNCIONAMENT DEL POSICIONAMENT SENSE REALIMENTACIÓ PER POSICIÓ. ....	11-87
IMATGE 71: ESQUEMA AMB REALIMENTACIÓ. ....	11-87
IMATGE 72: ESQUEMA ELÈCTRIC MOTORS.....	11-87
IMATGE 73: DEMOSTRACIÓ D'OBTENCIÓ DE LA FORÇA DE DEFORMACIÓ .....	11-92

# 1 INTRODUCCIÓ

## 1.1 MOTIVACIÓ

Aquest treball va sorgir amb una conversació informal amb el tutor d'aquest treball, ja que em va exposar totes les característiques i problemes de les persones amputacions, i que des del grup de recerca MECAMAT (Mecatrònica i modelització aplicada a la Tecnologia de Materials) s'estava iniciant aquest projecte.

Des del primer moment la proposta em va semblar adequada, ja que mentre més se sap dels problemes que els portadors de pròtesis tenen, més motivador és ajudar a aquest col·lectiu en la mesura que es pugui.

Però la motivació més gran es saber que hi ha moltíssima gent que no té els diners necessaris per poder comprar-se una pròtesi, o havent de demanar préstecs als bancs per poder comprar-les. Crec que portar-la no hauria de ser una inversió, sinó un dret.

Aquesta motivació també inclou poder ajudar a nens ja que per motius econòmics. Les famílies no s'ho poden permetre per el motiu de que creixen i les poden espatllar fàcilment.

## 1.2 OBJECTIU PRINCIPAL

L'objectiu principal consisteix a trobar un subsistema electrònic que permeti controlar el parell d'una mà robòtica quan subjecti un objecte, amb el disseny i construcció del prototip d'una mà robòtica Low-Cost.

A causa de l'esmentat anteriorment, el que es pretén portar a terme en aquest projecte és abordar una important necessitat per a persones amb algun tipus d'amputació transradial. Aquesta necessitat és la de proporcionar "sensibilitat" o resposta, ja que el principal inconvenient plantejat del dia a dia d'una persona portadora d'aquest tipus de pròtesis, o també dit mà biònica, és no tenir la resposta o sensibilitat, i sobretot no saber el tipus de força que s'està aplicant a l'objecte que es desitja agafar.

La proposta que es planteja amb el desenvolupament d'aquest treball de fi de grau, és aconseguir una detecció precisa de l'amplada de les variables biomèdiques associades amb el senyal del cos humà de la forma menys intrusiva possible, juntament amb el processament de la informació amb algorismes avançats i amb temps real, mitjançant un circuit en llaç tancat amb la finalitat de dotar de "sensibilitat" a l'usuari portador de la pròtesi. Dintre d'aquest tipus d'amputació, hi ha diferents nivells, el que significa que s'ha de cercar una solució el més flexible possible amb la finalitat d'adaptar-se a totes les tipologies, o si més no, al màxim d'elles possibles.

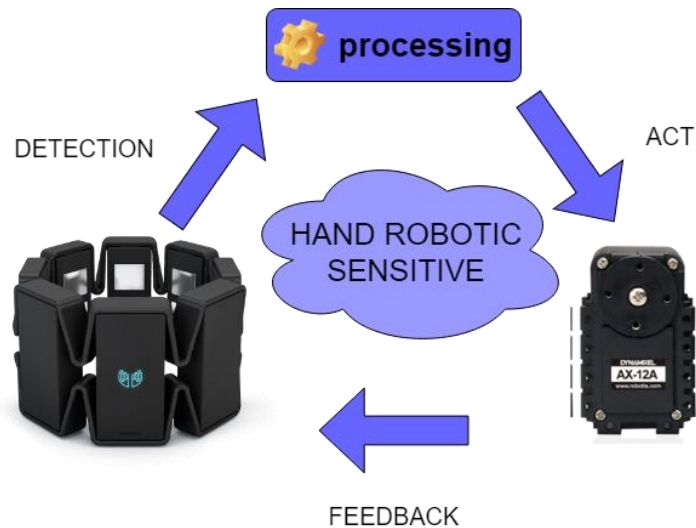
Per poder desenvolupar l'objectiu anterior, cal prèviament desenvolupar el disseny del prototip per tal de desenvolupar els algorismes esmentats anteriorment.

Per obtenir la solució s'han plantejat un conjunt d'objectius, que permetin poder avançar de manera metòdica i el més eficient possible, que són:

- Analitzar el mercat per cercar la solució/solucions més convenient per al projecte. En una primera part, és pretén fer un “estudi de l’art” per tal de veure ens els àmbits que involucrin el projecte(control de parell, sensors de pressió, algorismes de control..).
- Anàlisis i desenvolupament dels algorismes avançats necessaris per al control de la pròtesis, de manera que permeti als portadors prendre el control sobre la força exercida en tot moment.
- Anàlisis i selecció del tipus de feedback més adequat per al usuari, valorant la majoria d'opcions disponibles. Per això, és vol realitzar una profunda investigació dels estímuls humà-màquina per seleccionar la opció mes adient.
- Prototips del sistema de control en una plataforma tecnològica que més s'adapti a les solucions sol·licitades i que siguin aptes per a la verificació, a poder ser.
- Disseny i construcció d'un prototip de pròtesis a través de processos de fabricació additiva(a primera opció, impressió 3D).

Finalment, és pretén que la solució presenti un format unificat i que reculli tots els punts anteriorment citats. Com a part final d'aquest projecte, és vol poder arribar a desenvolupar un producte final *Low-Cost*, que complexi tots els requisits (o el màxim d'ells possibles) per a un projecte Mecatrònic-Electrònic aplicat en un àmbit Biomèdic. Sobretot preveu satisfer una carència de necessitats de *feedback* que hi ha actualment en el mercat. Aquest prototip principalment està pensat per als usuaris que tenen necessitat de la utilització d'algun tipus de pròtesis per amputació transradial.

La consecució d'aquest projecte requereix d'una amplia investigació experimental, que té com a objectiu proporcionar una solució innovadora, ajustada a les necessitats del usuari i que la seva fita final es tenir un producte, amb el més alt grau de sensibilitat que es pugui aconseguir.



imatge 1:diagrama funcional.

En la imatge 1, es pot observar el diagrama funcional que a grans trets es simple, i com s'ha esmentat en aquest punt anteriorment, es tracta de poder agafar un objecte amb la força desitjada, i poder rebre un *feedback* a l'usuari portador.

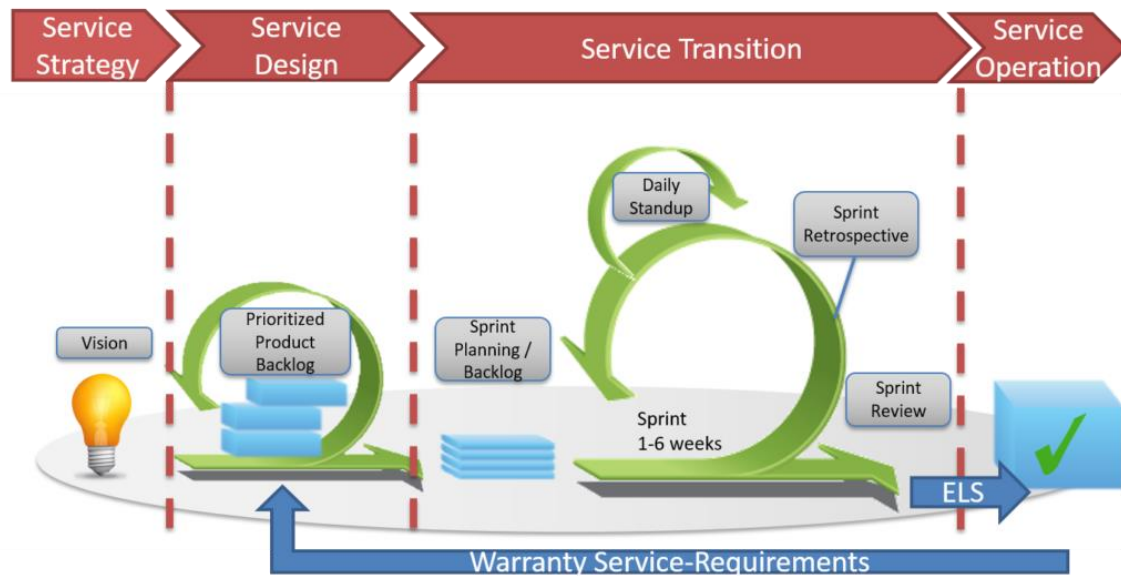
### 1.3 METODOLOGIA

Com a metodologia principal, cal avançar, que al ser un projecte innovador i principalment de recerca, la metodologia pot sofrir alguns canvis segons avança el projecte. Aquest projecte es planteja utilitzar la metodologia *SCRUM*. Com la seva definició[1] diu:

*“SCRUM és un procés en el qual s’apliquen de manera regular un conjunt de bones pràctiques per treballar en equip, i obtenir el millor resultat possible d’un projecte. Aquestes pràctiques donen suport unes a unes altres i la seva selecció té origen es un estudi de la manera de treballar d’equips altament productius.”*

En *SCRUM* es realitzen lliuraments parcials, amb forma d'*SPRINT*'s i regulars del producte final, prioritzades pel benefici que aporten al receptor del projecte.

Els *SPRINT*'s a priori, s'acordaran en forma de quinzena, podent variar-los si cal, en funció del gruix o dificultat de les tasques a realitzar.



imatge 2: Metodologia SCRUM[1].

Com es pot observar en la imatge anterior, és un mètode que simplifica amb un enorme grau la gestió d'un projecte, fet però que necessita un estudi gran previ.

#### 1.4 ESTRUCTURA DE LA MEMÒRIA

Per explicar amb la màxima claredat aquest treball, amb la finalitat que sigui el més comprensible possible, s'ha estructurat amb diferents apartats, intentant que siguin en mesura del possible, ordenats cronològicament.

Primerament es fa una repassada a l'estat de l'art per introduir-nos en el context necessari per al projecte, i saber que s'està desenvolupant avui en dia. Seguidament s'explicarà els fonaments teòrics necessaris per al projecte.

Un cop a "dintre" del projecte, s'explica quin hardware/software s'ha triat i com s'ha dissenyat el prototip de la mà robòtica, aprofundint amb alguns detalls del desenvolupament de les peces. Després s'explica la construcció del prototip fins a l'assemblatge final.

Ja per acabar hi ha probablement els apartats més importants en un treball on es desenvolupa la primera versió d'un prototip, que són: costos, millores, resultats i conclusions. Finalment també es troba la bibliografia i un annex sobre els motors i càlculs per al seu dimensionament.

## 2 ESTAT DE L'ART

En aquest apartat de l'estat de l'art s'explica com està l'estat de l'art actualment. Els punts que s'exposaran són:

- EMG: important per al projecte per saber quina es la millor opció de fer la captació del senyal.
- MANS ROBÒTIQUES: esbrinar com són tecnològicament les mans que hi ha actualment al mercat per buscar la millor estratègia d disseny.

### 2.1 EMG

En aquest apartat sobre EMG es parla de com es fa actualment la recaptació del senyal. La recaptació del senyal es molt important ja que pot fer que la mà robòtica sigui més eficient.

Els senyals elèctrics generats pel nostre cos, es poden obtenir mitjançant uns elèctrodes col·locats sobre la pell, que són capaços de detectar els canvis de potencial dels senyals elèctrics generats pel nostre cos. Aquests senyals poden ser generats inconscientment degut al petit moviment dels músculs, però també voluntàriament, que és on radica el gran avantatge d'utilitzar EMG per controlar un braç robòtic. Es pot arribar a crear un algoritme per controlar un braç robòtic i ser controlat via EMG[4].

Com es pot apreciar a l'estudi [2], és relativament fàcil obtenir senyals EMG del cos humà i aplicar-los a alguna plataforma (Arduino, Raspberry, etc...) per que realitzi alguna acció. Concretament on realment radica la complexitat d'aquest projecte es en l'apartat de la recollida dels senyals. La dificultat està en fer un algoritme el més precís possible, eliminant els màxims o la totalitat dels falsos positius que es puguin generar. Aquests senyals poden ser conscients o sense adonar-se'n que s'està generant algun tipus d'impuls que pot provocar el moviment involuntari.

### 2.2 MANS ROBÒTIQUES

En aquest apartat hi ha recerca sobre l'estat actual de les mans i braços robòtics. Focalitzarem la recerca en mans i/o similars dedicades al benestar i millora de gent amb amputacions. Aquest treball es desenvolupa amb la intenció de desenvolupar un prototip per l'estudi per tal de millorar la vida, per petita aportació que sigui, en la millora dels portadors d'aquest tipus de pròtesi.

#### 2.2.1 MÀ ROBÒTICA BEBIONIC, OTTOBOCK

Com es pot observar a la imatge següent, es el model que es pretén analitzar i fer l'estudi intensiu per tal de millorar les prestacions, i el dia a dia dels portadors d'aquest tipus de pròtesis.



imatge 3: mà bebionic, de la casa Ottobock[2].

SPECIFICATIONS	VALUE
<b>POWER GRIP FORCE</b>	140N
<b>TRIPORD GRIP FORCE</b>	36.6N
<b>KEY GRIP FORCE</b>	26.5N
<b>TIME TO OPEN OR CLOSE – TRIPORD GRIP</b>	0.5 seconds
<b>TIME TO OPEN OR CLOSE – POWER GRIP</b>	1.0 seconds
<b>TIME TO OPEN OR CLOSE – KEY GRIP</b>	1.0 seconds
<b>HARD CARRY LOAD (STATIC)</b>	45kg
<b>FINGER CARRY LOAD (STATIC)</b>	25kg
<b>FINGER TIP EXTENSION LOAD</b>	6kg
<b>VERTICAL PUSH DOWN LOAD (THROUGH KNUCKLES)</b>	90kg



Aquesta mà, consta de les següents característiques:

PART NUMBER	BUILD HEIGH	WEIGHT	DESCRIPTION
<b>SMALL HAND</b>			
1	BBHSM*QD·W 105mm + 25mm	390g	EQD WRIST – WHITE
2	BBHSM*SW·W 105mm + 12mm	369g	SHORT WRIST – WHITE
3	BBHSM*QD·W·F 105mm + 53mm	460g	FLEXION WRIST – WHITE
1	BBHSM*QD·B 105mm + 25mm	390g	SHORT WRIST – BLACK
2	BBHSM*SW·B 105mm + 12mm	369g	SHORT WRIST – BLACK
3	BBHSM*QD·B·F 105mm + 53mm	460g	FLEXION WRIST - BLACK



imatge 4: dimensions mà bebionic.

### 2.2.2 AR10 HUMANOID ROBOTIC HAND (ACTIVE 8 ROBOTS)

La mà robòtica AR10[3] es un clar exemple d'aquest projecte es viable. Es una mà amb 10 graus de llibertat, el qual proporciona moviments molt precisos. Aquest tipus de sistema per controlar els moviments dels dits (dotar d'un motor a cada dit, canell...) probablement és el més utilitzat en aquest tipus de mans robòtiques, però es un gran inconvenient quan s'intenta limitar la mida de la mà com el seu propi pes.



*imatge 5: A10R Robotic Hand[3].*

Com s'observa amb la imatge a l'esquerra, cada dit i articulació està dotada de moviment, la qual cosa si el requisit es simplement funcional està molt bé.

En el nostre cas també hi ha els altres objectius d'intentar que s'assembla a la realitat, tan funcional com físicament.

### 3 FONAMENTS TEÒRICS

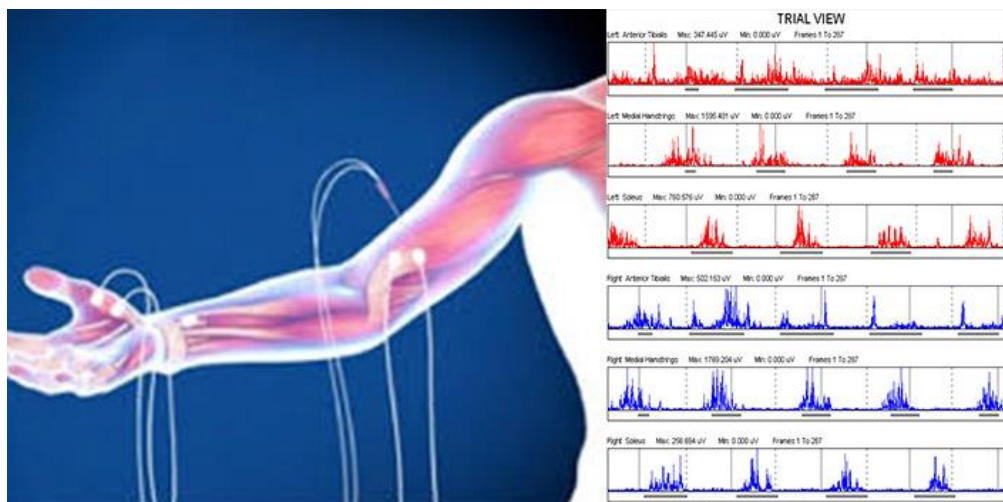
En el treball de fi de grau, en l'apartat de fonaments teòrics el que es pretén abordar es situar el problema de la investigació dintre d'un conjunt de coneixements que ens permetin delimitar els conceptes plantejats.

Es a dir, que en la redacció del marc teòric d'aquest apartat s'abordaran els temes que estan involucrats directament amb aquest treball (tal com ja s'han explicat prèviament en la introducció).

#### 3.1 EMG

La definició d'EMG és:

“Estudi electró-fisiològic del sistema neuromuscular. Etimològicament, el terme electromiografia (EMG) es refereix al registre de l'activitat elèctrica generada pel múscul.”



imatge 6: Demostració gràfica d'EMG[4].

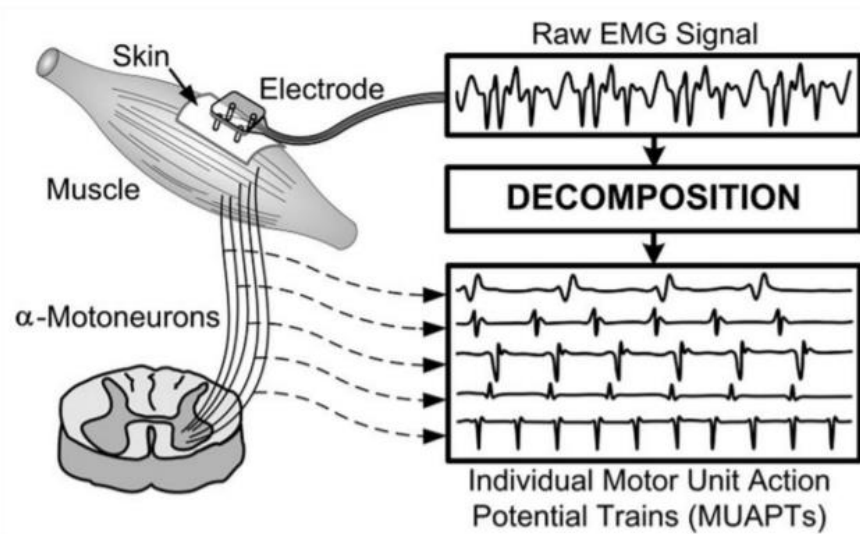
Com es pot observar a la imatge anterior, mitjançant la col·locació d'uns elèctrodes degudament posicionats, s'obtenen els impulsos elèctrics que poden ser monitorats pel seu tractament posterior, en el nostre cas en *real time*.

El rang típic de monitoratge és de 7-20Hz, depenent de la mida del múscul. Pel que fa a el rang de potencial elèctric de la mesura, pot oscil·lar, de menor a major, des de 50  $\mu\text{V}$  a 20 0 30 mV.

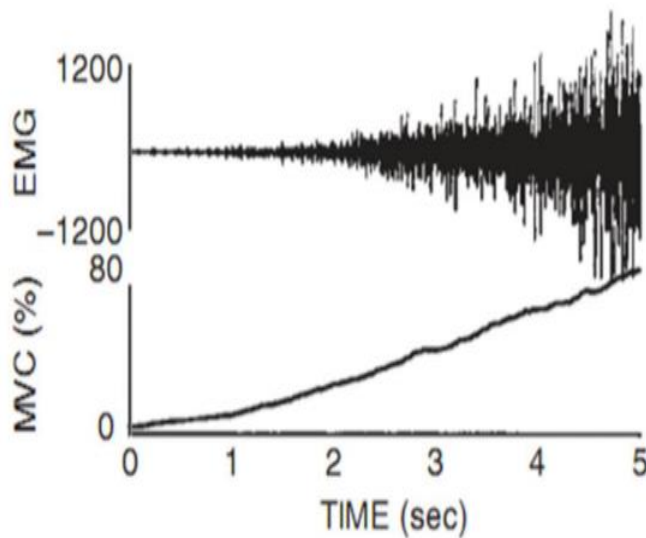
Com l'article[5] cita, la col·locació dels elèctrodes és molt important i crucial, ja que la simple col·locació errònia d'un elèctrode en la teva xarxa, pot crear unes variàncies amb el reconeixement dels patrons considerable.

Els avantatges d'utilitzar EMG temporals, és a dir, a temps real, impliquen incloure una capacitat de càlcul elevada. D'altra banda els mètodes solen ser d'una magnitud de sensibilitat bastant elevada, cosa que dificulta molt el funcionament correcte del tot el sistema. D'aquí una gran part de complexitat del projecte.

En la imatge següent, es pot observar de manera gràfica i molt simple, com es la captació d'un senyal electromiogràfic, i com es pot descompondre.



imatge 7: captació i descomposició d'EMG[5].



En la imatge (esquerra), es veu com varia el senyal del EMG en funció de la contracció voluntària.

imatge 8: relació entre contracció muscular i el senyal EMG[5].

### 3.2 CONTROL EN LLAÇ OBERT/TANCAT

En aquest projecte es important tenir els coneixements del sistema de control, sigui en llaç obert o tancat. La definició de sistema de control es[6]:

“És un dispositiu o conjunt de dispositius que serveixen per dirigir, comandar o regular el comportament d'altres dispositius o sistemes.”

### 3.2.1 CONTROL EN LLAÇ OBERT

La definició de sistema de control en llaç obert[6]:

“És aquell en el qual només actua el procés damunt el senyal d'entrada, i dóna com a resultat un senyal de sortida independent del senyal d'entrada, però basat en ell.”

### 3.2.2 CONTROL EN LLAÇ TANCAT

La definició de sistema de control en llaç tancat[6]:

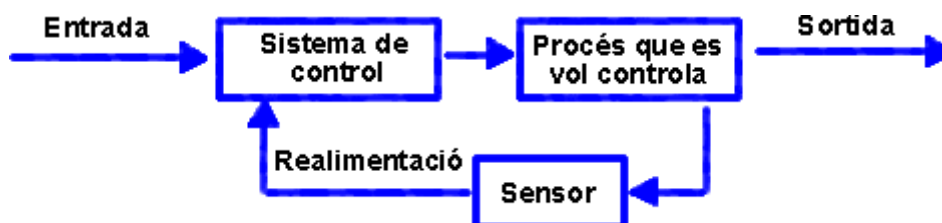
“És aquell en el qual l'acció de control està en funció del senyal de sortida. Els sistemes de circuit tancat fan servir la realimentació des del resultat final per ajustar l'acció de control en conseqüència.”

En aquest darrer sistema, és on aprofundirem més, ja que es el que probablement es el que necessitem en la mà robòtica. El sistema de control en llaç tancat és imprescindible quan es dóna alguna de les següents circumstàncies[6]:

- Quan un procés no és possible de regular per l'home.
- Per una producció a gran escala que exigeix grans instal·lacions que l'home no és capaç de manejar.
- Per vigilar un procés que és especialment dur en alguns casos i requereix una atenció que l'home pot perdre fàcilment per l'esgotament o el descuit, amb els consegüents riscos que això pot ocasionar al treballador i al procés.

Les característiques d'un sistema de control en llaç tancat són les següents:

- Són complexos i fan servir més quantitat de paràmetres que els sistemes en llaç obert.
- La sortida es compara amb l'entrada i resulta afectada pel control del sistema.
- Tenen realimentació.
- Són més estables davant pertorbacions i variacions internes.



*imatge 9: sistema de control en llaç tancat[7].*

En la imatge anterior, es pot observar l'exemple més bàsic de sistema de control en llaç tancat. Tal com s'ha explicat en l'apartat de control de parell, es un clar exemple on sigui probablement el més utilitzat a la indústria.

### 3.3 CONTROL DE PARELL - PID

El control de parell en aquest treball es que per poder agafar objectes amb la força desitjada, s'ha de poder elegir la força i al mateix temps tenir el *feedback* per saber en quin estat es troba el sistema per tal de retro-alimentar-lo.

Existeixen altres tipus de control (control de velocitat, control cartesià...) i cap d'ells es millor per a totes les situacions sinó que cal trobar la solució més adequada per a cada cas.

El control de parell en aquest treball és una part clau. El que es desitja es poder agafar objectes de forma controlada, sense aplicar més o menys força sinó l'adequada per a cada moment.

Amb el control de parell es vol controlar el parell a la sortida del motor en tot moment, és a dir, el parell físic que experimenta l'articulació. En primer lloc, es necessita una forma de mesurar el parell a cada articulació (o conjunt d'articulacions en el cas de treballar conjuntament, però que les tractarem com si només fos una). Normalment es fa de mesura indirecta mesurant la torsió, la resistència, o alguna altra quantitat a través d'un actuador.

La millor forma de controlar la majoria de les coses actuals, i és de la manera majoritària que s'està fent, és fent un control híbrid. Ficant el cas que hi ha un braç robòtic que està manipulant objectes, a l'hora de desplaçar-se és millor controlar inicialment per velocitat, fins a l'aproximació d'agafar l'objecte, on seguidament passa a controlar-se per parell. Això es degut a que es vol tenir controlada la força aplicada a l'objecte per tal de tenir-lo sempre agafat amb la mesura correcta.

Aquest tipus de control, es pot desenvolupar de diferents maneres, però el més utilitzat es un mecanisme amb realimentació que calcula la desviació entre el valor real i el desitjat, també anomenat **PID** (Proporcional-Integral-Derivatiu).

L'algoritme del PID consisteix en 3 paràmetres:

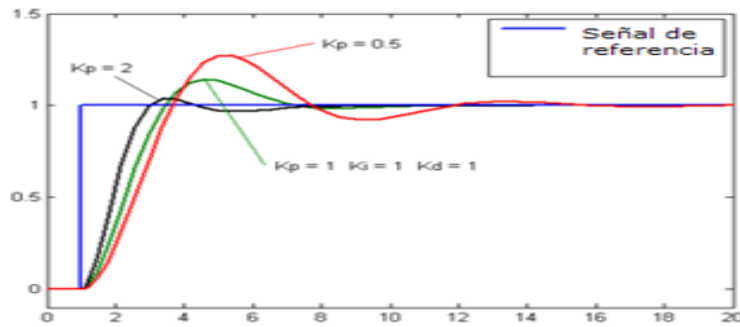
- **Proporcional:** consisteix entre el producte del senyal d'error i la constant per aconseguir que l'error en estat estacionari s'aproximi a 0[8].

La formula del proporcional és:

$$P = Kp \cdot e(t)$$

On :

- *P*: es la sortida proporcional.
- *Kp*: es la constant de proporcionalitat.
- *e(t)*: el error permanent.



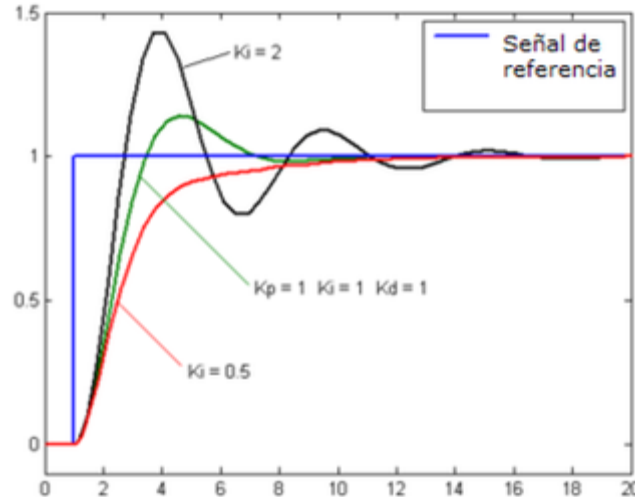
imatge 10: proporcional[8].

- **Integral:** de la manera que el proporcional té com a propòsit disminuir i eliminar l'error per pertorbacions alienes, el control integral actua quan hi ha una desviació entre la variable i el punt de consigna. L'error es integra el qual té la funció de fer la mitjana durant un període especificat, per posteriorment multiplicar-ho per  $K_i$ [9]. La formula del integral és:

$$I = \int_0^t e(t) dt$$

On:

- $I$ : es la sortida integral.
- $e$ : error en funció del temps.



imatge 11: integral[8].

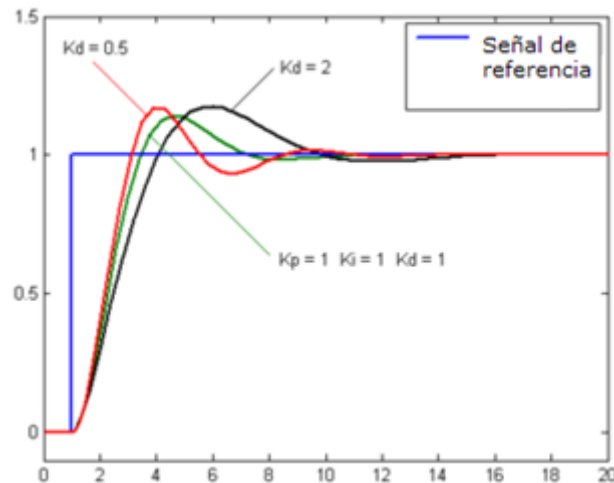
- **Derivatiu:** la part derivativa només apareix quan hi ha un canvi en el valor absolut de l'error (si l'error es constant, només actuen la part proporcional i integrativa). La seva funció es mantenir l'error al mínim corregint-lo proporcionalment a la mateixa velocitat que es produeix[9].

La formula derivativa es:

$$D = Kd \frac{de}{dt}$$

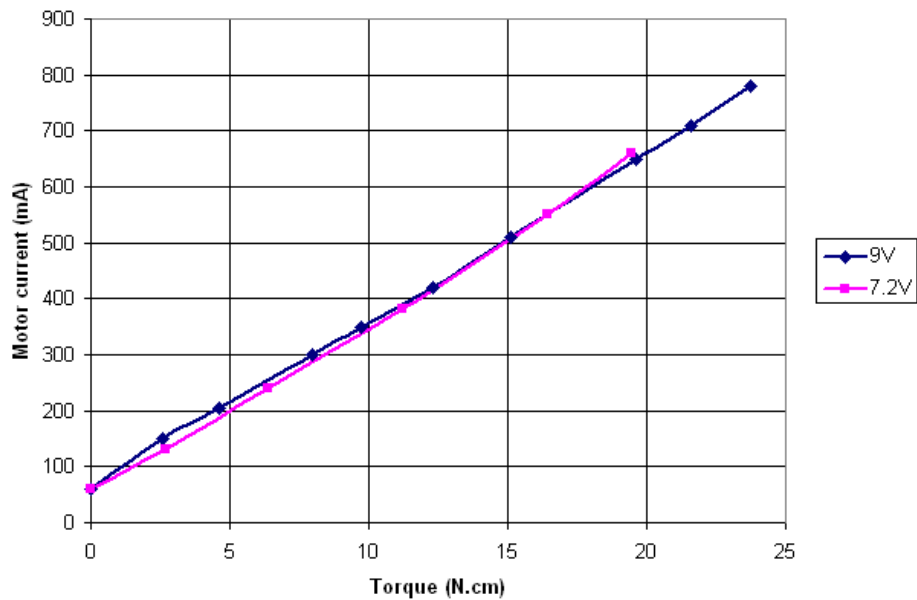
On:

- $D$ : es l'error derivatiu.
- $Kd$ : constant derivativa.



imatge 12: Derivatiu.

#### Motor current vs. Torque



imatge 13: gràfic parell-corrent[9].

En la imatge anterior, es pot observar la relació estàndard que hi ha entre el parell i el corrent d'un motor DC (sense tenir en compte altres aspectes importants, com per exemple la reducció que pugui portar).



### 3.4 FISIOLOGIA I BIOMECÀNICA DE LA MÀ

Encara que pugui semblar que en un treball d'aquest àmbit, l'apartat de fisiologia i biomecànica de la mà estigui fora de lloc, contràriament, és un apartat important pel que fa als fonaments teòrics.

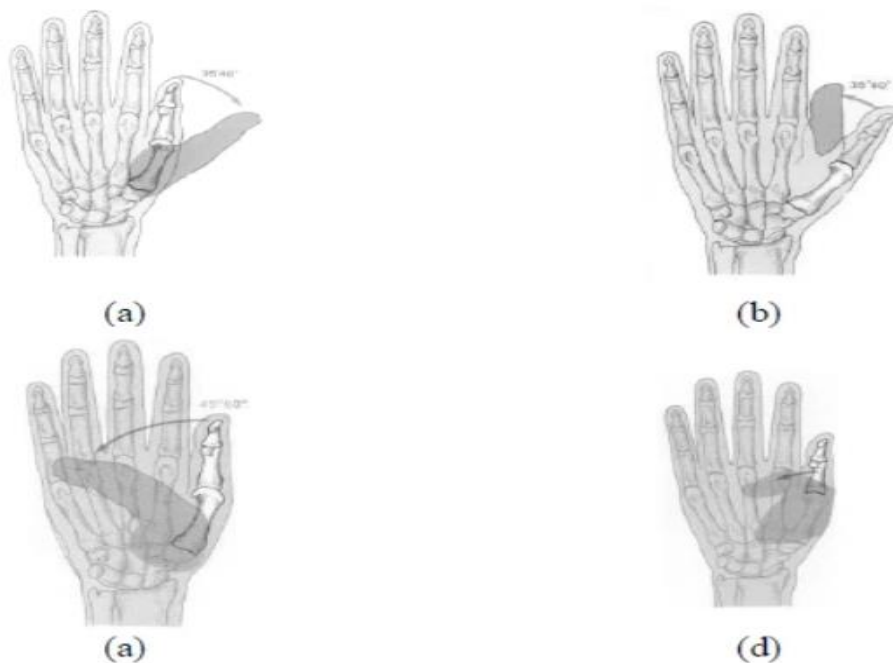
En aquest apartat, estudiarem i entendrem la fisiologia i la biomecànica de la mà, ja que per tal de poder replicar-ho (en mesura del possible i coneixent les limitacions) a la mà robòtica, i no només això, sinó també entendre la musculatura per tal de poder elegir la millor opció per la captació del EMG.

#### 3.4.1 OSSOS

Com bé explica aquest article[22], la mà humana és composta de 27 ossos dividits en tres grups: els carps, els metacarpians i les falanges. Es connecta al canell a través de la palma de la mà i està dotat de 20 graus de llibertat accionats per uns 40 múscles. Cada dit està compost per tres falanges, a excepció del polze, que només en té dues. El dit polze està fixe per davall dels altres dos dits, i pot realitzar els moviments de tancament i rotació, a causa de la gran mobilitat del seu metacarp.

El dit polze és l'agent que provoca la pinça polze-dits, sense ell, els moviments dels dits constituïrien només pressions globals en llocs de moviments precisos.

A continuació es poden observar 4 figures que descriuen els moviments cinemàtics del dit polze:



imatge 14: moviments dit polze[10].

Els moviments del polze són:

- (a) Abducció.
- (b) Adducció.
- (c) Oposició.
- (d) Reposició.

Quant als dits, presenten principalment 3 articulacions: articulació metacarpofalàngica (MCP), articulació interfalàngica proximal (PIP) i articulació interfalàngica distal (DIP).

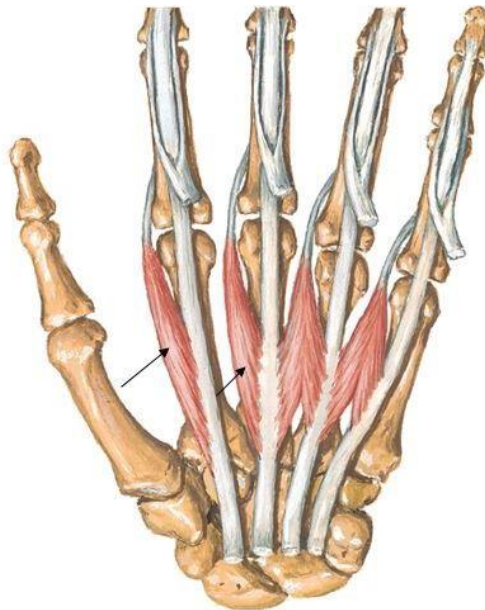
La gran varietat de muscles i articulacions de la mà ofereix una gran varietat de configuracions de subjecció que poden ser dividides en dos grans grups:

- Prènsils.
- No Prènsils.

Els moviments prènsils són aquells que un objecte pot ser agafat total, o parcialment mantingut dintre de la mà.

### 3.4.2 TENDONS I MUSCLES

En els dits hi ha 3 grans grups bàsics de muscles, els flexors extrínsecs originats en la part anterior de l'avantbraç, el flexor profund i superficial pertanyent a aquest grup. Els extensors extrínsecs originats en la part posterior de l'avantbraç, el muscle extensor digitorum pertany a aquest grup. Finalment, els muscles intrínsecs el qual el seu origen va del distal a l'articulació del canell.

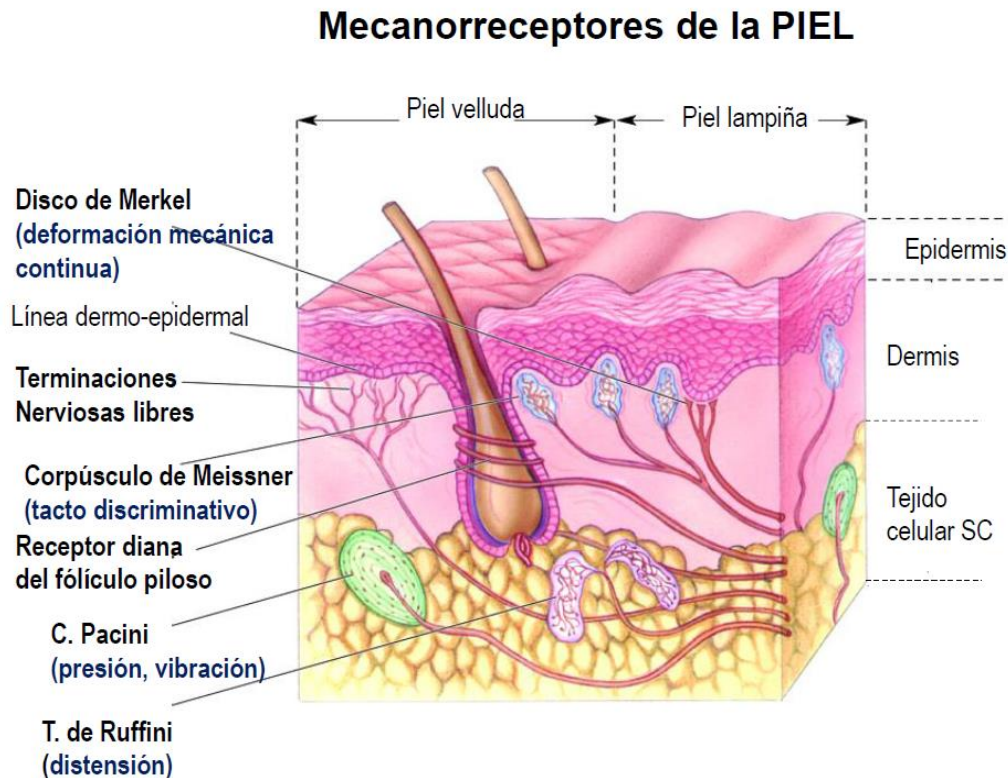


imatge 15: tendons i muscles[10].

### 3.4.3 SISTEMA SENSORIAL

El sistema sensorial somàtic permet al nostre cos sentir, experimentar dolor, tenir calfreds i saber que estan fent les diverses parts del nostre cos.

La major part dels receptors sensorials són mecano-receptors, que són sensibles a la deformació física i monitoren el contacte amb la pell, la pressió del cor, entre d'altres. En la següent imatge, apareixen la majoria dels Mecano-receptors de la pell:



*imatge 16:mecano- receptors sensorials de la pell[11].*

- El corpuscle de Pacini.
- Terminacions de Ruffini.
- Corpuscles de Meissner.
- Receptors de Merkel.
- Mecano-receptors dels Fòliculs pilosos.

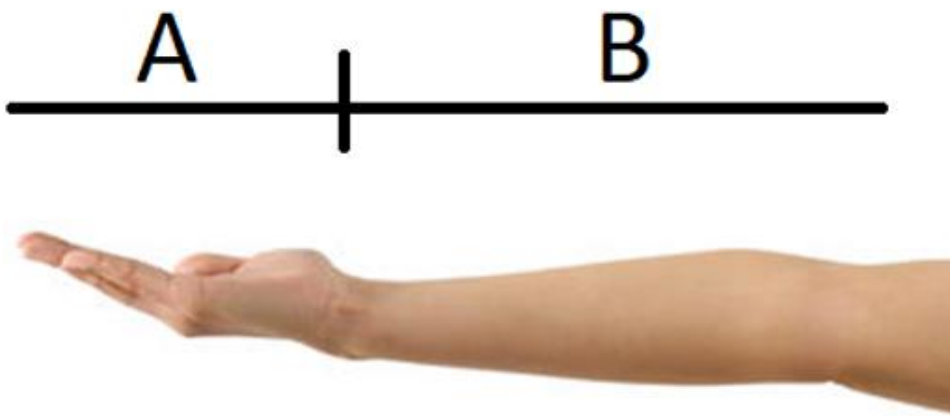
Un altre tipus de receptors sensorials serien els termo-receptors, que com ja indica el seu nom, són sensibles a la temperatura però que ja no veurem amb profunditat, ja que en aquest projecte no són tan essencials com els Mecano-receptors.

## 4 DISSENY MÀ ROBÒTICA

En aquest apartat s'explica el procés que s'ha seguit pel disseny de la mà robòtica. No s'aprofundirà en excessiu detall del seu disseny, ja que ha estat molt laboriós i complexa, on es podria fer un sol treball explicant de forma molt detallada aquest apartat.

Per l'assemblatge final de tot el conjunt, després de molts esborranys i proves, s'ha arribat al disseny final com si d'un "trencaclosques" es tractés.

Totes les peces, depenen d'una amb l'altre per arribar al muntatge final, dotant així d'importància a cada una d'elles. Aquesta opció ha estat la més adequada, ja que intervenen diferents parts i per poder ficar-ho tot en el que seria una mà i avantbraç , en la mida real d'una persona estàndard.



*imatge 17: imatge dimensions mà robòtica*

Com es pot observar en la imatge anterior, les dimensions aproximades d'un humà estàndard són:

- A: 23-26 cm.
- B: 27-32 cm.

Abans d'explicar el procés que s'ha portat a terme per construir la mà, s'explicaran les diferents opcions de *Hardware* i *Software* que s'han tingut en compte. En el procés de disseny aquests components influeixen en la decisió, sobretot de *Hardware* elegit.

## 4.1 SELECCIÓ HARDWARE/SOFTWARE

En aquest apartat es fa un estudi de les plaques controladores, motors i tipus de llenguatge de programació per tal d'intentar esbrinar la millor solució per al disseny d'aquest prototip.

### 4.1.1 HARDWARE

En aquest apartat i la selecció de hardware, es podria fer un sol volum, ja que es un tema molt extens, amb infinitat de controladors, motors, etc. En aquest apartat ens centrarem amb controladors tipus Arduino, Raspberry Pi, BeagleBone entre d'altres, sense deixar de part els motors, que són imprescindibles també.

#### 4.1.1.1 CONTROLADORS

Per començar, necessitem una sèrie de característiques imprescindibles pel nostre projecte, com són:

- Capacitat de tenir un port sèrie (excloent el sèrie que normalment porten per a la transmissió de dades i/o alimentació).
- Pins analògics per a controlar els motors, ja que la gran majoria dels motors del mercat són analògics.
- Mínim un port USB per poder connectar el *Dongle* USB per a la connexió del dispositiu de captura dels senyals EMG.
- Sistema Operatiu suficientment potent per tal de ser capaç de poder agafar els senyals i en temps real, processar-los i controlar els motors.

Com es pot deduir, amb aquests requisits la cerca de la placa controladora del nostre braç, ja es redueix notablement.

#### 4.1.1.2 ARDUINO

La primera placa que a tothom li passa pel cap quan necessita un controlador semblant al que necessitem, es la ja coneguda Arduino. Es una companyia *Open Source* de hardware i software, que dissenya i manufactura places de desenvolupament digitals interactives que puguin sensar i controlar objectes en el món real. Així es defineixen ells.

Entre moltíssim de models, tenen plaques tal com:

- Arduino Galileo.
- Arduino Uno.
- Arduino Mega.
- Arduino nano.
- Etc.

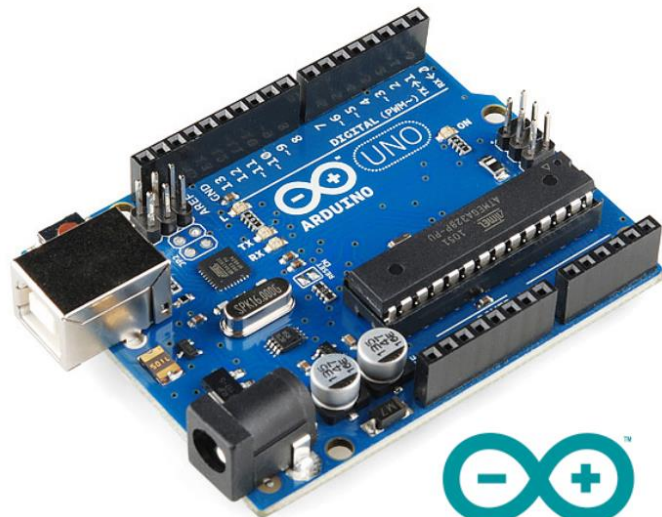
Cal dir que les plaques Arduino, prèviament, no compleixen un dels requisits que és tenir port USB. Té la possibilitat d'afegir-li un *Shield*, que és com anomenen a les plaques que es poden adjuntar a sobre, per tal de ferles compatibles i donar-li més avantatges com:

- Ethernet.
- WiFi.
- Micro SD.
- Control de motors.

#### 4.1.1.2.1.1 ARDUINO UNO

L'Arduino UNO va ser la primera placa que varen treure al mercat, i és la més coneguda i utilitzada. Les seves característiques són:

- Microcontrolador ATmega328.
- ATmega16U2 per el port USB.
- Pins SDA i SCL.
- Tensió d'entrada entre 7 i 12V.
- 14 pins digitals de I/O (6 sortides PWM).
- 32k de memòria Flash.
- Relloige de 16Mhz.

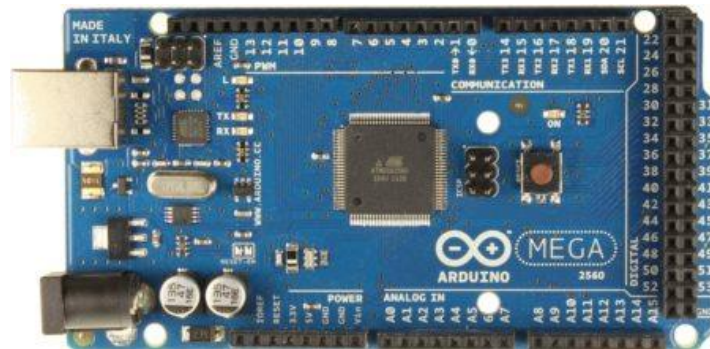


imatge 18: Arduino UNO[12].

#### 4.1.1.2.1.2 ARDUINO MEGA

Aquest Arduino es pot definir com una ampliació del seu “germà petit” l’Arduino UNO, esmentat anteriorment. El que aporta és molta més amplitud de tot, pins digitals, analògics, memòria Flash.

Per tot el restant, és igual que el UNO.



*imatge 19: Arduino MEGA[13].*

#### 4.1.1.2.2 RASPBERRY PI

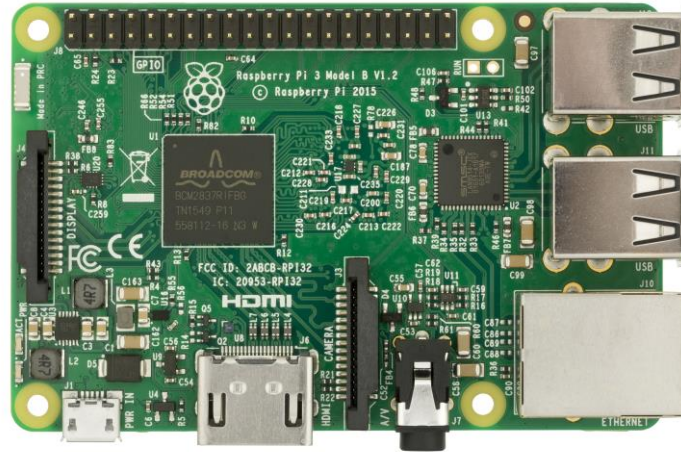
La Raspberry Pi es una placa molt interessant per aquest projecte, ja que compleix tots els requisits menys un, els de pins analògics. Aquest requisit es pot obviar, depenent si els motors elegits són analògics o digitals, cosa de la qual veurem més endavant.

A part d’això, les seves característiques són:

- Sistema Operatiu basant en Linux.
- Chipset Broadcom BCM2387 amb quatre nuclis ARM Cortex-A53 a 1.2Ghz.
- 1Gb de RAM DDR2.
- Ethernet.
- 4 ports USB.
- HDMI.
- GPIO(40 pins, 27 I/O, entre altres com 3,3V , 5V, i GND per alimentació).

Observant aquestes característiques, es pot observar, que més que un microcontrolador, està ja més en l’apartat de Micro Pc.





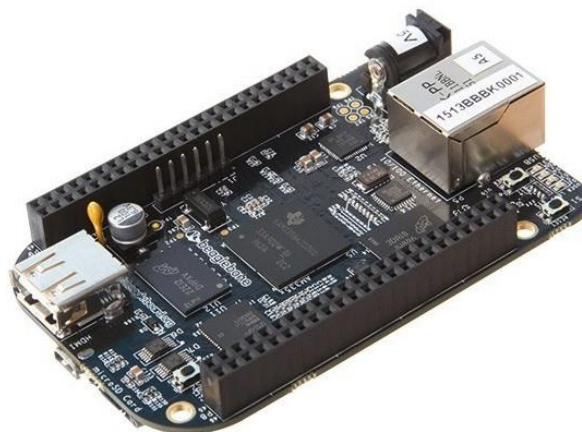
imatge 20: Raspberry Pi 3[14].

#### 4.1.1.2.3 BEAGLEBONE BLACK

Es una placa de hardware lliure, produïda per *Texas Instruments*, dissenyada inicialment per a sistemes educatius, i demostrar el potencial de l'integrat OMAP3530. Les seves principals característiques són:

- AM3359AZCZ100, 1GHz.
- 512Mb de RAM DDR3.
- 2Gb de memòria Flash.
- HDMI.
- Port sèrie via Headers d'expansió.
- Tensió d'alimentació 5V.
- Ethernet.
- Micro SD.
- USB.

Com es pot observar per les seves característiques, compleix tots els requisits, fent-la una molt bona candidata per al projecte.



imatge 21: BeagleBone BLACK[15].



## 4.1.1.2.4 ONION OMEGA 2+

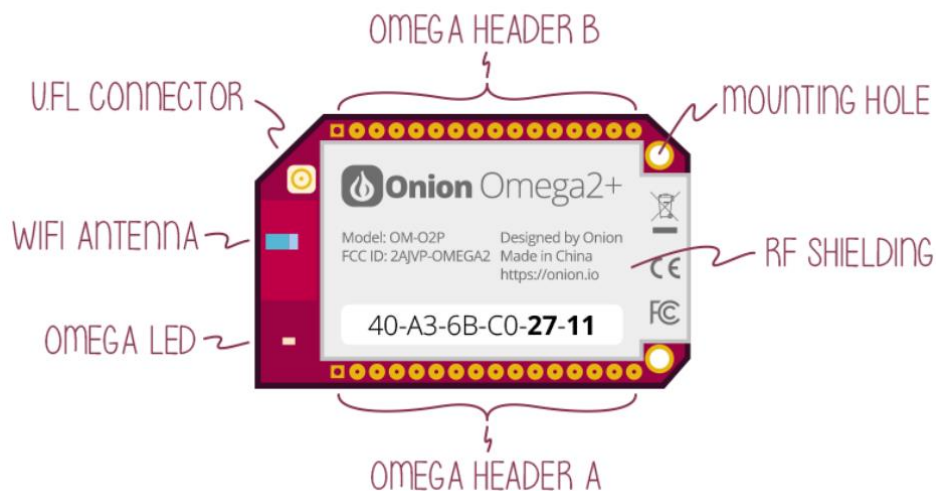
La placa omega 2+, es una placa de la casa ONION. És versàtil i s'adapta plenament amb el projecte. Aquesta adaptació és deguda que inclou:

- Wi-Fi integrat.
- Entrada per targetes Micro SD.
- Sistema operatiu Linux.
- Microprocessador potent.
- Entrada USB.
- Etc.

Aquestes només són característiques a grans trets. A continuació hi ha una taula més detallada sobre les seves característiques tècniques:

OMEGA 2+	
PROCESADOR	580MHz MIPS CPU
MEMÒRIA	128 MB
ENMAGATZEMATGE	32 MB
USB	USB 2.0
RANURA MICROSD	SI
ADAPTADOR WIFI	b/g/n Wi-Fi
GPIO'S	15
PWM	2
UART	2
I2C	1
SPI	1
I2S	1

taula 2: Característiques Omega 2+.



imatge 22: Onion Omega 2+[16].

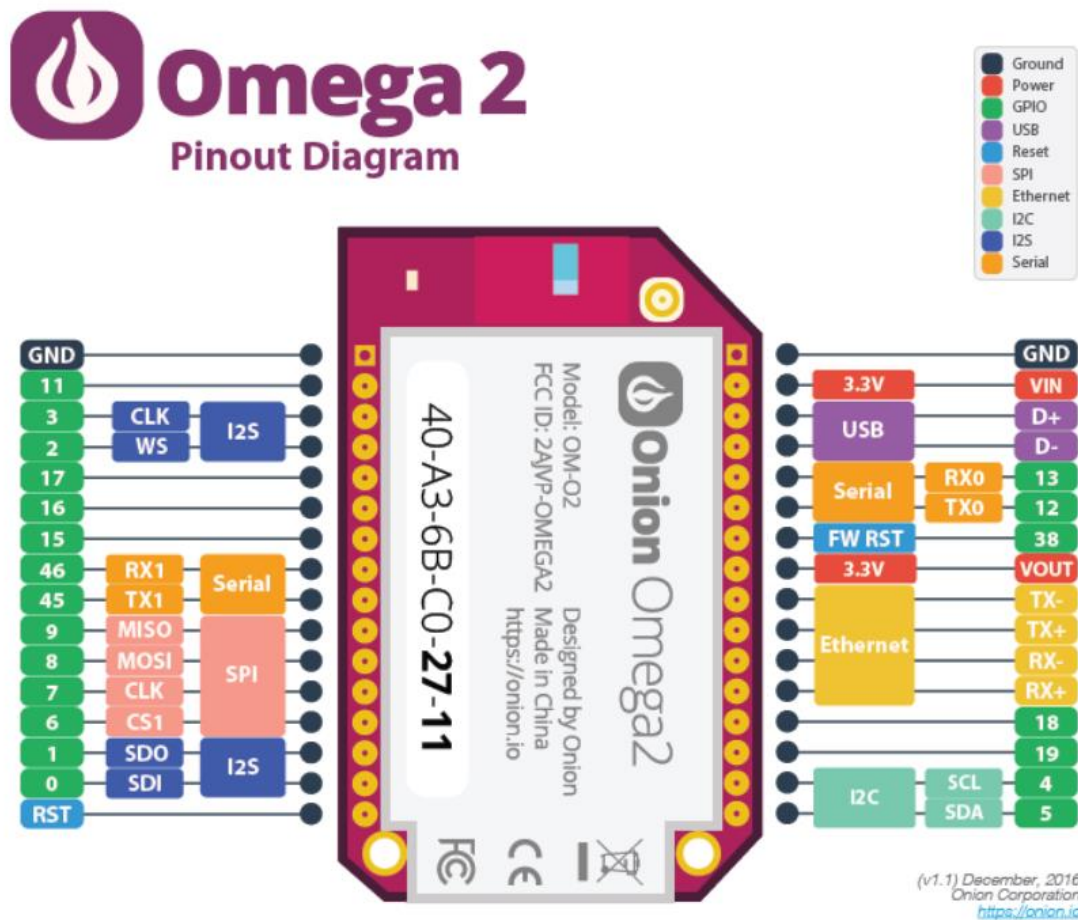
Com es pot observar, s'adapta molt bé al projecte, ja que inclou diversos punts que necessitem implementar i unir amb una sola plataforma per tal d'encastar tot el sistema en un.

El gran avantatge, es tenir sistema Linux (LEDE), una distribució basada en OpenWRT, ja que ens obre moltes possibilitats de control i decisió del llenguatge a utilitzar a l'hora de programar-ho.

L'entrada USB també és imprescindible perquè al tenir la necessitat de captar els senyals EMG des del braçalec, la qual cosa es comunica via BLE (Bluetooth Low Energy) amb un *dongle* USB.

L'altra gran característica i òbviament fonamental, és la capacitat de controlar els motors digitals a través dels GPIO's. Abans de saber quins motors utilitzaríem, una gran llança a favor seria PWM, cosa que obriria molt la porta a trobar el motor que més s'adequés al projecte.

A continuació, tenim una imatge que ens indica la distribució dels pins de la placa:



imatge 23: PINOUT de l placa OMEGA 2+[16].

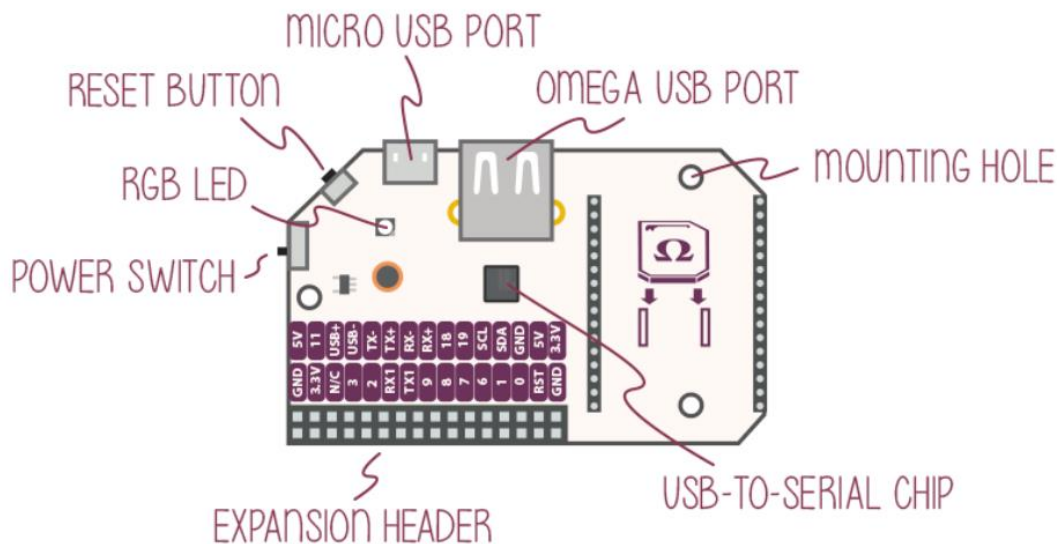
A primera vista es pot observar que per la grandària es bastant reduïda que té (42.9x26.4mm), bastant potent i polivalent, deixant gran pas a infinitat de projectes, sobretot IOT.

A l'hora de començar a programar aquest dispositiu, és necessita un *dock* suplementari. ONION ens proporciona diverses plataformes, o també denominades bases, per tal de poder desenvolupar.

A continuació hi ha algunes d'aquestes bases, que a primera ullada semblen les més interessants per al nostre projecte:

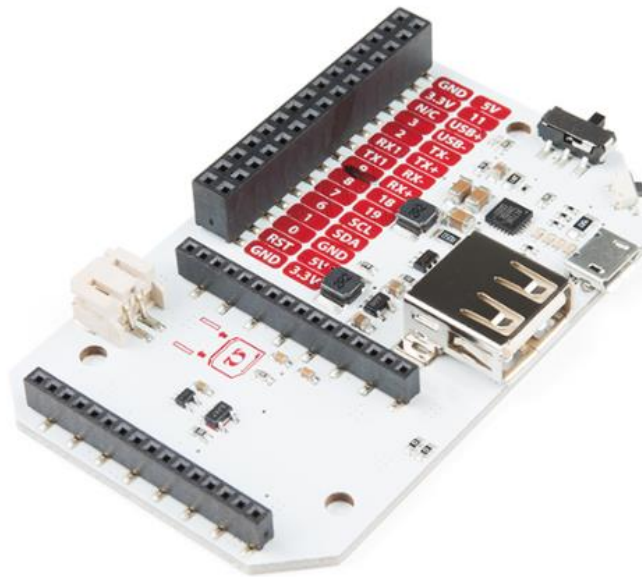
- **Expansion Dock:** és la expansió de l'aplaça, que et proporciona diverses característiques, entre d'altres:
  - Interruptor ON/OFF.
  - Micro USB port, que ens permet la connexió i programació inicial.
  - *Headers* per a la ràpida connexió.

A primera vista, sembla la que més s'adapta al projecte, ja que podem encastar tots els sistemes esmentats anteriorment.



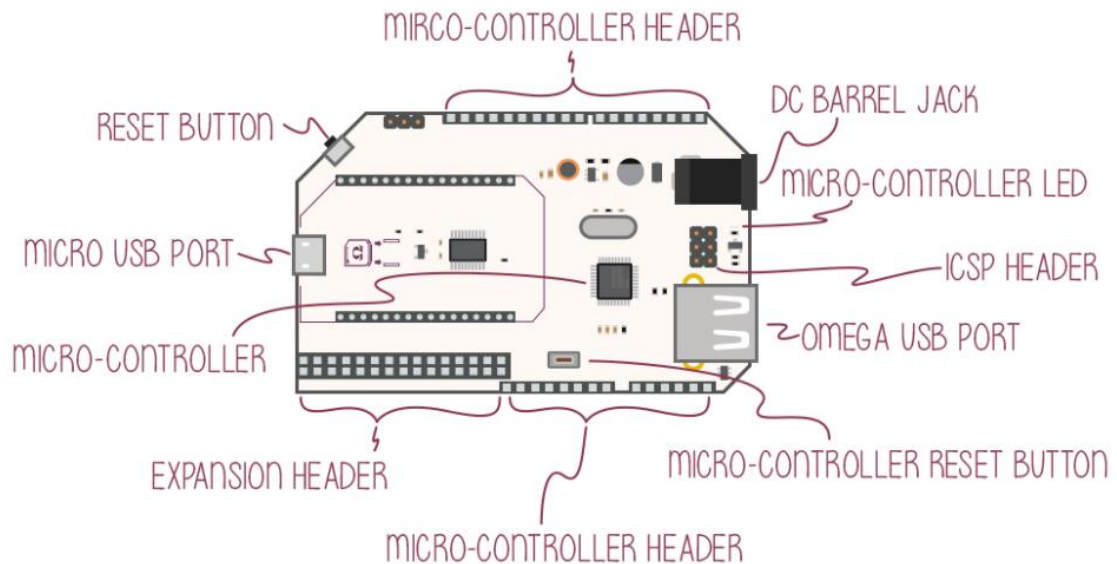
imatge 24: Expansion Dock[17].

- **Power Dock 2:** Aquesta és un altra gran candidata, però amb un inconvenient inicial, el port Micro USB només proporciona punt de càrrega, és a dir, només actua com a font d'alimentació d'entrada, no per transferència de dades. Això implica, que primer has de fer la configuració de la placa contra algun AP (*Acces Point*), per després poder accedir a ella via SSH i tenir internet per instal·lar coses. Per altra banda, el fet de poder incorporar una bateria, amb un carregador via Micro USB, fa que el sistema sigui autònom, la qual cosa és un requisit.



imatge 25: Power dock 2.

- **Arduino Dock 2:** aquesta base, et “converteix” la placa amb un Arduino Uno R3. Instal·lant uns simples paquets al IDE d’ Arduino, ens permet programar-la com si fos un Arduino, o anar més enllà i fer un híbrid dels 2. Pot semblar una solució molt bona, però és preferible fer-ho amb altres llenguatges, ja que et donen més llibertat i potència.



imatge 26: Arduino Dock.[18]

#### 4.1.1.3 MOTORS

Els motors són un altre punt clau del projecte, i la seva elecció crucial per a poder tenir un projecte el més fiable possible. El requisit que inicialment només tenim, és que ha de ser suficientment potent com per poder exercir un gran parell per agafar objectes, el més semblant possible a l'ésser humà.

No ens tanquem a qualsevol tipus de motor, però ens ha de poder donar d'alguna manera el *feedback* de posició. Es necessita afinar bé els moviments de la mà, el més semblant possible a l'ésser humà, i així, que sigui realista.

##### 4.1.1.3.1 SERVOMOTOR MG996 (12Kg)

Es un servomotor bastant simple (com la majoria d'ells), ja que només té 3 pins de connexió:

- V+.
- V-.
- Data.

Aquests motors els controlen mitjançant PWM, però la gran majoria de plataformes ja tenen desenvolupades llibreries que et fan el control. Normalment aquestes llibreries tenen les funcions desenvolupades per poder dir-li una posició on ha de col·locar-se i ell mateix, mitjançant un circuit de llaç tancat es posiciona i aguanta la posició.

Aquest model pot arribar a proporcionar un parell de 12 kgm, gràcies als seus engranatges interns metàl·lics, cosa que ja és bastant elevat, i probablement seran els límits que tindrem que hem d'assolir.



*imatge 27: Servomotor MG996 (12Kg)[19].*

## 4.1.1.3.2 MOTOR (DYNAMIXEL AX-12).

El motor Dynamixel AX-12, de la casa ROBOTIS. Aquest motor té moltíssimes característiques que el col·loquen al davant de la llista de possibles motors, a causa de:

- Porta reducció, ja que necessitem molt parell i no velocitat per realitzar els moviments naturals dels dits.
- Motor digital, cosa que facilita moltes funcionalitats necessàries per poder fer un control més acurat.
- Alta resolució, distribuïda amb 1024 passos.
- *Feedback* que proporciona:
  - Posició angular.
  - Velocitat angular.
  - Carga.
  - Parell.
- Entre altres prestacions.



imatge 28: Motors Dynamixel AX-12[20].

Les especificacions tècniques són les següents:

	AX-12	
<b>PES (G)</b>	55	
<b>RATIO DE REDUCCIÓ D'ENGRANATGE</b>	1/254	
<b>TENSIÓ D'ENTRADA (V)</b>	7V	10V
<b>MÀXIM PARELL FINAL (KGF.CM)</b>	12	16.5
<b>SEC/60°</b>	0.269	0.196

taula 3: Especificacions motor Dynamixel Ax-12.

Altres característiques són:

<b>RESOLUCIÓ</b>	0.35°
<b>ANGLE D'OPERACIÓ</b>	300°
<b>VOLTATGE</b>	7V~10V (recomanat 9.6V)
<b>MAX. CORRENT</b>	900mA
<b>TEMPERATURA D'OPERACIÓ</b>	-5°C ~ 85°C



<b>COMANDAMENT</b>	Paquet Digital
<b>TIPUS DE PROTOCOL</b>	Half Dúplex Sèrie Asíncron
<b>ID</b>	254 ID (0~254)
<b>VELOCITAT DE COMUNICACIÓ</b>	7343bps ~1Mbps
<b>FEEDBACK</b>	Posició, Temperatura, Càrrega, Tensió d'entrada, etc

taula 4: altres característiques motor Dynamixel Ax-12.

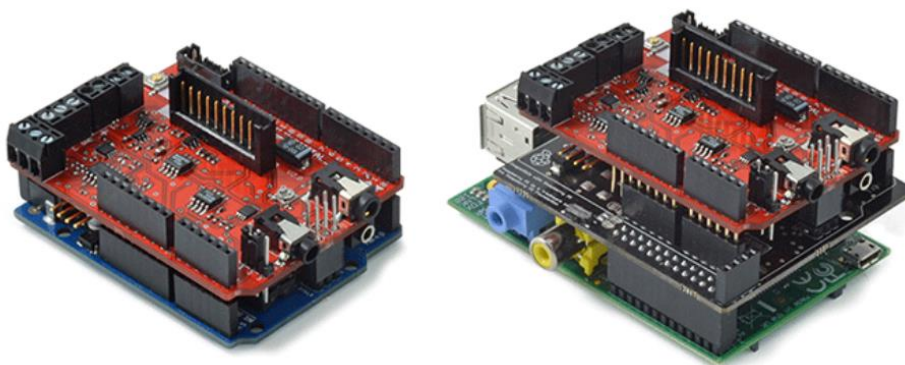
Un altre avantatge molt favorable de cara a l'elecció, és que al ser digital, porta incorporat "intel·ligència", és a dir, electrònica a dintre. Permet connectar-los entre ells en forma de cadena. Permet crear un bus de connexions on es poden anar connectant entre ells, de la qual forma que estalvis molt de cablejat i espai (la qual cosa es un factor molt important en aquest treball), amb una velocitat de comunicacions de fins a 1Mbps.

#### 4.1.1.4 CAPTACIÓ EMG

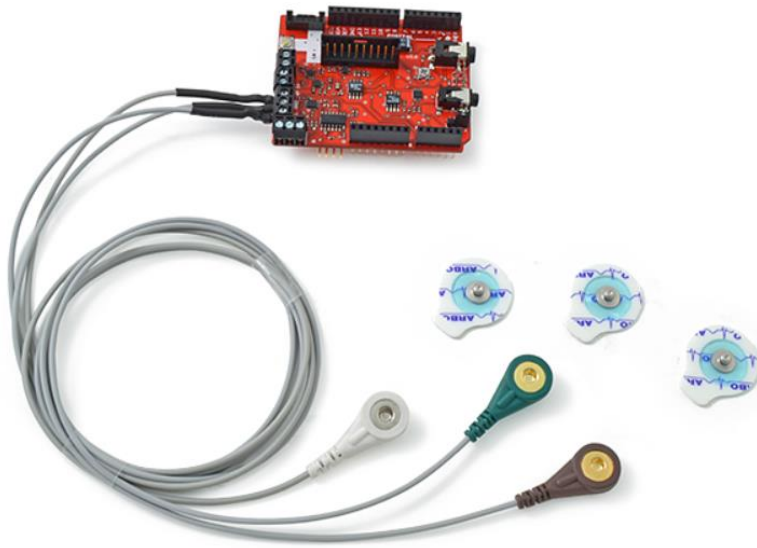
##### 4.1.1.4.1 E-HEALTH SENSOR SHIELD V2.0

e-health Sensor Shield V2.0 de la casa Libelium, permet monitoritzar paràmetres biomèdics, utilitzant 9 sensors diferents, entre un d'ells, el EMG. Es un *shield* per a les plataformes Arduino i Raspberry Pi, que han estat esmentades en apartats anteriors.

Un *shield* es una placa electrònica, compatible amb algun tipus de plataforma, on normalment té les mateixes dimensions, permetent-li una connexió ràpida per a la comunicació, com es pot observar a la foto següent:



imatge 29: E-health Arduino/Raspberry Pi Shield[21].



Com es pot observar a la imatge del costat, els sensors d'EMG és connecten de manera fàcil, per a la rapida captació.

imatge 30: E-Health Shield + Sensors[21].

#### 4.1.1.4.2 THALMIC MYO

El braçalet myo es un dispositiu de captació de moviment mitjançant EMG i giroscopi que et permet prendre el control de diferents perifèrics com podrien ser telèfons mòbils, ordinadors, televisors, sense necessitat de tenir contacte físic.

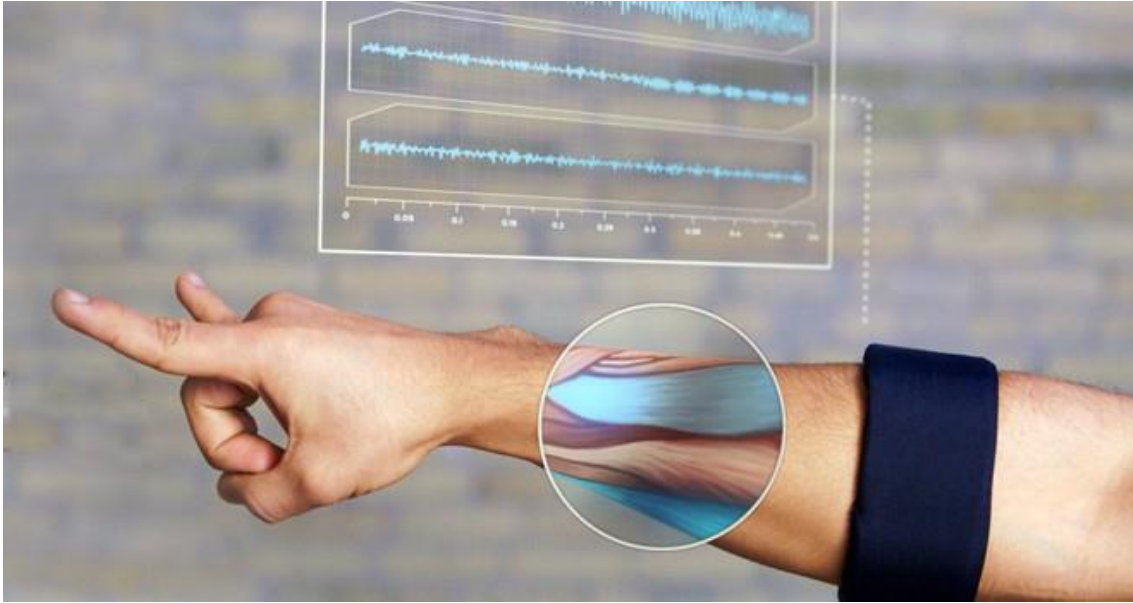
A part de la captació, l'usuari te el *feedback* de quan el braçalet es sincronitza amb ell a través de retroalimentació hàptica (vibracions curtes, mitjanes i llargues, cosa que com prèviament hem esmentat, es un punt necessari per a aquest projecte.



imatge 31:braçalet myo[22].

Amb aquest braçalet, proporcionen unes llibreries amb python, que permeten connectar-te a ell. Així es pot agafar el *raw-data*, o bé amb unes funcions o directament detectar el gest de la mà, cosa que inicialment ens ajudarà molt per entendre el seu funcionament.





imatge 32: braçalet myo 2[22].

#### 4.1.2 SOFTWARE

Els llenguatges de programació és un altre gran factor a tenir en compte, ja que ha d'encaixar (i estar disponible per la plataforma utilitzada). Cal que el llenguatge utilitzat tingui una completa simbiosi amb la plataforma escollida, permetent poder controlar els motors amb algun script i també interactuar i agafar els senyals EMG.

##### 4.1.2.1 JAVASCRIPT

El JavaScript (abreviat comunament com JS), es un llenguatge de programació interpretada. Es defineix[23] com:

“Llenguatge orientat a objectes, basat en prototips, imperatiu i dinàmic.”



imatge 33: logotip JavaScript.

JavaScript es va dissenyar amb una sintaxi similar a C, encara que adopta noms i convencions del llenguatge de programació Java. També es un llenguatge multi plataforma i orientat, es a dir, no es compila per poder executar-se.

#### 4.1.2.2 C++

C++ es un llenguatge dissenyat a mitjans del 1980 amb la intenció d'estendre el llenguatge de programació C amb mecanismes que permetin la manipulació d'objectes, es a dir, un llenguatge híbrid.



*imatge 34: logotip C++[24].*

Actualment existeix un estàndard anomenat ISO C++, que s'han afegit la majoria de fabricants de compiladors moderns, per tal de tenir unes bases ben definides i transparentes.

Una particularitat del C++ es la possibilitat de redefinir els operadors, i poder crear nous tipus que es comportin com a tipus fonamentals.

#### 4.1.2.2.1 PYTHON

Python es un llenguatge de programació desenvolupat a finals dels anys 1980, i que gràcies a les seves característiques es un llenguatge molt conegut en l'actualitat.

La principal fortalesa del Python es el Pseudo-codi. Es pot utilitzar per crear tot tipus de programa, ja siguin programes de propòsit general com desenvolupar pàgines Web.



*imatge 35: logotip python[25].*

També es tracta d'un llenguatge multi-paradigma, ja que suporta orientació a objectes, programació imperativa, i en menor mesura, programació funcional.

Els seus avantatges per utilitzar-ho són:

- FrameWorks de gran utilitat.
- Lliure i de codi obert.
- Gran qualitat i claredat amb la seva sintaxi.
- Tipat dinàmic molt potent.

## 4.2 DISSENY MÀ

Per tal de poder tenir una mà robòtica al nostre gust, es va decidir dissenyar-la des de zero. S'ha basat en un conjunt de diferents tipus de mans, obtingudes amb l'apartat anterior de l'estat de l'art. El següent que es va voler fer, va ser escanejar una mà de veritat, per tenir un disseny el més realista possible. Per tal de portar a terme aquest disseny, s'ha utilitzat un programa d'ordinador que es diu "Meshmixer", del grup Autodesk.

### 4.2.1 ESCANEIG

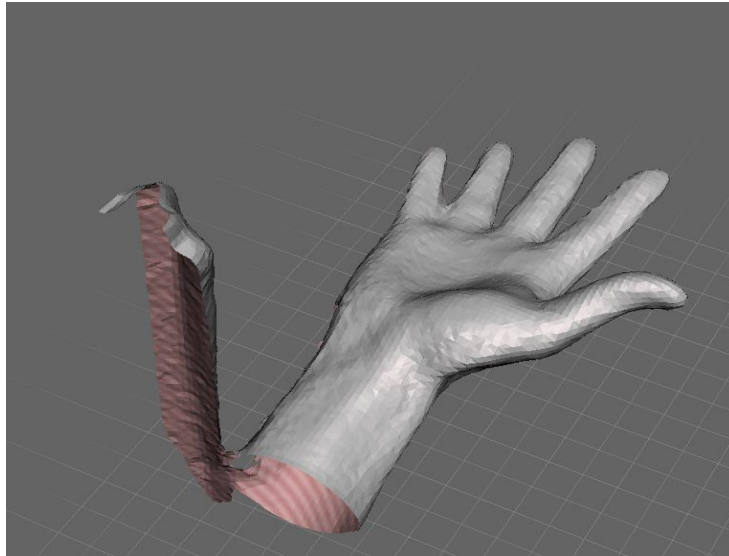
Per poder escanejar la mà, s'ha optat per un escàner 3D, concretament el model 3D escàner de la casa ISense. Aquest accessori està connectat a una tauleta. Amb la mateixa aplicació de l'accessori, s'escaneja tot l'objecte que hi ha dins un cub virtual, fent una sèrie de passades per tal de poder buscar la màxima definició possible[24].



*imatge 36: escàner ISense..*

#### 4.2.2 PROCÉS DE DISSENY

Un cop escanejada la mà, es parteix d'un model que l'anomenarem amb brut amb format .obj.



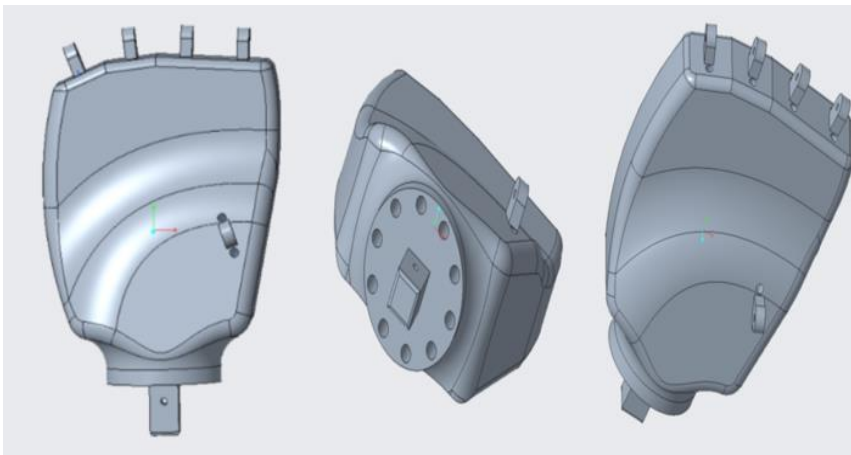
*imatge 37: escaneig amb brut.*

Com es pot observar és una mà encara amb un nivell baix de qualitat, amb part que no ens interessen però amb una forma clara del que és.

Aquest escaneig serveix per observar com és el model en 3D d'una mà real, de la manera que serveixi per començar a treballar disseny des de zero. Després de mirar diferents models, i com es dissenyen les mans robòtiques actualment, s'ha decantant per fer el disseny que hi ha a continuació.

##### 4.2.2.1 PALMA DE LA MÀ

El pas inicial ha estat crear la palma de la mà, ja que com es pot deduir, es la part fonamental d'aquesta part del projecte.



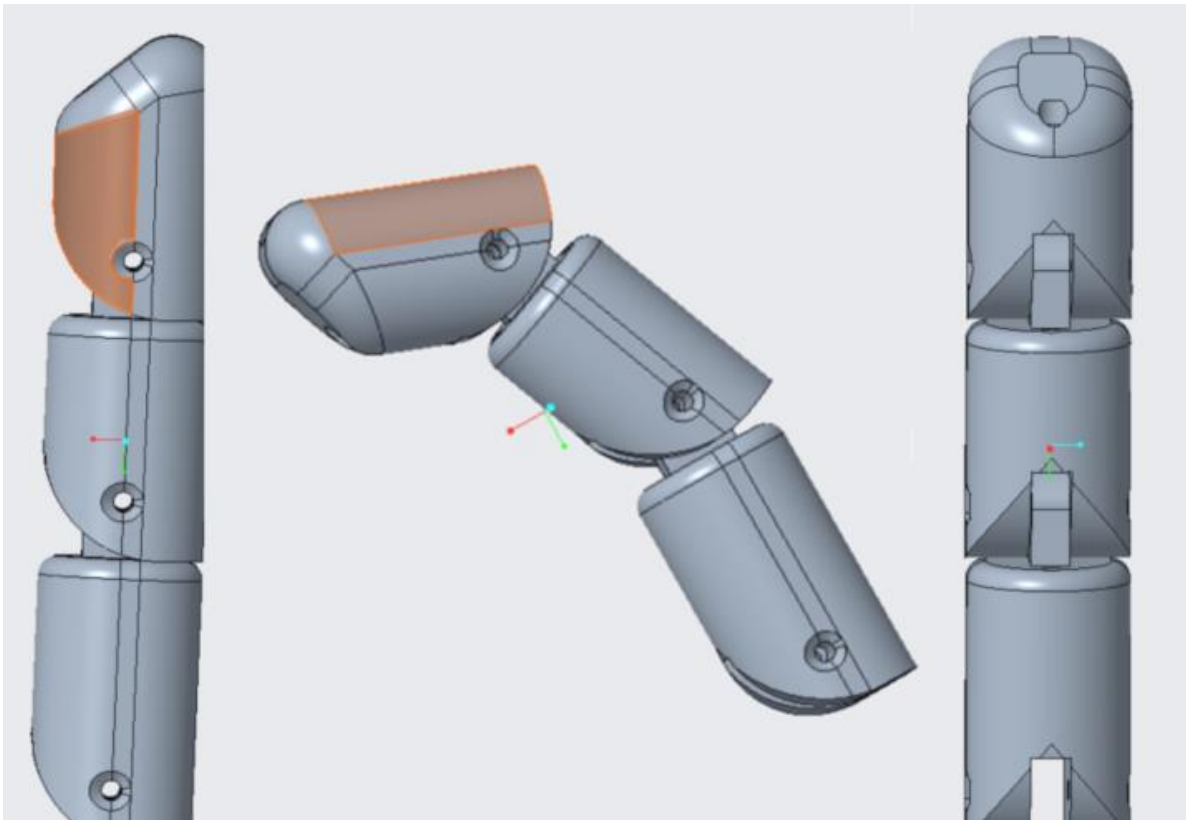
*imatge 38: Conjunt del disseny de la palma de la mà.*

Com es pot observar, és un disseny bastant complexa, ja que al tenir formes arbitràries i poc cubistes, augmenta de forma substantiva el disseny. Les parts que han tingut més complexitat, i no només a l'hora de dissenyar, sinó també de pensar-ho són les unions amb aquestes extremitats, ja que han de fer un treball síncron i alhora encaixar a la perfecció uns amb els altres, sense deixar de banda cap moment l'estètica final.

Més endavant, comentarem la funcionalitat d'aquestes parts, i el motiu dels forats i tubs que hi ha en l'interior.

#### 4.2.2.2 DITS

Com es pot observar a la imatge següent, la forma que tenen els dits són bastant realistes, si en fisonomia d'una mà es refereix. Cada dit consta de les mateixes falanges que el corresponent a una mà humana.



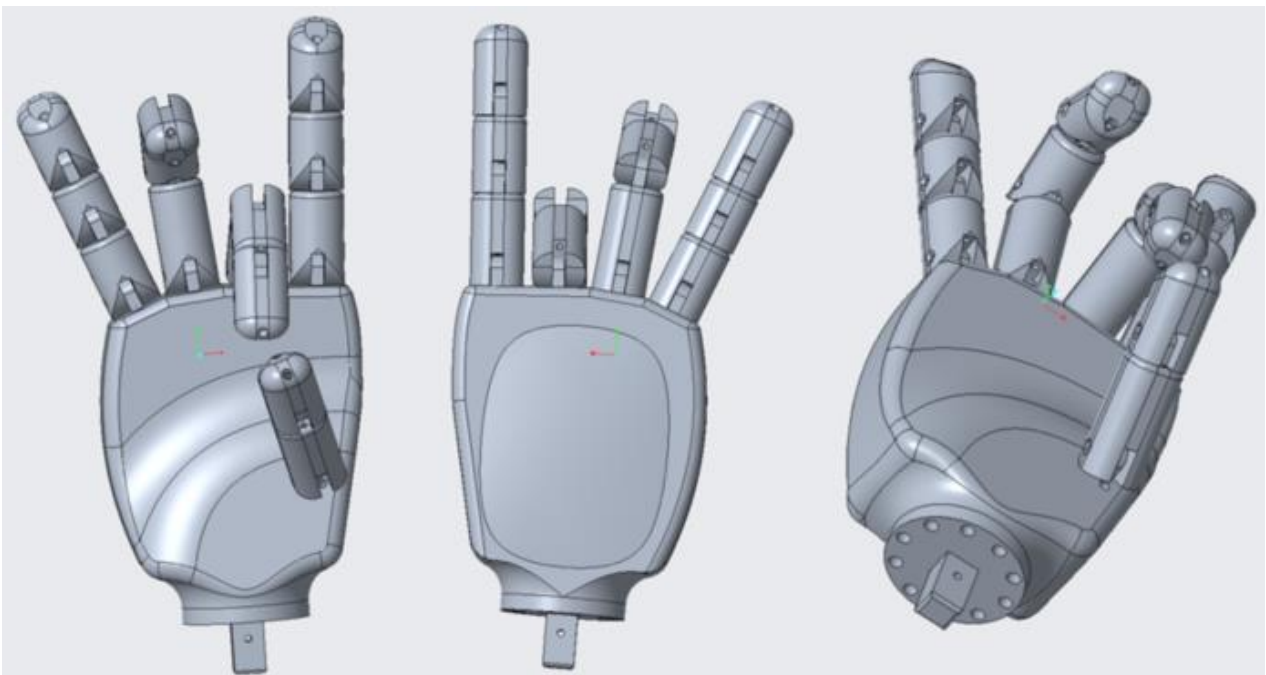
imatge 39: Dits de la mà.

Estan dissenyats sobretot pensant que tinguin la semblança més gran a la naturalitat d'una mà humana, però òbviament que puguin exercir la seva funcionalitat (obrir i tancar) sense cap tipus de problema.

Com es pot observar en la imatge anterior, cada unió de la falange es fa mitjançant un caragol, amb una femella encastada per l'altra banda. Les unions també es veu que tenen una curvatura, per tal de poder donar-li el moviment natural del dit, simplement exercint una força perpendicular.

#### 4.2.2.3 MÀ I EL SEU FUNCIONAMENT

La mà que hi ha continuació, es pot observar ja l'assemblatge de la palma de la mà amb tots els dits. Noteu que no hi ha cap dit igual, cosa que dificulta encara més el seu disseny, ja que totes les parts estan desenvolupades des de zero.



*imatge 40: disseny complert de la mà.*

Quant al disseny, a sota es veu una extrusió que serveix per unir la mà amb l'avantbraç, perquè treballin solidàriament com si fossin una sola peça.

A la part de sota es poden observar 10 forats de  $\varnothing 4\text{mm}$ , perfectament distribuïts al voltant dels 360 graus de la unió, que representa que és el canell. Aquests forats són per al control del moviment de cada dit per separat. S'insereix un fil passant que va fins a la punta del dit, i torna per un altre conducte diferent. Amb el motiu d'aquest disseny, es pot fer un símil amb la manera que utilitza un genet per a la direcció del seu cavall. Per fer que el cap giri (que es pot associar a la punta del nostre dit), d'un costat tiba més la corda, mentre que de l'altre la deixa

anar, permetent així poder agafar la posició que es desitja. I per tornar a la seva posició natural, el mateix procediment però en sentit invers.

El "genet" són uns servomotors, prèviament calculats per tal de poder tenir així la força necessària, i tenir una força similar a la que té un ésser humà.

### 4.3 DISSENY AVANTBRAÇ

Cal dir que en aquest apartat, s'ha fet un esforç extra molt més gran del que inicialment s'esperava per aquest apartat, ja que s'ha arribat a un disseny final, el més realista possible i semblant al de l'un ésser humà, en quant a proporcions es refereix.

Aquesta complexitat resideix en dissenyar totes les peces, perquè encaixin en una mida real, però sobretot el disseny de totes les peces, perquè encaixin entre elles.

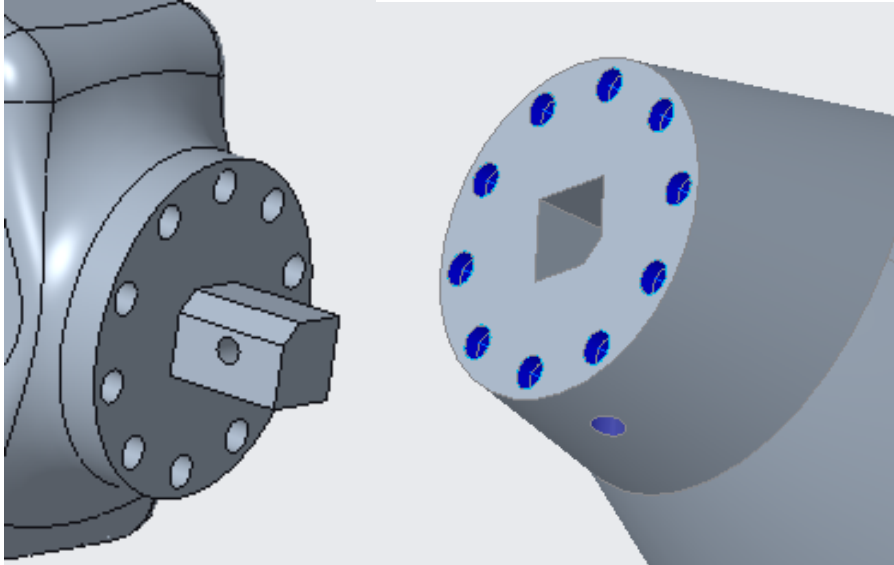
Com s'ha explicat a la introducció d'aquest apartat, la dificultat de cercar i realitzar la unió de totes les peces, ha fet d'aquest punt sigui el que probablement té la dificultat més elevada del projecte.

Aquesta complexitat, inicialment va ser cercar la millor manera de poder ficar els 3 motors necessaris per al realitzar el moviment, dintre de l'espai més reduït possible. A causa de la geometria dels motors utilitzats, s'ha arribat a la conclusió de fer un sistema per tal de fixar-los sense la necessitat de collar-los.

#### 4.3.1 UNIÓ MÀ/AVANTBRAÇ

La unió que s'ha tingut que realitzar per unir la mà amb l'avantbraç ha estat, sense cap tipus de dubte, la peça amb més dificultat.

Aquesta dificultat comença a causa al disseny de la mà, ja que la unió de la mà marca el disseny d'aquesta peça.



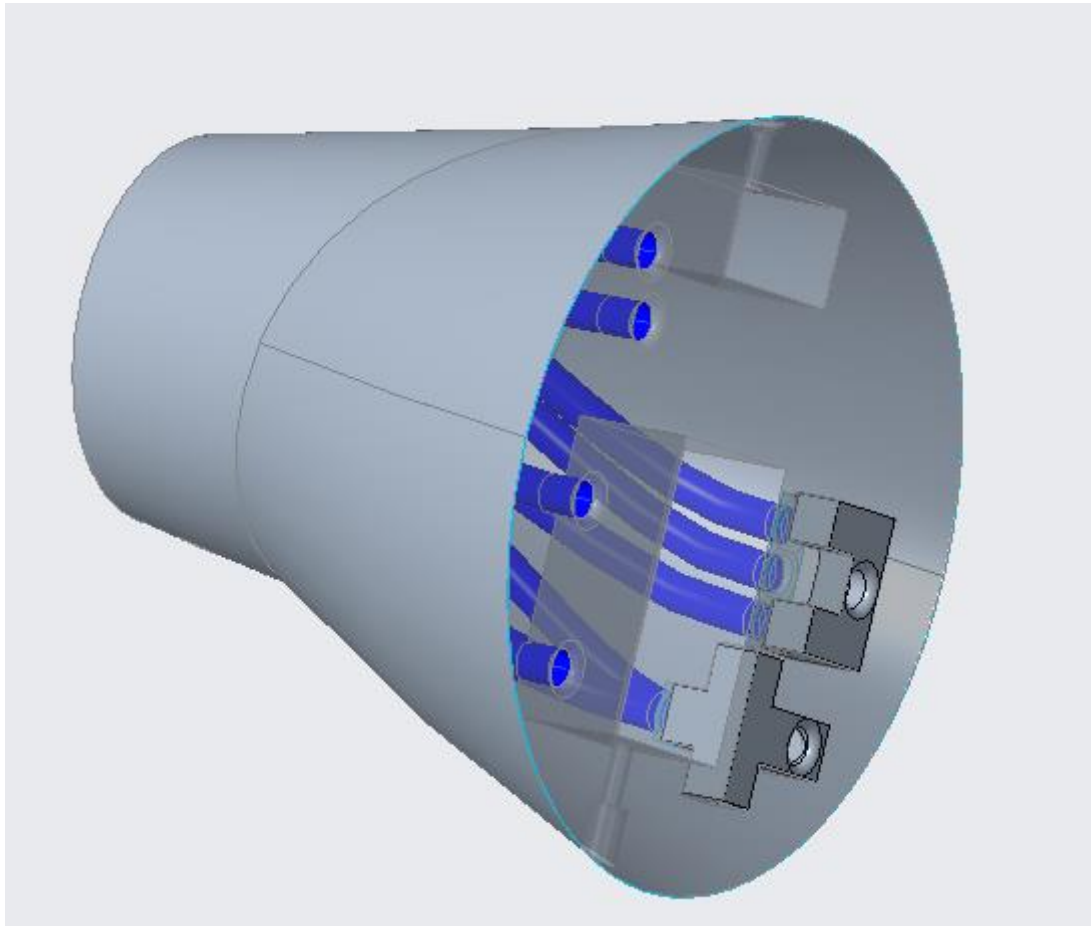
*imatge 41: Unió mà-avantbraç (frontal).*

Com s'observa hi ha una sèrie de 10 forats distribuïts perfectament al llarg dels 360°, que són els que porten els fils que permeten fer el control dels dits.

També s'ha hagut de crear l'extrusió per tal de poder unir la mà amb aquesta peça que es l'inici de l'avantbraç i així poder fixar-los de manera que semblin com si només es una peça. Per fer aquesta unió s'han dissenyat unes peces que perfectament encaixen una dins l'altre (tal com es pot observar en la imatge anterior). Pel fet que no es ben bé simètrica, sinó que té una cantonada retallada, per evitar així que es pugui collar d'una altra manera, que només sigui vàlida la connexió desitjada.

Per altra banda, la gran dificultat resideix a l'interior d'aquesta peça, ja que tots aquests tubs per on passen els fils, s'han de redirigir cap als costats respectivament perquè tinguin una sortida orientada exactament al perfil de la politja que traccionarà d'aquests fils.





*imatge 42: unió mà-avantbraç (posterior).*

Com s'observa en la foto anterior, tots els tubs estan redirigits cap als costats, la qual cosa eleva molt la complexitat. A part del disseny, s'ha depurat molt la forma de crear els tubs, ja que com se sap, el projecte es basa en fer un prototip low-cost amb impressió 3D.

La impressió 3D dóna una sèrie d'avantatges molt gran, però a l'hora, també té unes limitacions molt a tenir en compte. Una d'aquestes, i probablement la més important es la creació de formes geomètricament complexes, on a l'hora d'imprimir-ho sol requerir crear suports. Això, si són suports que estan a l'exterior de la peça, no dóna dificultat, ja que són fàcils de retirar (sense deixar d'oblidar-se que deixen una marca distinta en la superfície impresa). El principal problema està si, a dintre de la peça hi ha cavitats i el software de la impressora (que es qui et generà els suports, ja que depèn molt del tipus d'impressió, material, etc...) et fica suports.

A causa de tot l'esmentat anteriorment, els tubs passant per dintre la peça s'han fet, i refet fins a poder tenir una forma "dolça", es a dir, que vaguin agafant curvatura de mica en mica. Fet que així el programa no generi cap suport a dintre, i així poder imprimir la peça correctament, i el més important, es que pels tubs passi el fil correctament.

Per acabar l'explicació del disseny d'aquesta peça, 6 dels 10 tubs, al fer que 3 dits vaguin units entre ells amb el mateix moviment, s'han d'unificar en una sola sortida. El problema, es el mateix esmentat abans dels suports, afegint que s'han de collar els 3 fils junts. Com s'observa en la imatge anterior, s'ha arribat a la conclusió que el millor era crear dues peces, que vaguin encastades a dintre, per tal d'unificar-ho amb l'avantatge que a l'hora de construir-ho fa que es

puguin passar els fils i després encastar-la. També a l'hora d'imprimir-ho no ens crearà suports, ja que aquest, era un punt crític.

#### 4.3.2 SUPORT MOTORS

Si es parla purament i estrictament del disseny d'aquesta peça, es podria dir que la complexitat es molt baixa, ja que es un subconjunt de peces amb geometries bastant quadriculades.

Per altra banda, si es mira des del punt de vista del disseny, la dificultat per arribar a la solució final es bastant elevada. Per començar, cal parlar dels motors i la seva forma, per poder entendre en millor la manera el motiu d'aquesta solució, i perquè ha estat la més adequada per al projecte.



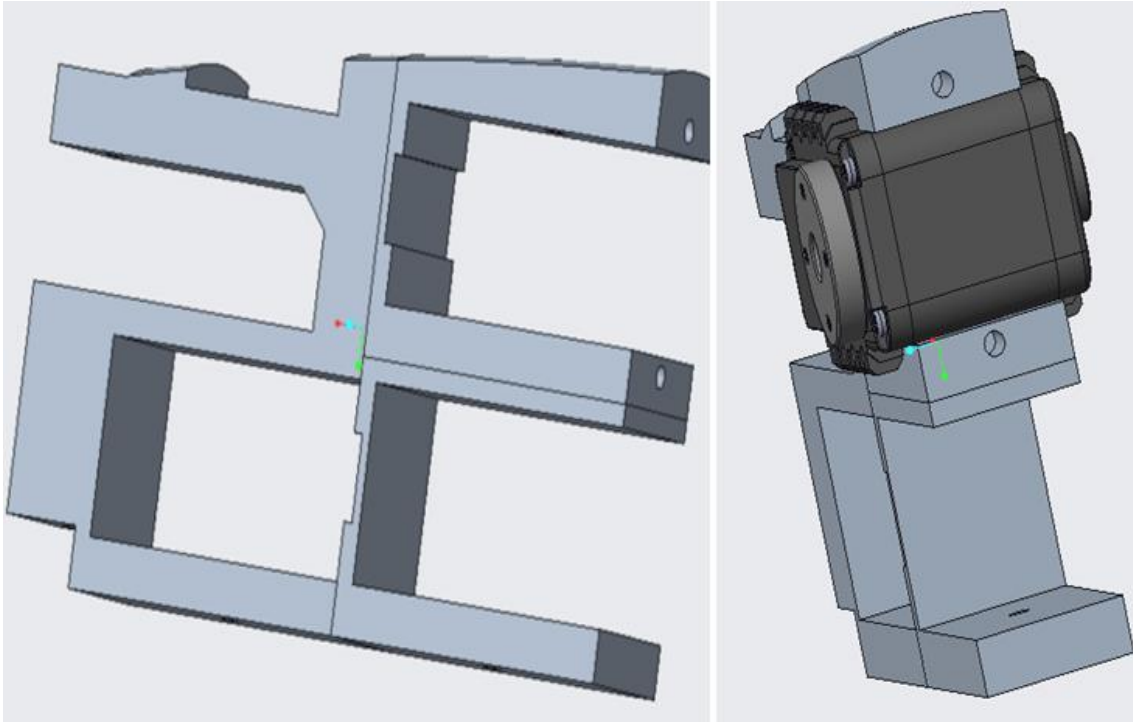
*imatge 43: geometria motor Dynamixel ax-12.*

Com s'observa, els motors tenen una forma rectangular, però amb unes extrusions que sobresurten per a cada lateral pel fet de si es vol collar contra alguna superfície.

El nostre sistema utilitza aquestes protuberàncies per fer el contrari, poder passar-les dintre d'una peça i així limitar el moviment en els 3 eixos (X,Y,Z) sense la necessitat de fixar-los mitjançant cap caragol.

Un cop entès la forma dels motors, es més fàcil explicar la solució final per aquest problema. Aquesta solució passa per crear les peces per fer l'encaix dels motors, amb les restriccions de mida que tenim a causa de la forma de l'avantbraç si es vol que sigui el més real possible.

Com s'observa en la imatge posterior del subconjunt d'unió dels motors, probablement sigui la millor opció, ja que per la morfologia de l'avantbraç en forma aproximada de "con", és la manera més òptima d'ajuntar-los amb el menor espai possible, dintre de les dimensions marcades. També remarcar que s'ha optat per aquesta opció, ja que als motors han d'anar acoblades unes politges per poder tibar dels fils, que marquen la direcció que han d'anar els motors en funció de l'avantbraç i de la peça esmentada en l'anterior punt d'aquest apartat.

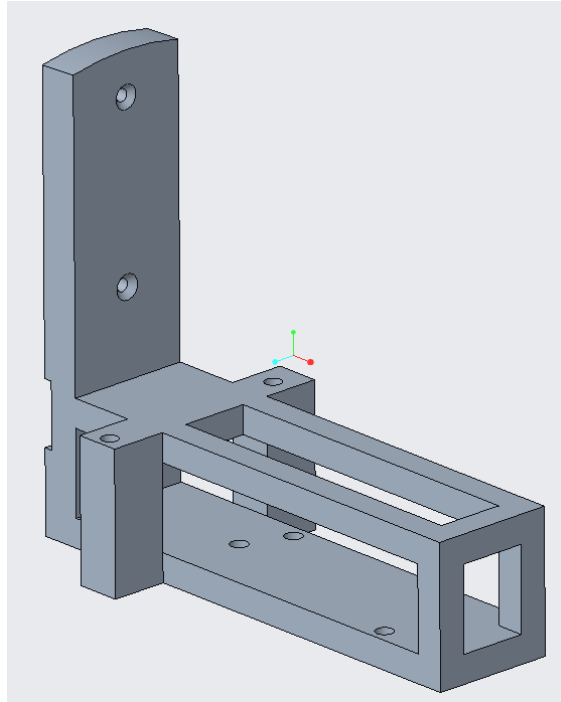


*imatge 44: suports motors (1).*

Com s'observa en la imatge anterior (esquerra), hi ha les 3 cavitats, una per a cada motor, on aniran passats i així limitats al seu moviment. En la imatge anterior (dreta), es veu com un dels motors està posicionant en el seu lloc corresponent.

### 4.3.3 SUPORT ELECTRÒNICA

El suport de l'electrònica va en concordança amb els punts anteriors, concretament amb l'últim. La peça que s'encarrega de la unió de l'electrònica també es l'encarregada de limitar els moviments dels dos motors que estan en la part més endarrerida de l'avantbraç.



*imatge 45: suport electrònica.*

Com s'observa en la imatge anterior, la peça fa dues funcions clares:

- Tapa per a la total fixació dels motors.
- Suport per la placa electrònica i regulador de tensió.

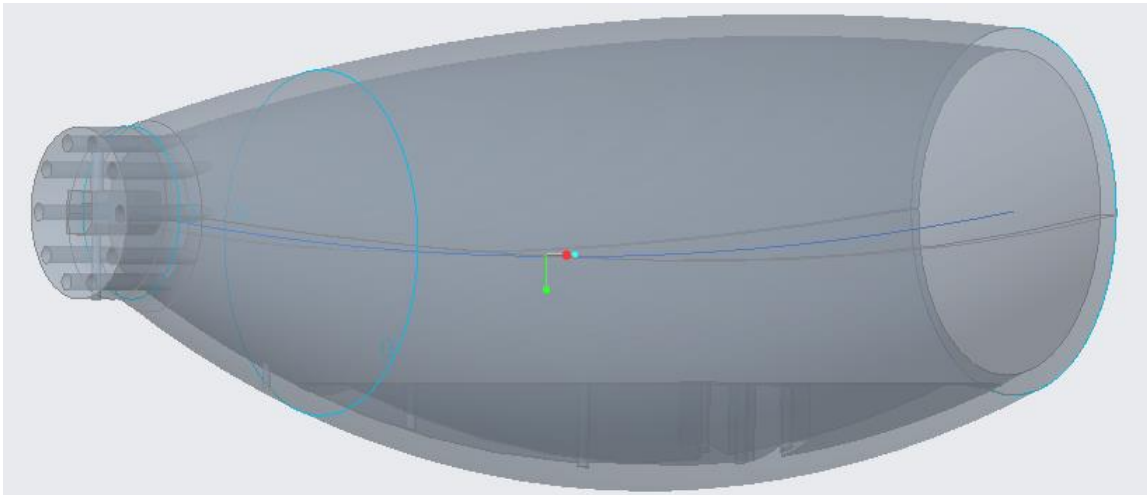
Es pot apreciar que al replà on va col·locada la placa Onion Omega 2+, es creen unes protuberàncies en forma de "T", que és on van col·locats perfectament els dos forats que porta la placa per a la seva fixació.

A sota de la placa controladora, també es pot observar la cavitat on hi ha el regulador de tensió "Step-Down". Aquest regulador es per baixar la tensió que proporciona la bateria, per així poder baixar a la tensió que necessita la placa controladora per funcionar.

#### 4.3.4 CARCASSA EXTERIOR

La carcassa exterior es pot dir que es l'element que li dóna més realisme a n'aquest projecte (amb el permís de la mà). S'ha intentat, amb les dimensions reals com està comentat a la introducció d'aquest apartat [4], i no només les dimensions sinó també de donar-li la forma més realista possible, la qual cosa ha extremadament complicat.

En la següent imatge es pot observar la primera peça, amb dimensions reals que s'ha dissenyat.



imatge 46: avantbraç(1).

Es pot veure que la forma s'hi assembla bastant, i es molt realista. Ara bé, això no es el disseny final, ja que aquesta peça genera un gran problema, que es que tot el comentat anteriorment de les peces. Aquest problema es d'introduir i poder muntar a dintre l'avantbraç totes els peces anteriors, i com es més que obvi, així com està no es pot fer.

En funció de com ha evolucionat el disseny dels suports dels motors, electrònica i la unió de la mà, finalment la opció més adequada que es va trobar, va ser dividir la peça de l'avantbraç, o pròpiament dit també com a carcassa, en tres peces diferents. Amb la "filosofia" utilitzada anteriorment en el disseny (unir-ho tot com si d'un "Puzzle" es tractés), també ha estat utilitzada en aquesta part. Com es veu en l'apartat anterior on s'explica els suports dels motors, es pot observar que per alt i per sota hi ha uns forats que precisament són per a la unió d'aquestes peces, fet del qual es perfecte, ja que ens proporciona tot el que volíem:

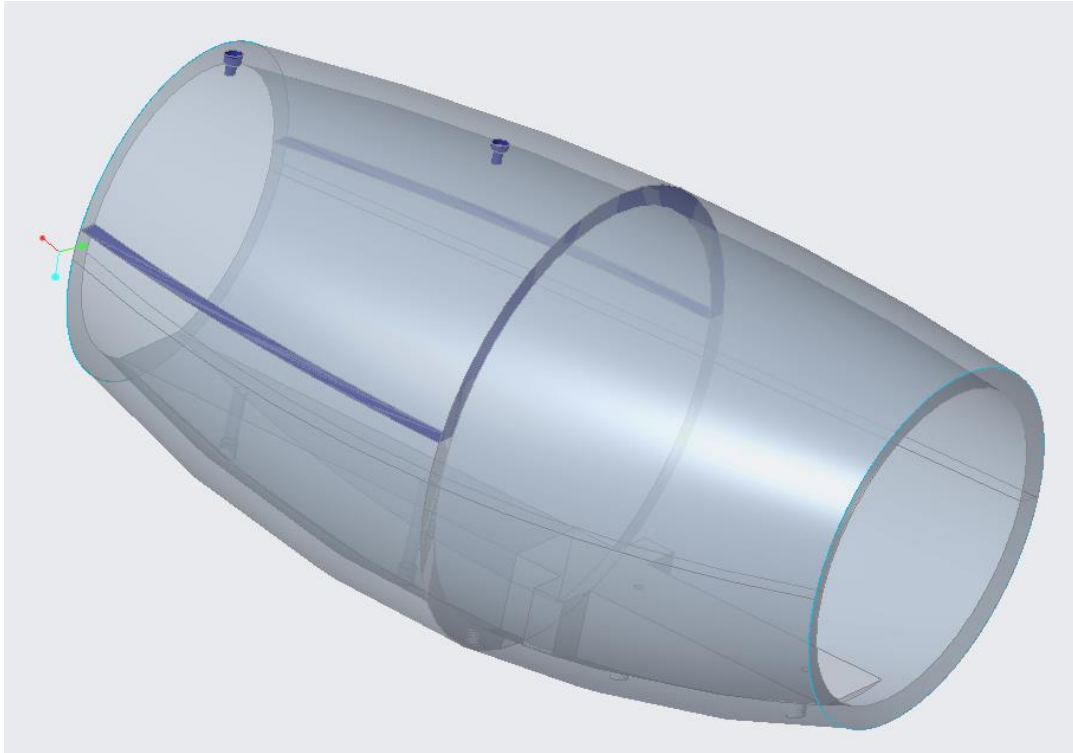
- Poder treure-les per muntar i retocar els fils de dintre.
- Un cop ficades, que donin l'aspecte realista que es buscava des de un inici.

Com s'observa en les imatges posteriors, la solució ha estat en dividir-ho en tres peces independents. Això es a causa del fet que es divideix amb les dues parts de:

- Motors.
- Electrònica.

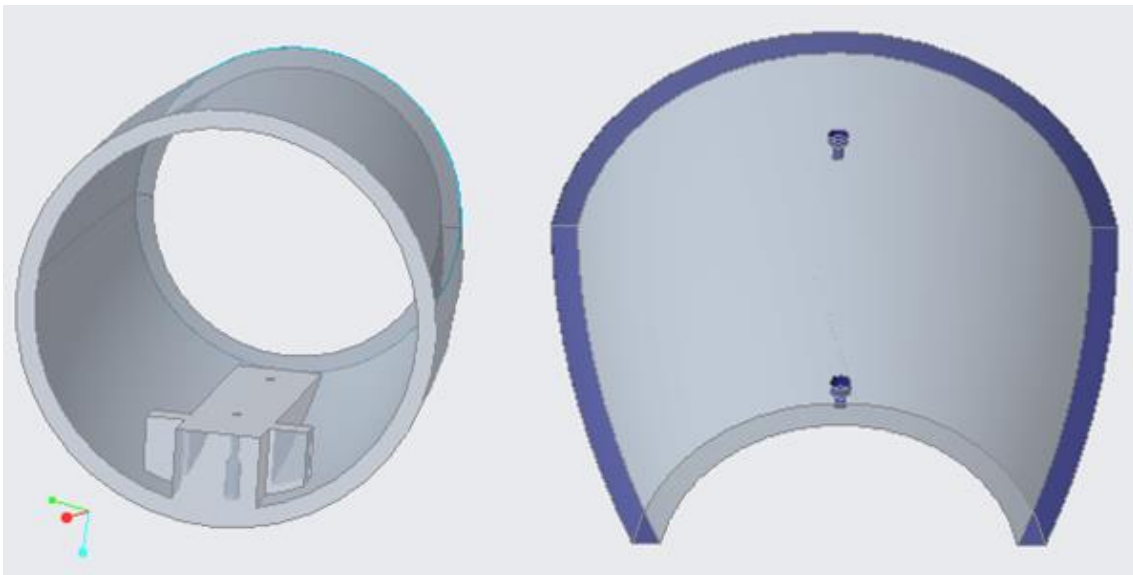
La part dels motors s'ha dividit en dues peces, ja que en anar-se reduint geomètricament la forma, era impossible que encaixàs com si es tractés d'un tub.

Respecte a la part de l'electrònica, sí que ha estat possible fer-ho amb una sola peça, precisament pel motiu contrari, ja que la forma es va engrandint i ens permet introduir-la sencera.

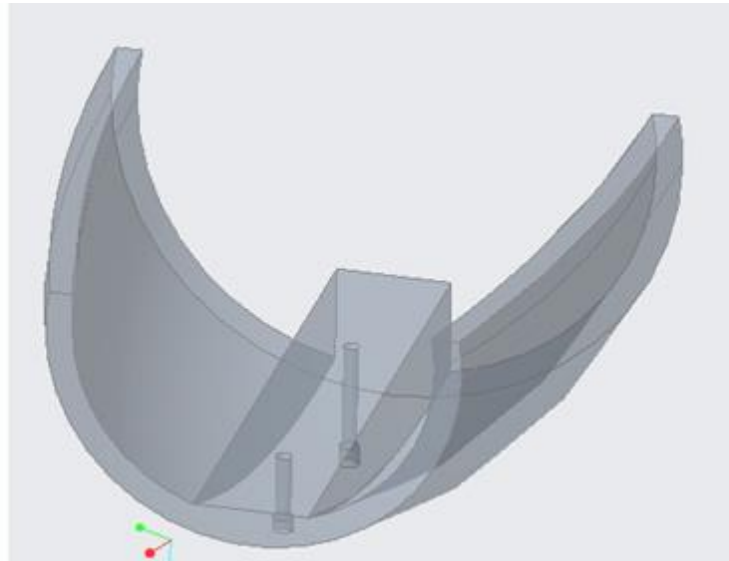


*imatge 47: subconjunt de les carcasses exteriors(1).*

Tal com es pot observar i tal com s'ha mencionat anteriorment, tota la carcassa es pot muntar i desmuntar molt fàcilment, ja que per nu prototip que es molt necessari muntar-ho i desmuntar-ho molts cops, facilita molt aquestes tasques.



*imatge 48: subconjunt de les carcasses exteriors(3).*



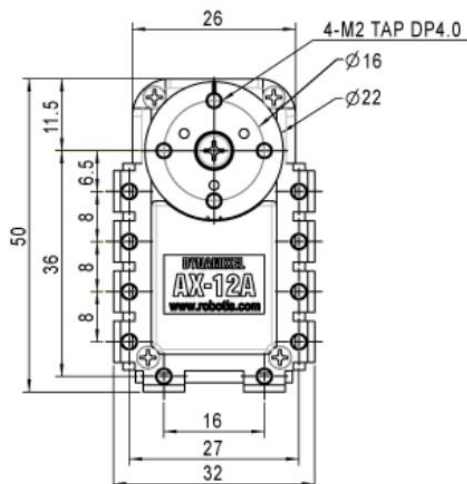
imatge 49: subconjunt de les carcasses exteriors(3).

#### 4.3.5 POLITJA

El disseny de la politja, principalment es basa en dos aspectes fonamentals:

- Diàmetre necessari per a poder recollir i estendre tot el fil necessari.
- Forma del motor per tal de poder collar-lo a ell.

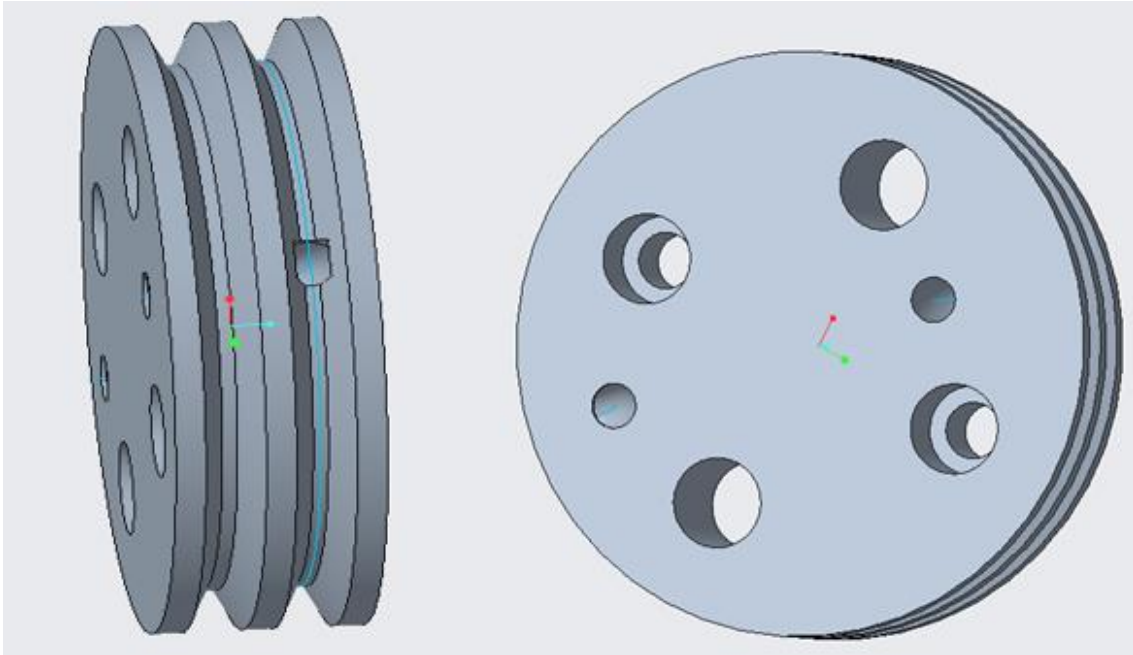
Com bé s'explica en els punts anteriors, el disseny no es el més complicat del projecte, però es una part clau per a ell.



imatge 50: dimensions del motor AX-12[20].

Com s'observa en les dimensions de la part rotativa del motor, la forma de la politja ens ve marcada per al diàmetre de 16 mm, ja que necessitem mínim fer dues extrusions passant per tal de poder collar la politja al motor.

Tal com s'observa en la imatge posterior, s'ha optat per collar la politja al motor amb 2 cargols de 2 mm, i poder collar el fil a la politja amb 2 cargols més de 3 mm, gràcies a una femella encastada. El diàmetre de la politja exterior es de 26 mm.



*imatge 51: disseny 3D de la Politja .*

Cal remarcar que la cavitat on s'enrotlla el fil, se l'ha donat forma de con perquè sigui molt més fàcil enrotllar-lo i evitar que es pugui sortir el fil.

#### 4.4 ASSAIG/CÀLCUL PARELL NECESSÀRI I DIMENSIONAMENT

L'objectiu d'aquest apartat és saber la força necessària, que ha de tenir la mà robòtica per poder agafar objectes quotidians. Per tal de poder esbrinar la força necessària, s'ha fet una petita modificació de la mà. També s'ha desenvolupat un prototip que permet agafar objectes, podent aplicar la força fins que l'objecte estigui suficientment agafat.



#### 4.4.1 PROTOTIP DE MESURA/BANC D'ASSAIG

Com anteriorment està citat, s'ha desenvolupat una variant del disseny preliminar de la mà, per tal de poder calcular els kg necessaris. A continuació es pot veure un conjunt d'imatges del prototip per portar aquesta prova a terme.



*imatge 52: Prototip de mesura.*

Com es pot observar en la imatge anterior, és quasi el disseny complet de la mà, però amb la part central reduïda, amb l'únic propòsit d'estalviar material a l'hora d'imprimir-ho.

El funcionament d'aquest prototip, és relativament senzill, ja que es basa amb ficar l'estructura amb posició vertical, com es pot observar en la imatge següent.

Així, d'aquesta manera es pot aplicar una força vertical sobre una bàscula (prèviament tarada amb el nostre banc d'assaig) i així poder mesurar els kg de força necessària per agafar cada objecte. Finalment es preten extreure conclusions i saber la força necessària que necessiten els motors per agafar els objectes.



*imatge 53: Posició per mesurar.*

#### 4.4.2 ASSAIG AMB DIFERENTS OBJECTES

Aquest assaig està destinat, sobretot al dimensionament dels motors. S'ha optat per imprimir un primer prototip de la mà, i així aquesta prova poder assemblar-se el més possible a la vida real i quotidiana.

##### 4.4.2.1 ASSAIG 0: LONGITUD DEL RECORREGUT DEL FIL

La primera prova que es porta a terme ha estat mesurar la longitud necessària dels fils. Aquesta longitud es la que els motors han de ser capaços de recollir/desplegar per tal de realitzar tot el moviment. Aquest moviment es des de la mà completament oberta fins al tancament complet.

El resultat ha estat que la mà ha de ser capaç de recollir 35 mm.

##### 4.4.2.2 ASSAIG 1: TANCAR EN BUIT

Aquesta prova es per mesurar la força necessària per a obrir/tancar la mà sense cap objecte, simplement amb la pròpia resistència que té la mà per la fricció entre els diferents components que componen cada moviment.

El resultat d'aquesta prova va ser de 1 kg de força necessària per a poder exercir el moviment amb buit.

#### 4.4.2.3 ASSAIG 2: AGAFAR UN GOT/AMPOLLA DE PLÀSTIC BUIT

Aquesta prova, com es una mica d'esperar, ha donat quasi el mateix resultat de kg que tancar en buit, uns 1,1 kg. El motiu es que la resistència que ofereix un got de plàstic buit, o una ampolla buida és molt baixa.



*imatge 54:Subjecció got/ampolla buit/buida.*

#### 4.4.2.4 ASSAIG 3: PILOTA ANTI-ESTRÈS D'ESPUMA

Aquesta prova ja marcarà uns resultats més vàlids i que aportin més informació de la força total de tancament que s'ha d'aconseguir finalment a la mà robòtica, ja que per deformar-la s'ha d'aplicar una força bastant elevada.

El resultat, ja va ser molt més notable, per exemple, que amb l'ampolla en buit, ja que els kg ens varen donar entre 6-7 kg, depenent de la deformació que es vulgui arribar. A continuació es pot observar un conjunt de 3 imatges fent la prova 3:



imatge 55: Força necessària per agafar bolla anit-estrès.

#### 4.4.2.5 AMPOLLA DE 500mL PLENA

La darrera prova que s'ha realitzat ha estat agafar l'ampolla anteriorment esmentada a la prova 1, però en aquest cas, plena d'aigua. És a dir, la força necessària per poder agafar-la i mantenir-la dins la mà tancada, sense que rellisqui.

Aquesta prova dóna un resultat d'uns 12 kg, que és una força molt considerable, ja que la mida dels motors no pot ser gaire gran. Aquesta mida es a causa de l'espai reduït que tenim per encapsular tots els components, que com és lògic ha d'anar dintre de l'avantbraç.

#### 4.4.2.6 CONCLUSIONS ASSAIG DE FORÇA

A primera vista, el que sorprèn es la força necessària, o kg que pot arribar a fer una mà humana. Aquesta força no pot ser replicada per la mà robòtica, ja que no hi ha espai/material que permeti portar-ho a terme.

El que sí que s'ha deduït es que amb uns 12 kg aproximadament es pot tenir i exercir una força més que considerable, per tal de poder agafar la majoria d'objectes de la vida quotidiana d'una persona.

A continuació hi ha una taula comparativa de les diferents proves que s'han fet, amb els seus resultats corresponents:

Nº PROVA	0	1	2	3	4
<b>OBJECTE</b>	RECORREGUT FIL	TANCAR EN BUIIT	GOT/AMPOLLA BUIIT/BUIDA	PILOTA ANTI-ESTRÈS	AMPOLLA PLENA
<b>RESULTAT</b>	35	1	1,1	6-7	12
<b>UNITAT MESURA</b>	mm	kg	kg	kg	kg

taula 5: taula comparativa assajos de força.

Com s'aprecia a la prova hi ha molta diferència d'agafar un objecte en buit, a un objecte quotidià, com per exemple una ampolla de 500 ml plena d'aigua.

Cal afegir que un dels problemes que fan incrementar notablement la força per agafar un objecte, és la capacitat de fricció que té el plàstic utilitzat per imprimir la mà. És a dir, al ser plàstic amb plàstic (ja sigui PLA, ABS...), la fricció que hi ha entre la mà i l'objecte és molt baixa, i provoca que rellisquin molts els objectes. Aquest fet provoca que s'hagi d'aplicar una força més elevada per deformar una mica l'objecte per així poder agafar-lo correctament. Això es pot intentar solucionar, ja sigui ficant un guant, imprimint les falanges amb material flexible que simuli la pell humana... però és un tema que es resoldrà més endavant en el apartat de millores, ja que pel funcionament inicial de la mà, no afecta greument.

#### 4.4.3 DIMENSIONAMENT DELS MOTORS

L'apartat de dimensionament dels motors es la demostració de l'apartat anterior, es a dir, tal com ja s'ha explicat anteriorment. Per dimensionar els motors es va optar per la construcció d'un banc d'assaig per tal de poder agafar diferents objectes i poder determinar la força de tancada necessària. D'aquesta manera, es demostra teòricament com les mesures i conclusions extretes de l'apartat anterior són vàlides i correctes.

Tal com es pot veure en l'annex[27] s'han realitzat els DSL (Diagrama de Sòlid Lliure) corresponents de l'objecte. Aquest objecte es una ampolla d'aigua de 500 mL, que es el lliandar màxim. S'ha agafat aquest objecte per poder fer els càlculs pertinents (demostrats en l'annex[27]) i així poder fer la relació i demostració.

Com es pot observar en la taula[27] següent, es una demostració del parell necessari per agafar l'ampolla amb diferents forces de deformació:

FORÇA DEFORMACIÓ( $F_{DEF}$ )[KG]	FORÇA DEFORMACIÓ( $F_{DEF}$ )[N]	PARELL NECESSARI(TM)[NM]	TREBALL MOTOR[%]
0,1	0,981	<b>0,5524</b>	34,3
2,4	23,544	<b>0,8062</b>	50,1
3,9	38,259	<b>0,9717</b>	60,4
5,3	51,993	<b>1,1262</b>	70,0
6,9	66,708	<b>1,2918</b>	80,2
8,3	81,423	<b>1,4573</b>	90,5
9,7	95,1570	<b>1,6118</b>	100,1

Es veu que el parell mínim per tancar i començar a agafar un objecte es de **0,5524** Nm, i la força màxima de deformació que es pot aplicar es de 9,7Kg aproximadament, ja que com es pot veure, correspon al 100% de treball de motor, que significa que no pot proporcionar més parell.

## 4.5 ELECTRÒNICA

Aquest projecte, com es obvi, la principal dificultat i volum de feina es bassa en el disseny, però no menys important es l'electrònica que porta, ja que per molt ben dissenyat que estigui, sense el control pertinent, no serveix de res. Per tal de poder buscar l'electrònica i/o dimensionar-la, primer s'ha de fer un disseny previ per poder fer algunes proves empíriques com de les que s'han fet prèviament.

Per explicar quina es la electrònica, primer cal especificar quins components principals que s'han utilitzat:

- Controlador: Onion Omega 2+.
- Motors: Dynamixel AX-12.
- Drivers motors:
  - 74HCT125.
  - 74HCT126.
- Thalmic MYO.

Com ja s'ha explicat prèviament en altres apartats d'aquest treball, l' electrònica es pot dividir en tres parts:

- Captació del senyal EMG.
- Controlador.
- Motors i Drivers.

### 4.5.1 THALMIC MYO

El sistema de captació del senyal electromiogràfic es el thalmic myo. Per totes les característiques que té, s'ha seleccionat aquest dispositiu per fer la captació del EMG.

Aquest dispositiu s'enllaça mitjançant un *dongle* Bluetooth contra la placa controladora i així permet l'intercanvi bidireccional de la informació. Cal remarcar que simplement cal connectar el *dongle* USB contra el port USB de la placa controladora per tal que ja es pugui començar a utilitzar.





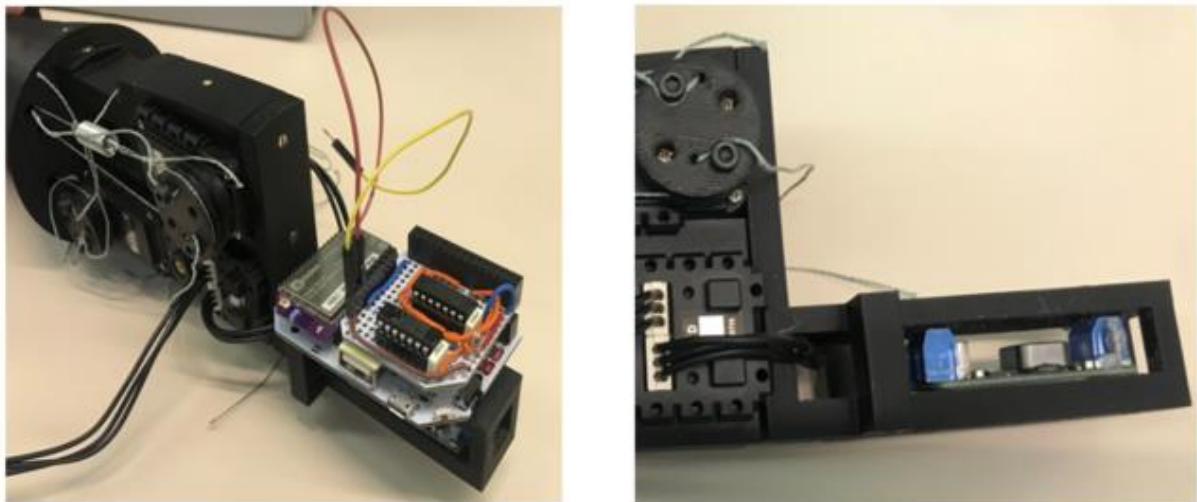
*imatge 56: Thalmic MYO.*

#### 4.5.2 CONTROLADOR

El controlador triat per aquest projecte, es el **Onion Omega 2+**. S'ha elegit aquest per les prestacions que ens pot proporcionar que encaixen perfectament amb les necessitats del projecte.

Aquest controlador amb combinació de la placa **Power Dock2**, fa que sigui probablement el més ideal per al projecte Hand Robotic Sensitive a dia d'avui.

Pel que fa al disseny, les dimensions de la placa s'adapta perfectament. El conjunt de tot el prototip s'ha aconseguit que sigui a mida real i d'aquesta manera seguir amb les premisses que s'han nomenat infinites vegades en aquest projecte. Com es pot observar en la següent imatge, la placa queda perfectament col·locada en l'avantbraç.



*imatge 57: placa controladora muntada i lloc on es munta a l'avantbraç.*

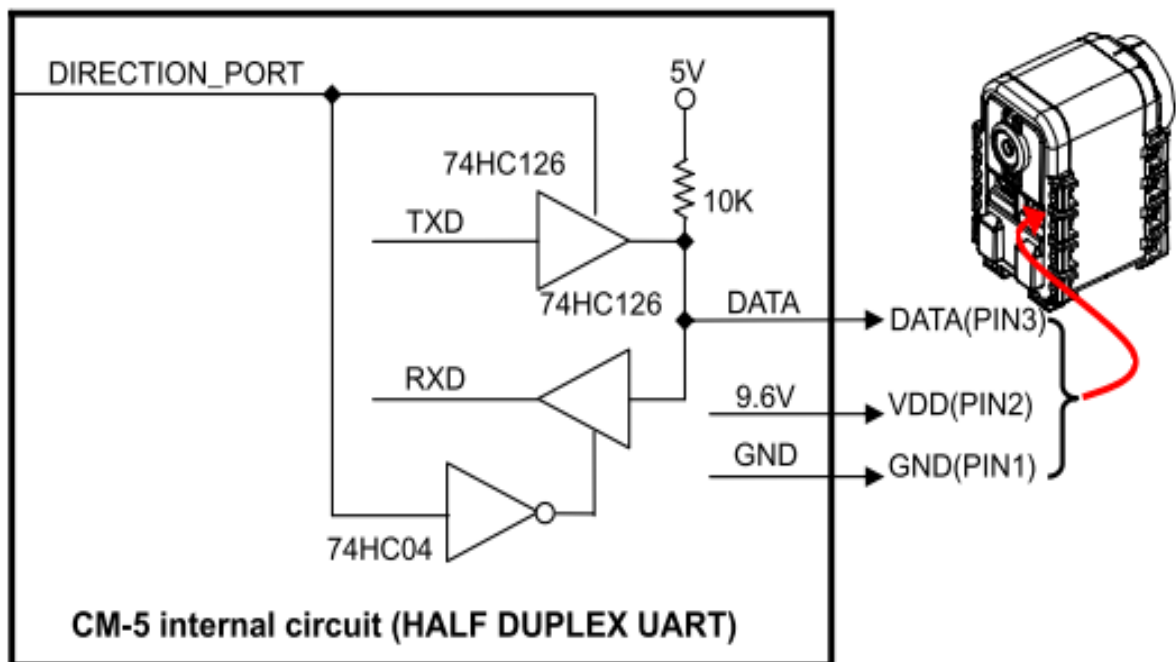
Tal com es pot observar en la imatge superior, a sobre la placa controladora hi ha un *shield*, que és una placa universal de la mateixa marca que la placa controladora. La mida es exactament igual i els pins per unir-les també. A aquesta placa s'hi ha muntat el circuit electrònic, o com també explicarem a aquest projecte, els drivers per controlar els motors[4.5.3].

#### 4.5.3 DRIVERS MOTORS

Els drivers dels motors (també dit el circuit electrònic que permet que control dels motors) ha portat més feina del que pugui semblar mirant l'esquema. Aquesta complexitat ha radicat sobretot amb la tecnologia dels integrats que hem tingut que fer servir. També s'han tingut problemes amb les tensions de treball de tot el circuit.

Prèviament a explicar aquest apartat, el motiu de tota aquesta electrònica de control es la comunicació Half Dúplex Sèrie Asíncron amb el que funcionen els motors.

Tal com ens aconsella el *datasheet* dels motors, aquest és l'esquema necessari per al seu control:



*imatge 58: esquema de control dels motors[20].*

Com es pot observar en la imatge anterior, es necessiten dos integrats:

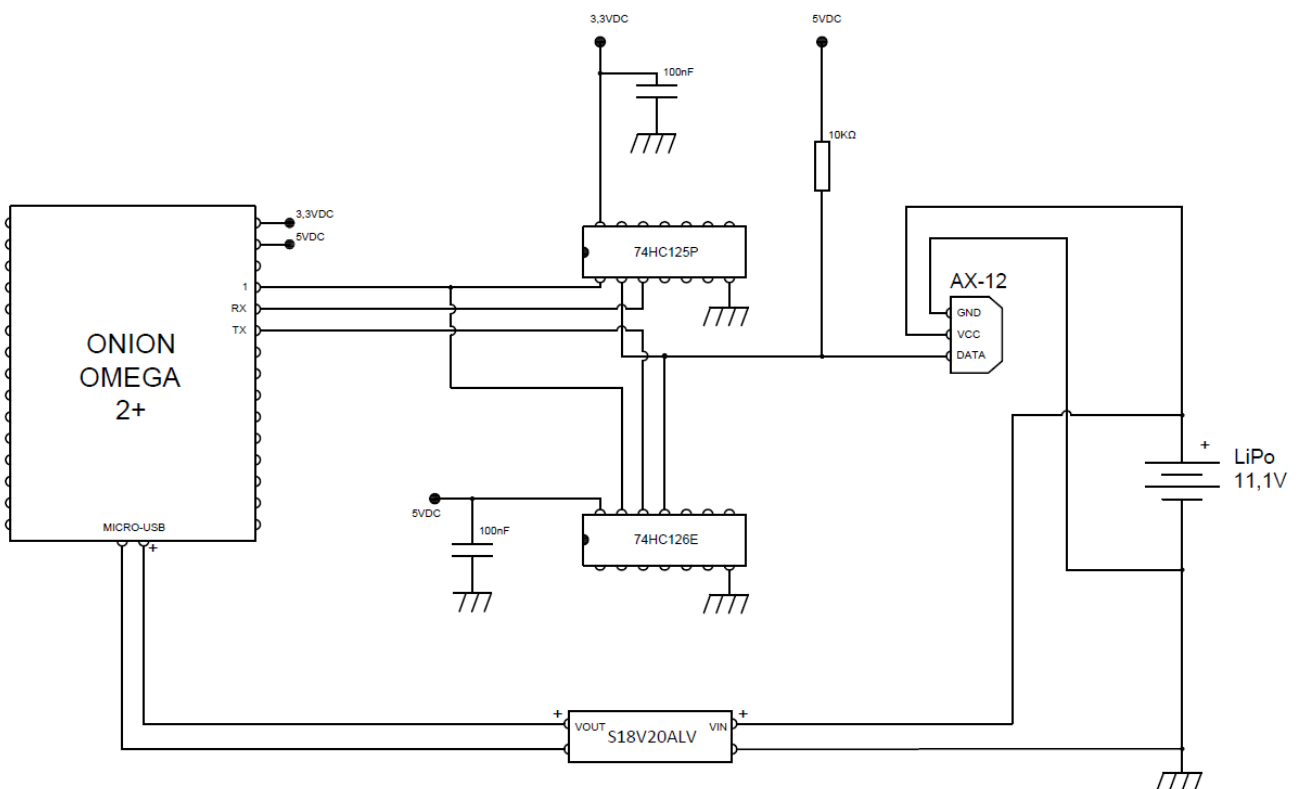
- 74HC126: buffer independent que proporciona 3 sortides.
- 74HC04: inversor lògic.



El buffer (74HC126) es pot dir que es la clau del circuit, ja que serveix per a poder commutar el RX/TX (lectura/escriptura) i així poder treballar amb la comunicació que s'ha esmentat anteriorment. Com es pot veure en l'esquema anterior i posterior, el circuit es connecta a la placa controladora per les dades amb tres pins:

- TX.
- RX.
- Direcció de la comunicació.

Aquest circuit s'ha desenvolupat degut a un problema de tensions. El problema es que la placa controladora funciona a 3,3V i el controlador dels motors a nivells TTL (5Vdc), tenint així que adaptar tensions. Com que els integrats disporen (tensió mínima admissible) a 3,1V[26] i poden suportar (tensió màxima admissible) fins a 6V[26], fa que s'adaptin les tensions de la comunicació.



imatge 59: esquema elèctric.

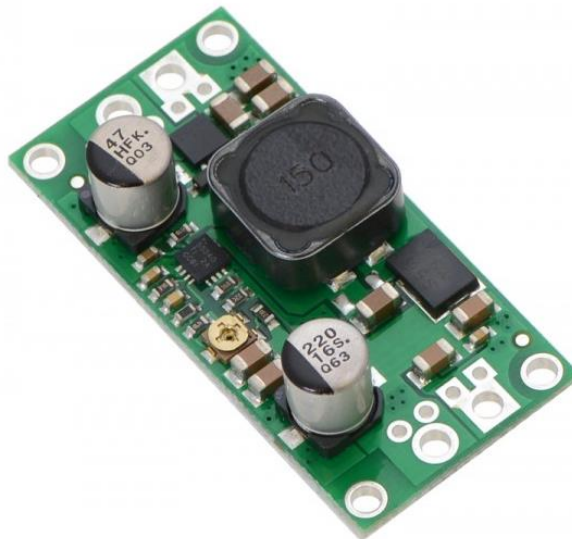
Els pins RX/TX (lectura/escriptura) queda clar el que fan. El problema ha estat el pin que estableix la direcció de la comunicació on s'ha trobat el problema de la tecnologia dels integrats (també el problema d'adaptació de tensions). El problema surgeix amb el BaudRate necessari per al control dels motors ja que les freqüències que treballen han de ser compatibles, tant els motors com la placa controladora.

Els motors per defecte venen configurats a 1Mbps de BaudRate, i per això, abans que puguin funcionar amb el software que s'utilitza, cal fer un petit script de python on es configuri la seva velocitat (amb una sèrie de comandes concretes). Cal ficar la seva velocitat a 500000bps, que es la màxima velocitat que pot aconseguir el binomi de placa controladora i els motors.

#### 4.5.4 REGULADOR DE TENSIÓ

Pel que fa el regulador de tensió, al final s'ha optat per un regulador de tensió "step-up/step-down", ja que proporciona una varietat de tensions d'entrada i sortida. Entre d'altres, les característiques d'aquest regulador són:

- Voltatge d'entrada: 2.9-32 VDC.
- Voltatge de sortida: 4-12VDC.
- Corrent màxima de sortida: 2A.
- Eficiència: 80-90%.
- Dimensions: 43 × 21 × 10 mm.



imatge 60: regulador de tensió S18V20ALV.

La regulació de tensió es fa mitjançant un petit potenciòmetre, la qual cosa permet ajustar la tensió de sortida amb la precisió de dècimes de Volts.

## 5 CONSTRUCCIÓ MÀ ROBÒTICA

En aquest apartat s'explica com es desenvolupa la construcció/assemlatge de tota la part mecànica, és a dir, l'encaix final de tots els elements físics per crear la mà robòtica. La construcció ha portat bastanta feina, ja que com es pot apreciar, té una quantitat de peces bastant elevada.

### 5.1 ASSAMBLATGE

En aquest apartat, s'explicarà, però sobretot es demostrarà gràficament com són les peces reals ja muntades, podent veure com el disseny, passa del món virtual a la realitat, i entendre de millor manera el motiu pel qual s'han dissenyat totes les peces així.

#### 5.1.1 DITS

Per la unió dels dits s'ha optat un sistema d'eixos passants per tal d'unir les diferents falanges. Es un sistema bastant obvi i bàsic, però el més robust i eficient pel funcionament inicial que es pretenia abordar.

L'eix d'unió és un cargol de 2 mm de diàmetre, amb una llargada de 16 mm.



*imatge 61: imatge lateral dels dits.*

Com s'observa en la imatge a l'esquerra, cada falange es unida amb la seva posterior, fins a arribar a la palma de la mà, on de la mateixa manera que els dits, s'uneix per formar el conjunt.

Cada dit està collat de la mateixa forma que la detallada anteriorment.

El cargol es colla amb una femella encastada al altre costat. En hi ha de 2 tipus:

- Normal de 2mm.
- Encastada de 2mm.

### 5.1.2 MÀ

La mà, per contradictori que sembli, es la part més fàcil d'unir. Això es a causa del fet que, seguint la mateixa filosofia d'unió dels dits, simplement és tracta d'unir-los mitjançant un caragol passador.

Per la part que fa de la unió de la palma de la mà amb l'avantbraç, s'ha creat una peça d'unió que va encastada dintre la palma, amb un caragol passant per la fàcil connexió/desconnexió de les dues parts, com ja s'ha explicat anteriorment al apartat de disseny d'aquests dos elements.



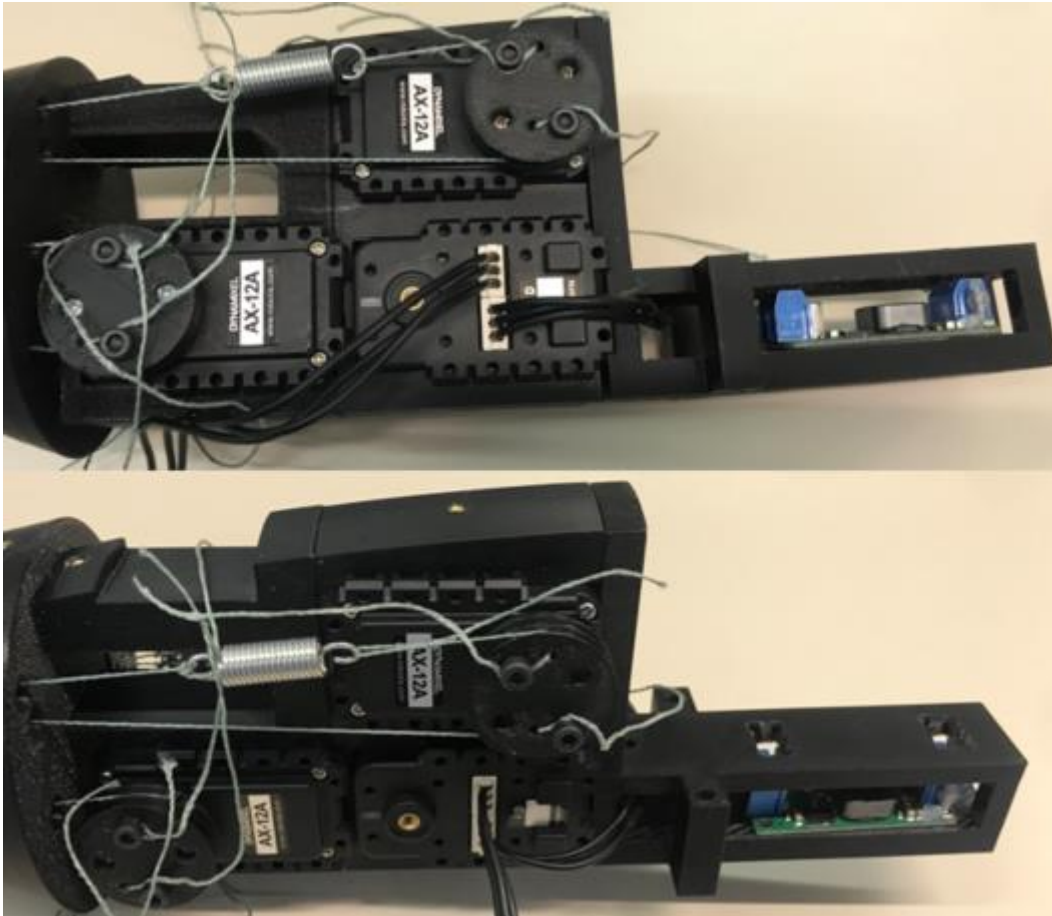
*imatge 62: mà assemblada amb els dits.*

Com s'observa, un cop assemblat la mà amb els dits, queda amb una forma i aspecte molt realista, sense deixar de banda que es un prototip d'una pròtesi.

### 5.1.3 SUPORT MOTORS

L'assemblatge dels suports dels motors, es bastant fàcil. Això es degut al sistema d'encaix, ja que el que porta més feina es encastar les femelles als seus forats corresponents. Aquestes femelles serveixen per la unió de totes les parts, i sigui més fàcil encara unir-les.

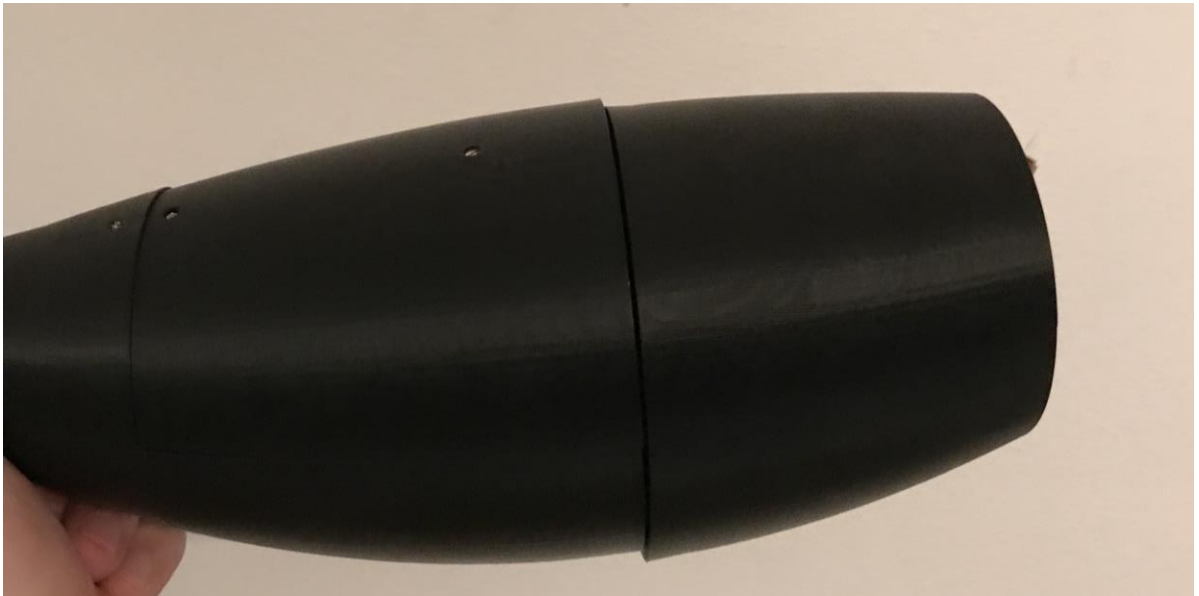
Com s'observa en la següent foto, els suports dels motors també es podria dir que es l'eix central de tot l'avantbraç, ja que uneix la mà i fa de suports de les carcasses.



*imatge 63: suports motors.*

#### 5.1.4 CARCASSES AVANTBRAÇ

El muntatge de les carcasses exteriors i de protecció de l'avantbraç, són les peces del projecte més fàcil muntar, ja que simplement s'han de collar contra el suport dels motors.



*imatge 64: carcasses exteriors.*

Gràcies al bon disseny es indiferentment l'ordre de muntatge, ja que es pot muntar o desmuntar la que es vulgui en l'ordre que es vulgui, la qual cosa de cara a l'evolució del projecte es molt important. En l'hipotètic cas que el prototip arribés a la comercialització, en cas de ruptura o algun fallo en la pròtesi, seria molt fàcil obrir-la i canviar o ajustar la peça que es volgués.

#### 5.1.5 POLITJA/FILS

Pel que a la politja es refereix, el primer que s'ha hagut de fer es collar-la directament als motors, gràcies als dos caragols de 3 mm que permeten fer-ho. La dificultat es a l'hora de passar el fil per a dintre, ja que el tub que té per passar-ho es de 2 mm i amb una corba bastant pronunciada. Al final s'ha passat amb un fil de Nylon per prim per tal de fer-lo servir de guia.

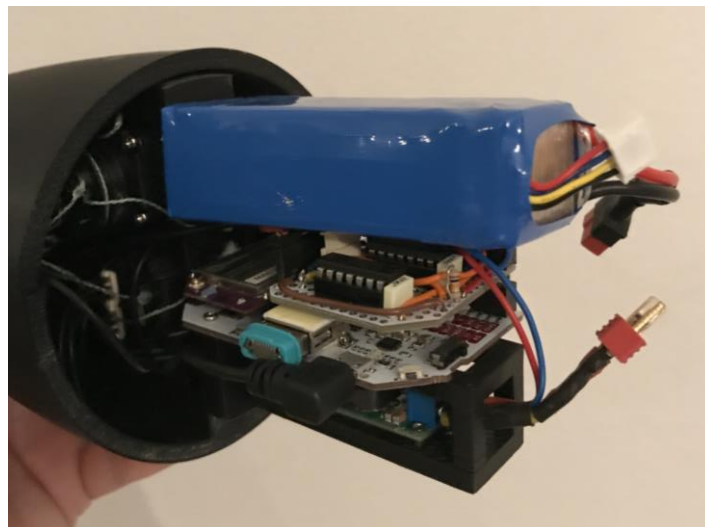


*imatge 65: politja.*

Com s'observa en la imatge anterior i tal com s'ha explicat en apartat de disseny de la politja, el caragol té la funcionalitat de collar el fil per tal que s'aganti amb la màxima tensió possible.

## 5.2 ASSAMBLATGE ELECTRÒNICA

L'assemblatge de l'electrònica en quant a complexitat es refereix, ha estat dissenyar i soldar la placa dels drivers dels motors. Aquest procediment, deixant de banda tot el procés laboriós que ha estat el procediment per arribar a l'electrònica necessària. La dificultat d'aquest assemblatge ha radicat en la mida de la placa universal que ens proporciona Onion.



*imatge 66: electrònica muntada.*

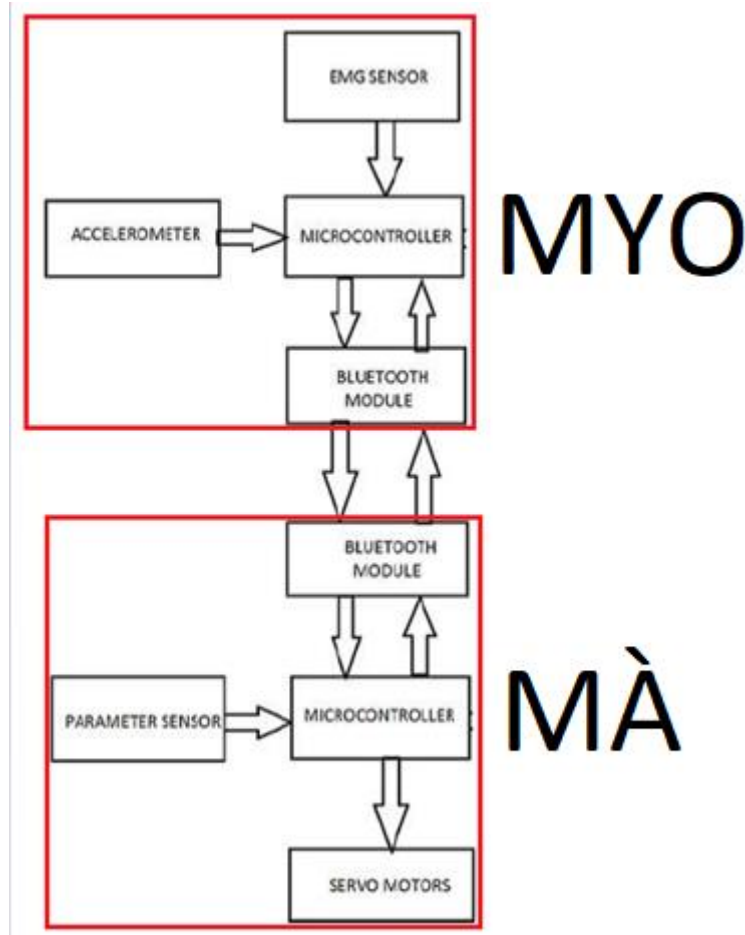
Tal com s'observa en la imatge anterior, al *shield* on hi ha els drivers dels motors, no hi ha molts de components però el fet que sigui tan petita i es hagi de soldar amb cables, fa que sigui laboriosa la feina de soldar-ho.



## 6 PROGRAMACIÓ MÀ ROBÒTICA

En aquest apartat s'explica (amb petites pinzellades) com està fet i es basa l'algoritme de programació utilitzat per desenvolupar el primer prototip.

Primer de tot hi ha una breu descripció del *Flow Chart* de l'algoritme, es a dir, un diagrama de flux de com es comporta la nostra mà robòtica.



imatge 67: diagrama de flux de l'algoritme de programació.

En la imatge anterior s'observa el que seria el diagrama de flux de la mà robòtica. Tal com es pot observar, el flux es pot dividir amb dues parts:

- Braçalet electromiogràfic MYO.
- Placa controladora Onion Omega 2+.

Si s'observa amb atenció, cada part treballa d'una forma diferent, es a dir, l'algoritme del braçalet electromiogràfic diríem que fa una funció quasi tota l'estona de Publisher (cada X temps agafa el senyal i via Bluetooth l'envia al controlador). També pot rebre comandes com per exemple la de fer-la vibrar, la qual es la que s'utilitza per tornar el *feedback* a l'usuari.

En canvi, la placa controladora Onion omega 2+, el seu algoritme es basa en un algoritme en llaç tancat (tal com s'ha explicat en l'apartat sobre el control de parell). Com s'observa, en funció del paràmetre del sensor d'entrada (parell i posició) es segueix aplicant més/menys força fins a arribar a l'objectiu desitjat.

## 6.1 MOTORS

Tot el que seria la programació dels motors i la llibreria creada per poder controlar-los, ha estat un procés molt i molt laboriós. Aquesta gran feina ha estat deguda al fet que s'han hagut de transcriure tota la llibreria a codi python per tal així poder utilitzar-la. A part del temps que ha portat realitzar això, també ha generat una incertesa al projecte, ja que algunes funcions no funcionaven i no se sabia si era culpa de la transcripció o del mateix funcionament en si.

S'han arribat a fer molts de programes de proves per tal d'arribar a familiaritzar-se amb el funcionament dels motors. També ha servit per poder optar per a la millor estratègia per a la seva programació, i que aquesta sigui la millor un cop s'adjunti les diferents parts de codi. Els diferents programes que s'han realitzat (la seva funcionalitat) han estat:

- Llegir posició dels motors.
- Llegir el seu parell.
- Moure per posició.
- Moure per posició amb la velocitat desitjada.
- Proves amb PID.
- Obrir/tancar fins arribar al parell desitjat.
- Etc.

Tal com es pot observar, hi ha hagut una gran quantitat de temps en fer proves per poder decidir, com ja hem dit abans, quina es la millor estratègia/programa perquè el prototip funcioni de la millor manera.

Al final, el programa que s'ha decidit que es el més adequat ha estat el control del moviment dels dits mitjançant:

- Posició.
- Parell.

Abans, cal dir que s'ha creat una llibreria on s'han creat dues funcions, la d'obrir i tancar, ja que per al projecte, no cal cap funcionalitat més (fins al moment actual).

Dit això, aquesta llibreria es una classe que cal inicialitzar-la. Aquest objecte es denomina "servo" i un cop es té declarada, es pot accedir a totes les seves funcionalitats o propietats internes (per fer una comparació en l'àmbit de la informàtica, es pot dir que són els seus "*end points*").

Aquests motors tenen moltes funcionalitats i algunes d'elles interessantíssimes per al projecte, entre d'elles, la capacitat de poder escanejar tots els esclaus. Es a dir, els motors tenen diferents ID i així es pot crear una *array* d'objectes per tal de poder accedir a ells de manera molt fàcil. D'aquesta manera hi ha, la que probablement es la millor manera de treballar amb ells, ja que pots assignar-li les propietats que vols, es a dir, pot limitar-los el parell que vulguis (poden ser diferents per a cada motor), i després amb una sola comanda, els pots sincronitzar i ell mateix ja s'ho gestiona.

Per al tancament de la mà, s'ha optat crear una funció que per paràmetre se li pot passar dos nivells de parell, "HIGH" o "MEDIUM", per tal d'internament treballar amb el parell canviant. Com ja se sap, els tres motors es controlen per separat, fet que es pot donar que algun d'ells a l'hora de tancar, pugui tancar tot fins al final. Per exemple pel fet que l'objecte que s'agafa es petit i només alguns dits el toquen, la qual cosa provoca que uns dits tanquin fins al final i els altres tanquin fins al lliandar de parell que se'ls hi hagi donat.

Amb el programa de prova que vàrem fer per llegir la posició, s'han fixat dos paràmetres per a cada motor:

- Posició Oberta.
- Posició Tancada.

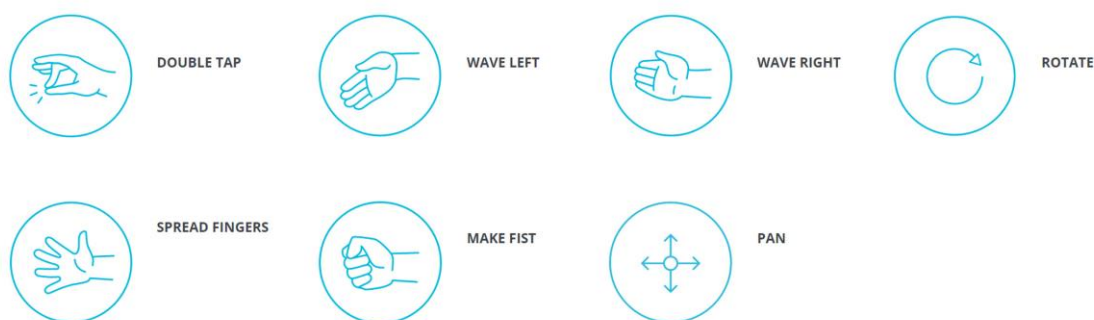
## 6.2 THALMIC MYO

Quant a la programació del braçalelctromiogràfic Thalmic MYO, s'ha partit de la base d'un programa on ja es gestiona el dispositiu. La complexitat de crear un codi on es manegi tota la connexió BT i el funcionament, pot donar un TFG només d'això. Un cop dit això, la base de la qual es parteix es del següent enllaç[28].

A part del codi, abans cal fer una instal·lació d'una sèrie de llibreries necessàries perquè el sistema funcioni, tal com per exemple *ela* necessària per establir la comunicació sèrie (PySerial), i també una llibreria que serveix per poder crear una enumeració d'objectes simbòlics vinculats a valors únics i constants (*enum34*), entre d'altres.

Un cop instal·lat i provat que el codi funciona i es vincula bé amb la MYO, s'ha eliminat molta gran part d'ell. Aquest codi eliminat es el que ve preparat amb API's que et faciliten desenvolupar aplicacions amb ella, però per aquest projecte, ens sobra. Així baixem la mida del fitxer, que el controlador no en te gaire i va bastant just instal·lar-ho tot. S'han fet diferents proves amb el programa, ja que es bastant complexa per tal de poder esbrinar, tal i com s'ha fet amb el programa per controlar els motors, poder optar per la millor estratègia.

El primer codi que es va arribar a provar amb més o menys èxit, ha estat utilitzant una API, que ja et retorna en funció del gest que fas amb els dits, el nom del qual, tal com es pot observar en la següent imatge.



imatge 68: MYO gestures.

Com es pot observar, hi ha la majoria dels gests que es podrien utilitzar per fer una aplicació de control, però sense acabar ben bé d'encaixar en aquest projecte, ja que si es vol controlar els motors en funció de la força que exerceix el braçalet no valen. També, i no menys importants, si el projecte es pretén abordar com un prototip per gent amputada, òbviament no requereixen la mà per realitzar aquests gestos (encara que indirectament, es podrien també saber col·locant els sensors d'EMG a un altre lloc).

Com a segona opció i definitiva, s'ha desenvolupat un programa, que agafa el *RAW-DATA* que agafen els 8 sensors d'EMG, i s'estableixen uns llindars de força. Així es distingeix si l'usuari portador està fent força de caràcter normal, o molta força, per tal d'així transmetre-ho als motors, via paràmetre a la funció que s'ha comentat abans a l'apartat de programació dels motors[6.1].

### 6.3 CONJUNT: MOTORS + THALMIC MYO

El conjunt del codi, i codi final hi ha hagut més problemes dels esperats, ja que tenint els dos codis per separat, a priori no hauria de ser massa complicat. Això no ha estat ben bé així, ja que el programa de control de la MYO treballar amb classes dintre de classes, a l'hora d'inserir nous objectes, es generen molt de conflictes i s'ha de depurar molt bé el codi i veure on s'insereixen les funcions. Sinó són estàtiques pròpies de la classe, es molt fàcil no poder accedir als atributs de l'altra llibreria, o molt pitjor, tenir algun problema de corrupció de memòria o desbordament, apareixent el missatge que cap desenvolupador vol veure, `Malloc()`.

Finalment s'ha obtingut un sol codi, que engloba les dues parts esmentades anteriorment, establint així el mínim per poder fer un bon prototip per tal de demostrar que amb dedicació i ganes, es pot arribar a aconseguir un projecte molt interessant.

## 6.4 UART

Perquè els motors puguin funcionar correctament amb la placa Onion Omega 2+, prèviament s'ha de configurar la UART. Aquesta configuració s'ha de fer ja que la placa ve configurada per defecte per transmetre a l'inici els missatges de depuració del kernel. Aquests missatges afecten els motors, creant xocs de paquets i fer que es quedin penjants.

Per resoldre aquest problema s'han de fer les següents instruccions:

1. Desabilitar els missatges de la consola que es transmet per el RX/TX. Per desabilitar-ho, s'ha de fer:
  - 1.1. Obrir el terminal de comandes.
  - 1.2. vi /etc/inittab
  - 1.3. Comentar la tercera línia amb # al davant, tal com:

```
#:sysinit:/etc/init.d/rcS S boot
#:shutdown:/etc/init.d/rcS K shutdown
#:askconsole:/bin/ash --login
```

*imatge 69: configuració UART*

- 1.4. Guardar el document.
2. Desabilitar els missatges de depuració del *kernel*.
  - 2.1. Obrir el terminal de comandes.
  - 2.2. vi /etc/sysctl.conf
  - 2.3. Afegir la primera línia el següent text: kernel.printk=0 4 1 7
  - 2.4. Guardar el document.
3. Reiniciar el Omega Onion 2+.

## 6.5 PSEUDOCODI

A continuació hi ha el pseudocodi que inclou totes les parts del projecte, explicant el flux **bàsic** del programa per poder entendre de millor manera el funcionament del prototip.

```
Inici programa;

Si error en detecció del dongle USB per connexió BT amb MYO:
    Exit 0;
Sinó:
    Obrir connexió BT amb MYO;

Inicialitzar objecte MYO;
Inicialitzar objecte motors;

Mentre( 1 ):

    Llegir Raw-Data;

    Si Estat_anterior == REST:
        Si Raw-Data == MEDIUM_LEVEL:
            Tancar motor amb nivell mitjà;
        Sinó Raw-Data == HIGH_LEVEL:
            tancar motor amb nivell alt;
        Sinó:
            Aguantar en la posició actual;

    Sinó:
        Si Raw-Data == REST_LEVEL:
            Obrir motors fins posició oberta;

Fi programa;
```

## 7 COSTOS

L'objectiu d'aquest apartat es donar i justificar el cost del prototip que s'ha realitzat. Tenint en compte que no es un producte de mercat només es donaran els costos dels materials. Per tant, **no es pretén donar els costos reals d'un producte de mercat.**

PEÇA	QUANTITAT	PREU UNITÀRI	UNITATS	PREU TOTAL
Material 3D(ULTRAT)	0,8	50	€/Kg	40,00 €
Motors Ax-12	3	51,1	€/U	153,30 €
Fil	1	13,5	€/U	13,50 €
Caragols M2	31	0,13	€/U	4,03 €
Famelles M2	5	0,12	€/U	0,60 €
Famelles encastades M2	26	0,35	€/U	9,10 €
ELECTRÒNICA				
Placa controladora (Onion Omega 2+)	1	10	€/U	10,00 €
Power Dock 2	1	15,5	€/U	15,50 €
Shield Extension	1	5	€/U	5,00 €
Regulador de tensió	1	16,2	€/U	16,20 €
Zocalo	2	0,8	€/U	1,60 €
74HCT125	1	0,3	€/U	0,30 €
74HCT126	1	0,3	€/U	0,30 €
Bateria LiPo 1800mAH	1	20	€/U	20,00 €
Thalnic MYO	1	190	€/U	190,00 €
TOTAL				479,43 €

Com es pot veure, el prototip té aproximadament un cost d'uns 480 € (només de costos materials), que a priori pot semblar molt elevat, però si es compara amb altres mans robòtiques existents es una quantitat quasi ni comparable.

Per exemple, si es compara amb la mà bebionic de la casa Ottobock (que es la que s'ha referenciat amb moltes parts per fer aquest projecte), que aproximadament un cost de mercat d'uns 50.000€, la comparació surt molt al favor del nostre prototip, ja que la diferència es d'un **99%!**

Tal com es pot veure, la diferència es molt molt considerable, la qual cosa ens indica que aquest projecte, si es mira des del punt de vista econòmic (i com uns dels objectius que s'havia marcat) es molt interessant per seguir una investigació en aquest camí.

## 8 MILLORES

Al tractar-se d'un primer prototip, l'apartat de millores es un dels punts més importants d'aquest treball. Com es d'esperar han sorgit moltes propostes i idees per dur a terme un nou disseny més ajustat a les necessitats del usuari final. En aquest apartat s'intentarà exposar les possibles millores per a futurs prototips més funcionals que s'adaptin millor al portador.

Per tal d'estructurar-ho millor, es dividirà en diferents punts tal com:

- Disseny.
- Construcció.
- Electrònica i Programació.
- Altres.

### 8.1 DISSENY

Pel que fa al disseny probablement sigui el punt pel que fa a millores que més es podria modificar en el següent prototip seria fer-lo funcional. Per aquest projecte funcional significa que es puguin començar a fer proves reals amb gent necessitada de pròtesis. Aquest canvis implicarien per exemple guanyar el espai necessari al avantbraç per poder ficar el munyo.

#### 8.1.1 MÀ

La mà es el punt més crític i on s'hauria de millorar més, ja que al cap i a la fi, es on s'agafen els objectes i on un bon disseny, canvia el projecte i el millora en gran manera.

- Dits: probablement, el canvi més gran que s'hagi de fer. El motiu es a causa del fet que 4 dits de 5 tenen 3 graus de llibertat, i això significa que només amb el fil, es molt difícil controlar el moviment que es vol fer. La millora seria analitzar bé el moviment dels dits i a cada articulació poder proporcionar-li el moviment més natural, homogeni i controlat. D'aquesta manera es pot parametritzar molt millor, i per software proporcionar-li una naturalitat i eficàcia molt més elevada. Les propostes a possibles millores són:
  - Fer el moviment per tancar amb un fil, i la recuperació fer-ho amb les articulacions de material flexible. Veient com han anat evolucionat les pròtesis *low-cost pot ser* una molt bona opció.
  - Fer les articulacions dentades, es a dir, com si es tractés d'una transmissió. D'aquesta manera es podria fer exactament el moviment desitjat, però amb tota la complexitat que requereix desenvolupar això .
  - Dotar el dit polze del moviment rotatiu que té a la vida real. Això significa que hauria de poder tenir una articulació amb forma de ròtula.
  - A les puntes dels dits, fer-ho de material flexible, o d'algun tipus de material que simuli i s'assembli als dits de l'ésser humà. Això es pot desenvolupar fent la falange distal de diferent material, aplicant un guant (tal com es fa en moltes mans robòtiques) o alguna altra solució. Aquesta es una millora



necessària segons els problemes que ens hem trobat a l'hora d'agafar diferents objectes.

- Dits: un altre gran millora seria dotar de textura els dits. Es a dir, millorar la falange distal per que tingui la mateixa textura que la de l'ésser humà. Aquest problema fa que els objectes agafats rellisquin i es tingui que aplicar una força molt més elevada per subjectar-los correctament. Les possibles millores podrien ser:
  - Imprimir la falange distal de material flexible, i així tenir la deformació semblant al del dit humà.
  - Ficar un guant a tota la mà per tenir molta més foça de fricció.
- Palma de la mà: les millores estan relacionades amb les que es puguin fer amb els dits. Si per exemple es redueixen fils per controlar els dits o s'afegeix rotació al dit polze, òbviament el disseny canvia. El que sí que es pot millorar sobretot es en el tema estètic, ja que com s'ha demostrat en l'apartat[4.1.1], hi ha tècniques molt barates per poder fer un mapping 3D per dotar la palma de la mà d'una aparença més realista.

### 8.1.2 AVANTBRAÇ

Algunes millores depenen molt de totes les possibles millores que s'apliquin amb els altres apartats. Les possibles millores serien:

- Redistribuir tot l'interior per el prototip funcional, tal i com s'ha explicat en d'introducció. La redistribució seria avançar tota l'electrònica i motors per deixar espai a la part final del avantbraç per poder introduir el munyo.
- Redissenyar la peça d'unió entre l'avantbraç i la mà. Amb aquesta peça (per motius d'impressió) es perden uns 10 cm que serien molt útils per donar funcionalitat.

## 8.2 CONSTRUCCIÓ

Els apartats de millores sobre la construcció estan directament relacionats amb el del disseny. En alguns punts, sobre el disseny CAD tot funciona però a l'hora de construir-ho té n'adones que no funciona, no encaixa o que simplement es pot fer d'un altra manera perquè sigui millor.

- Millorar el sistema de tensió dels fils per al control dels dits. S'ha comprovat en el muntatge i que es molt difícil aplicar la tensió correcte als fils. S'ha provat de ficar molles per solucionar aquest problema sense èxit.
- Redimensionar els diàmetres dels caragols que es pugui. El problema es que els caragols de 2 mm són molt petits i poc resistents per la fixació de l'avantbraç i les seves peces.
- Ajustar les toleràncies de les peces, ja que moltes no encaixen bé. El principal problema es l'encaix entre elles, alguns cops no entren i altres ballen. La solució seria ajustar bé el software de la impressora 3D.

### 8.3 ELECTRÒNICA I PROGRAMACIÓ

Pel que a l'electrònica es refereix seria més indicat parlar de canvis a nivells generals, ja que el benefici més gran o inconvenient que es pot tenir es la placa controladora. Aquestes millores podrien ser:

- Replantejament si s'ha de canviar de placa controladora o no, ja que s'han trobat moltíssimes dificultats quant a configuració i a programació es refereix. Es una placa limitada, que hauria d'haver donat unes prestacions que a primera vista eren més que suficients, però que quan el projecte ha anat evolucionant s'han vist unes carències que fan replantejar-se si canviar-la.
- Braçalet electromiogràfic. Ens hem adonat que el braçalet electromiogràfic no està ben bé preparat per aquest tipus d'aplicacions, ja que està més enfocat a aplicacions mòbils o de control d'aplicacions in motion. La possible millora seria veure si es pot configurar a nivell més baix, la qual cosa complica molt molt el codi de comunicació. L'altre seria buscar algun substitut que ens pugui proporcionar les mateixes característiques que ens proporciona aquest o desenvolupar-ne un des de 0.

### 8.4 ALTRES

La principal millora que no està inclosa en els apartats anteriors seria el procés de fabricació utilitzat. Per a la fabricació s'ha optat la impressió 3D, que com a mètode low-cost es extraordinari però sabent les limitacions que això implica. Per això, canviar a algun altre tipus de fabricació additiva seria més idoni, ja que n'hi ha que són semblants quant a cost i tipus d'impressió es refereix. Per exemple la sinterització de plàstic per làser, fet que s'assembla molt a la impressió utilitzada per el primer prototip. Aquesta impressió deixaria poder fabricar les peces amb cavitats més grans i poder guanyar espai, i amb conseqüència ajustar molt millor tots els components interns.

## 9 RESULTATS

En aquest punt s'analitzarà quins han sigut els resultats obtinguts sobre el primer prototip Hand Robotic Sensitive, comparant amb els objectius prèviament establerts a l'apartat d'objectius, que han estat:

- ✓ S'ha analitzat el mercat per trobar la solució més adient per al desenvolupament d'aquest primer prototip, per tal de veure com es l'estat de l'art actual quant a pròtesis es refereix.
- ✗ No s'han pogut desenvolupar algoritmes avançats, ja que en l'apartat de disseny han sorgit molts més problemes dels esperats, endarrerint-lo i com a conseqüència, no poder desenvolupar els algoritmes avançats per al millor control del prototip.
- ✓ S'ha sigut capaç de dissenyar, desenvolupar i construir un prototip d'una mà robòtica funcional amb els requisits prèviament establerts.
- ✓ Tots els càlculs sobre el dimensionament dels motors, conjuntament amb les proves experimentals, tenen coherència quan es comparen amb altres prototips semblants. Aquests càlculs sobretot quadren quan es fan les proves experimentals agafant diferents objectes, que es pot veure que la força que fan es la proporcionada per la seva aplicació.
- ✓ El sistema de control que s'ha desenvolupat supera els objectius marcats, ja que el prototip es capaç d'agafar objectes amb dos nivells d'intensitat en funció del senyal EMG obtingut. El sistema s'autoregula fins a agafar l'objecte, la qual cosa proporciona la capacitat d'agafar objectes varis, siguin grans o més petits.
- ✓ S'ha pogut demostrar que es possible desenvolupar pròtesis *low-cost* utilitzant fabricació additiva.
- ✓ Té un fàcil reemplaçament de les seves parts i així el seu manteniment i/o reparacions no suposin una quantia elevada.
- ✓ S'ha estat capaç de poder proporcionar feedback a l'usuari portador, així d'aquesta manera es capaç de controlar de millor el sistema. Aquest feedback es proporciona amb forma de vibració, tenint diferents nivells en funció de la força exercida sobre l'objecte.
- ✓ S'han pogut obtenir senyals electromiogràfics, podent agafar el raw-data i tractar-lo mínimament per tal d'establir uns llindars els més òptims possibles. Així es pot actuar sobre el sistema amb més precisió, dotant de diferents nivells d'intensitat en funció del EMG obtingut.

## 10 CONCLUSIONS

Com a conclusió general que es pren després de la realització d'aquest treball de fi de grau es que els objectius majoritàriament s'han assolit.

S'ha donat solució a tots els problemes coneguts i que han sorgit al llarg del desenvolupament del projecte (que no han estat pocs).

També s'ha sigut capaç de posar en pràctica tots els coneixements adquirits a la universitat. Sobretot als de CAD (Computer Aided Design), desenvolupant noves aptituds per resoldre el complex problema de dissenyar el prototip de zero.

Per concloure les conclusions extretes d'aquests TFG's, ja se sabia que seria un projecte molt complexa i que a simple vista pot semblar fàcil, però de bon segur que engana. Durant el procés de disseny i construcció s'han anat trobant problemes que s'han resolt de la millor manera possible. S'ha intentat fer el treball de millor manera, fet que ha implicat fer i refer diverses vegades la majoria dels components pel motiu que, tal com va dir un gran professor que s'ha tingut durant l'estança a la universitat, "hi ha dues maneres de fer les coses, fer-les, o fer-les bé".

La valoració final i probablement la més important, es que hi ha un avanç quant a tecnologia es refereix, obrint un nou món de pròtesis. Aquests avenços permet que els usuaris portadors no s'hagin d'hipotecar ni haver d'avaluar res (com es algun cas que ens hem trobat) per poder tenir una pròtesi funcional que et faciliti el dia. El fet que les persones estiguin amputades no hauria de mesurar-se amb una gran quantia de diners, sinó que hauria de ser un dret, i una obligació de la sanitat, ja que l'únic que fa es facilitar el dia a dia, no proporcionar cap privilegi.

La realització d'aquest treball ha estat el repte més gran que he afrontat sense dubte, ja que combinar la realització de dos treballs de fi de carrera alhora, amb una jornada laboral completa no ha resultat gens fàcil.

Amb l'elaboració del prototip i la memòria del projecte s'espera arribar al final d'aquests anys d'universitat, que sens dubte han estat els més enriquidors que hagi pogut tenir.

## 11 BIBLIOGRAFIA

- [1] “Integrating Agile and ITSM - Disruptive agile Service Management.” [Online]. Available: <https://blog.itil.org/2014/07/allgemein/integrating-agile-and-itsm/>. [Accessed: 19-Mar-2018].
- [2] “Ottobock bebionic medium datasheet.” [Online]. Available: [http://bebionic.com/distributor/documents/User\\_Guide\\_Medium\\_Large\\_Hand.pdf](http://bebionic.com/distributor/documents/User_Guide_Medium_Large_Hand.pdf). [Accessed: 19-Mar-2018].
- [3] G. S. Guide, “AR10 Hand.”
- [4] “What is EMG? When is it done?” [Online]. Available: <http://istanbulonkoloji.com/what-is-emg-when-is-it-done>. [Accessed: 19-Mar-2018].
- [5] “treball-EMG.”
- [6] “Sistema de control llaç tancar viquipedia.” [Online]. Available: [https://ca.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_de\\_control](https://ca.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_control). [Accessed: 26-Mar-2018].
- [7] “imatge llaç tancat.” [Online]. Available: [http://www.xtec.cat/~jsolson7/eso/cv\\_auto/automatismes.htm](http://www.xtec.cat/~jsolson7/eso/cv_auto/automatismes.htm). [Accessed: 26-Mar-2018].
- [8] “PID VIQUIPEDIA,” *Rocatek*, 2010.
- [9] “motor current-torque.” [Online]. Available: <http://www.philohome.com/nxtmotor/nxtmotor.htm>. [Accessed: 20-Mar-2018].
- [10] C. Quinayás, “Diseño Y Construcción De Una Prótesis Robotica De Mano Funcional Adaptada a Varios Agarres,” p. 94, 2010.
- [11] “huso muscular | ScyKness.” [Online]. Available: <https://scyknness.wordpress.com/tag/huso-muscular/>. [Accessed: 19-Mar-2018].
- [12] “Arduino Uno.” [Online]. Available: <https://www.sparkpcb.com/development/boards/arduino/arduino-uno-r3-atmega328pu-with-usb-cable.html>. [Accessed: 19-Mar-2018].
- [13] “Arduino Mega 2560.” [Online]. Available: [https://articulo.mercadolibre.com.pe/MPE-420009843-arduino-mega-2560-mecaelectronics-\\_JM](https://articulo.mercadolibre.com.pe/MPE-420009843-arduino-mega-2560-mecaelectronics-_JM). [Accessed: 19-Mar-2018].
- [14] “Raspberry Pi 3 model B.” [Online]. Available: <http://raspi.tv/2016/raspberry-pi-3-model-b-launches-today-64-bit-quad-a53-1-2-ghz-bcm2837>. [Accessed: 19-Mar-2018].
- [15] “BeagleBone Black.” [Online]. Available: <https://raspberryparatorpes.net/hardware/rivales-de-la-raspberry-beaglebone-black/>. [Accessed: 19-Mar-2018].
- [16] “Onion Omega2 Plus.” [Online]. Available: <http://tienda.bricogeek.com/onion-omega2/919-onion-omega2-plus.html>. [Accessed: 19-Mar-2018].
- [17] “Onion Omega2 Expansion dock.” [Online]. Available: <https://docs.onion.io/omega2-docs/expansion-dock.html>. [Accessed: 19-Mar-2018].
- [18] “Onion Omega2 Arduino doc 2.” [Online]. Available: <https://docs.onion.io/omega2-docs/arduino-dock-2.html>. [Accessed: 19-Mar-2018].

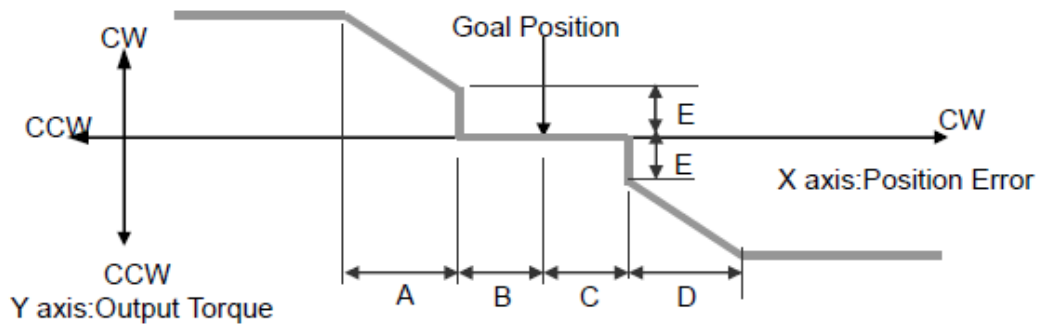
- 
- [19] “Servomotor MG996 (12Kg).” [Online]. Available: <https://moviltronics.com.co/servomotores-/233-servomotor-mg996-12kg.html>. [Accessed: 19-Mar-2018].
- [20] Robotis, “Dynamixel AX-12 User Manual,” *Communication*, p. 38, 2006.
- [21] “E-HEALTH SENSOR SHIELD V2.0.” [Online]. Available: [http://majd-e.com/index.php?route=product/product&product\\_id=147](http://majd-e.com/index.php?route=product/product&product_id=147). [Accessed: 19-Mar-2018].
- [22] “Myo 1.” [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=te1RBQQIH4>. [Accessed: 19-Mar-2018].
- [23] “About JavaScript - JavaScript | MDN.” [Online]. Available: [https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/JavaScript/About\\_JavaScript?redirectlocale=en-US&redirectslug=JavaScript%2FAbout\\_JavaScript](https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/JavaScript/About_JavaScript?redirectlocale=en-US&redirectslug=JavaScript%2FAbout_JavaScript). [Accessed: 19-Mar-2018].
- [24] “c++ logo.” [Online]. Available: <https://iconos8.es/icon/40669/logotipo-de-c-plus-plus>. [Accessed: 19-Mar-2018].
- [25] “Python Logo.” [Online]. Available: <http://www.pngall.com/python-logo-png>. [Accessed: 19-Mar-2018].
- [26] H. B. M. Jesd, M. M. Jesd, P. Temperature, N. So, and V. Sot, “74HC\_HCT125 Quad buffer/line driver; 3-state,” no. December, pp. 1–16, 2015.

## 12 ANNEX 1. MOTORS I EL SEU DIMENSIONAMENT

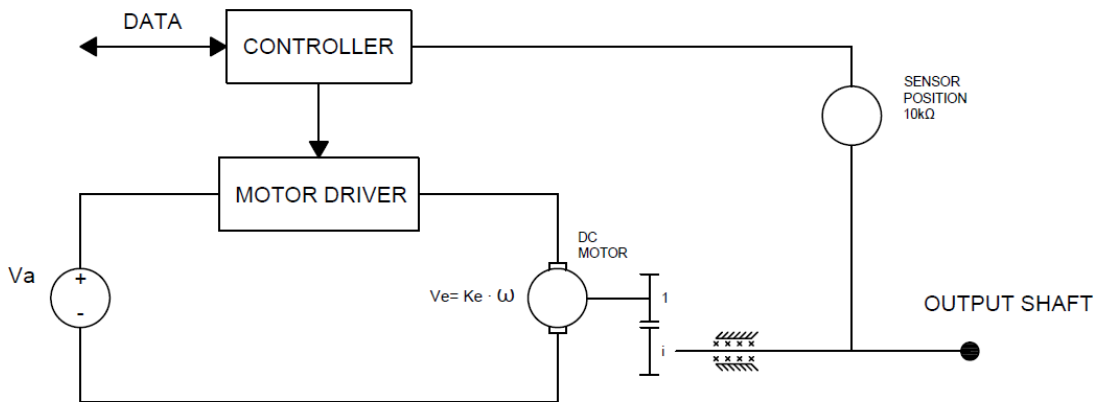
### 12.1 MOTORS DYNAMIXEL AX12-a

En aquest apartat s'explicaran els motors elegits, podent entendre com es el seu funcionament intern, per tal de poder justificar amb millor manera la seva elecció.

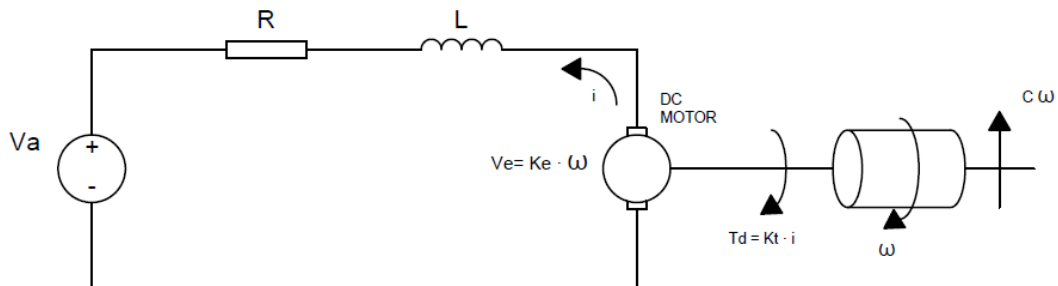
A continuació es pot veure com funciona el motor amb realimentació per parell, l'esquema elèctric del motor l'esquema amb la realimentació de l'eix (amb les pèrdues per fricció i engranatge inclòs).



imatge 70: Esquema del funcionament del posicionament sense realimentació per posició.



imatge 71: esquema amb realimentació.



imatge 72: esquema elèctric motors.

En la imatge on es pot observar l'esquema de funcionament amb realimentació per parell, no per posició com es fa normalment. El que es fa es marcar una posició on es vol anar (Goal Position) i un parell màxim que poden exercir els motors (incloent-hi els pendents i l'error admissible, com ens indiquen els punts A, B, C, D i E), d'aquesta manera el sistema sabent el parell que està actualment, en funció de quin quadrant del gràfic es troba, es capaç d'arribar a la posició final sense necessitat de realimentar la posició, sinó tal com ja s'ha dit anteriorment, fent-ho per parell.

## 12.2 DIMENSIONAMENT

Per al dimensionament dels motors, s'han fet els càlculs que demostren el parell mínim per poder moure el conjunt i agafar un objecte. Els càlculs del parell s'han fet agafant els pitjors dels casos que es una ampolla de 500mL plena. Tal com es pot observar en els càlculs següents, ens apareix una força de deformació, que es la que apliquem per agafar millor l'objecte, tal com diu, deformant-lo una mica per agafar-lo millor.

Abans d'explicar els càlculs, s'explica com s'ha trobat la força de deformació que posteriorment sortirà ens les formules. Aquesta força s'ha trobat purament experimentalment, segons el criteri d'anar aplicant una força sobre l'objecte i veure els kilograms necessaris per a deformar-lo.

Com que estem amb estàtica, se sap que el DSL (Diagrama Sòlid Lliure) ha de complir les següents condicions:

$$\sum F_x = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

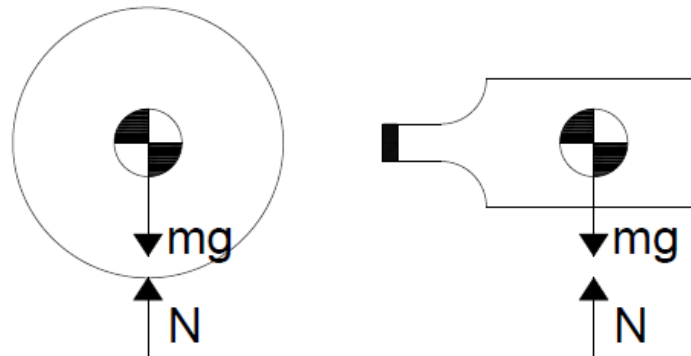
$$\sum M(0) = 0$$



## 12.2.1 DSL OBJECTE

El diagrama del sòlid lliure (DSL) de l'objecte representa l'ampolla de 500mL, amb el seu centre de masses, la Força de deformació, el pes de l'objecte i la Normal que actua sobre ell.

## DSL OBJECTE



Observant el DSL objecte, es dedueix que:

$$\sum F_y = 0 \rightarrow m_{obj} \cdot g - N = 0, \text{ on:}$$

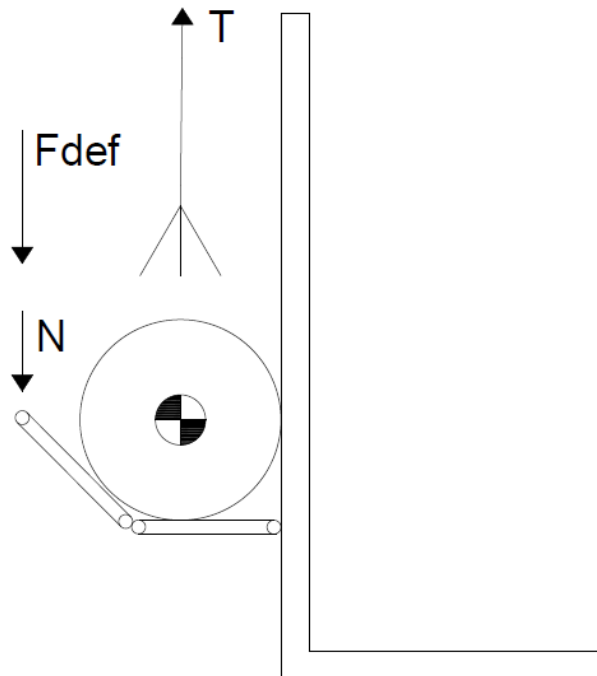
$$N = m_{obj} \cdot g$$

*Equació 1*

## 12.2.2 DSL BANC ASSAIG

El diagrama del sòlid lliure (DSL) del banc d'assaig, representa l'estructura construïda per obtenir la força necessària de tancament que ha de fer la mà per tal d'agafar qualsevol objecte. Tal com ja s'ha explicat anteriorment, s'ha fet amb els pitjors dels casos que es l'ampolla de 500mL plena d'aigua.

## DSL BANC ASSAIG



Com s'observa, aquí també només intervenen forces en l'eix Y, on:

$$\sum F_y = 0 \quad \rightarrow \quad -N + T - F_{def} = 0, \text{ on:}$$

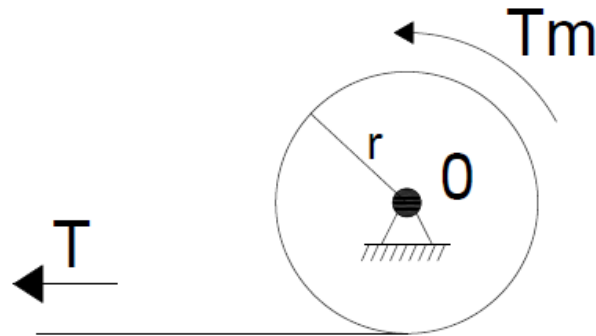
$$N = T - F_{def}$$

Equació 2

### 12.2.3 DSL POLITJA

El diagrama del sòlid lliure (DSL) de la politja es la darrera part per tal de poder esbrinar quin es el parell mínim necessari per a poder dimensionar els motors. Tal com es pot observar en la següent imatge (DSL politja), ens intervenen dos parells, la T que es la tensió del fil i  $T_m$  que es parell que proporciona el motor.

# DSL POLITJA



D'aquest DSL, podem treure els parells tal com:

$$\sum \mathbf{M}(\mathbf{0}) = \mathbf{0} \rightarrow T_m - T \cdot r_{politja} = 0, \text{ on:}$$

$$T_m \geq T \cdot r_{politja}$$

Equació 3

Un cop obtingut totes les equacions en estàtica de tots els DSL, es poden resoldre. El primer que es pot deduir es que l'equació 1 i l'equació 2 es poden igualar de tal manera que:

$$m_{obj} \cdot g = T - F_{def}, \text{ on:}$$

$$T = F_{def} + m_{obj} \cdot g$$

Equació 4

Aïllant la T es pot trobar ja el parell necessari que necessita proporcionar mínim el motor, de tal manera que:

$$T_m \geq (F_{def} + m_{obj} \cdot g) \cdot r_{politja}$$

Equació 5

#### 12.2.4 OBTENCIÓ DE LA FORÇA DE DEFORMACIÓ EXPERIMENTALMENT

Abans d'obtenir el parell mínim, s'han de ficar valors a tots els paràmetres, i l'únic que no tenim i hem hagut d'obtenir-lo de forma experimental ha estat la força de deformació de l'ampolla. Per obtenir-la s'ha procedit igual que per determinar també experimentalment els motors, es a dir, mitjançant una bàscula i anar aplicant força sobre l'ampolla per tal d'anar deformant-la i poder obtenir els kilograms de força aplicada.



*imatge 73: demostració d'obtenció de la força de deformació.*

Tal com s'observa en la imatge anterior, s'ha anat aplicant força de forma progressiva per veure com es deforma i així poder obtenir les mesures necessàries per poder dimensionar els motors.

## 12.2.5 CÀLCUL FINAL

Totes les variables necessàries per resoldre l'equació final de l'apartat[1.3], són:

- $F_{def}$ : 2,4kg  $\rightarrow$  23,544N\*
- $r_{polijja}$ : 0,01125m
- $m_{objecte}$ : 0,5kg  $\rightarrow$  4,905N
- Gravat: 9,81 m/s<sup>2</sup>

El parell final mínim que el motor ens ha de proporcionar es:

$$Tm \geq (23,544[N] + 4,905[N] \cdot 9,81[ms^{-2}]) \cdot 0,01125[m] = \mathbf{0,8062Nm}$$

\*Per demostrar aquesta formula, s'ha agafat com a valor de la força de deformació 23,544N, ja que correspon(com es pot apreciar en la següent taula) al 50% de treball del motor.

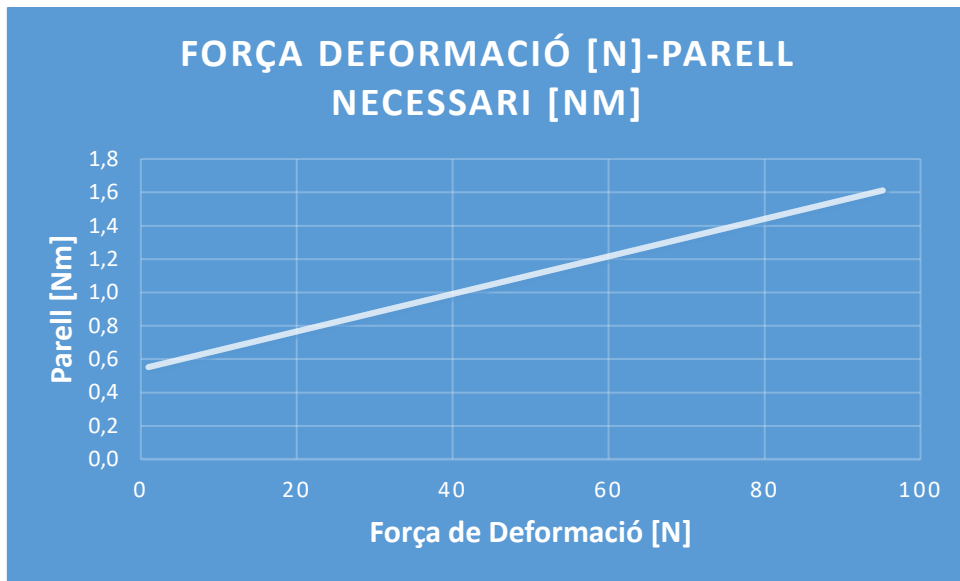
Per obtenir una millor idea del parell necessari del motor, a continuació es mostra una taula amb diferents forces de deformació, el parell necessari i el % de treball del motor.

Força Deformació( $F_{def}$ )[Kg]	Força Deformació( $F_{def}$ )[N]	Parell necessari( $Tm$ )[Nm]	Treball motor[%]
0,1	0,981	<b>0,5524</b>	34,3
2,4	23,544	<b>0,8062</b>	50,1
3,9	38,259	<b>0,9717</b>	60,4
5,3	51,993	<b>1,1262</b>	70,0
6,9	66,708	<b>1,2918</b>	80,2
8,3	81,423	<b>1,4573</b>	90,5
9,7	95,1570	<b>1,6118</b>	100,1

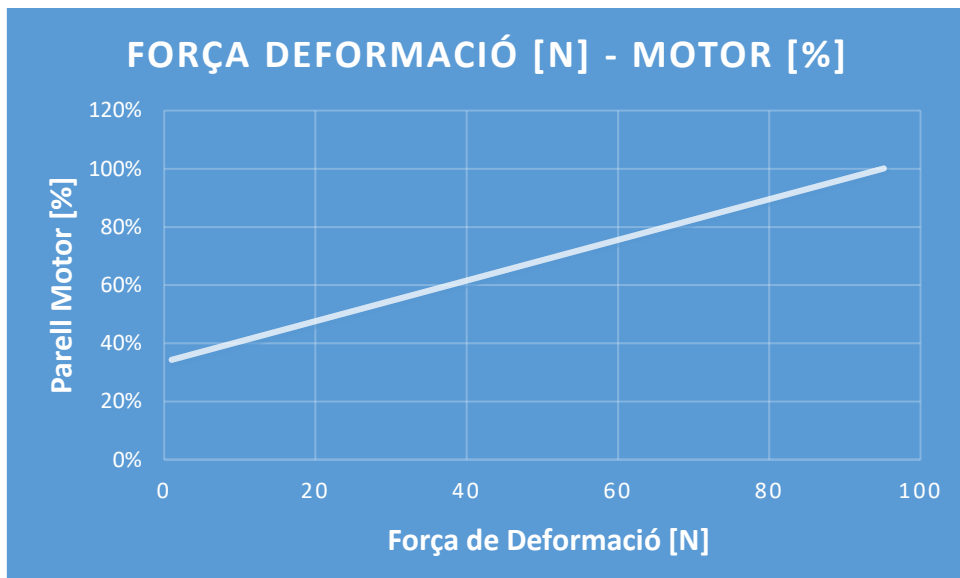
De la taula anterior, es pot deduir que els motors just per agafar l'objecte necessiten treballar al 34,3%, i que el màxim que es pot aplicar es una força de deformació de 95,157N, que equivalen a uns 9,7kg, que es una força de deformació bastant elevada, tal com s'ha pogut comprovar experimentalment deformant l'ampolla.

A continuació hi ha dues gràfiques que mostren:

1. Força de deformació en front del parell necessari.
2. Força de deformació en front del % de treball del motor.



Gràfic 1: Deformació - front parell necessari.



Gràfic 2: Deformació en front del % de treball del motor.

Com es pot observar en les anteriors gràfiques, segueixen una progressió amb un pendent més o menys constant, la qual cosa ens afavoreix si es vol parametritzar bé la força de tancament en l'apartat de programació.