



Disseny i construcció d'una pròtesi de mà articulada

**Disseny i construcció d'una  
pròtesi de mà articulada**

*Institut Olivar Gran*



---

DISSENY I CONSTRUCCIÓ  
D'UNA PRÒTESI DE MÀ  
ARTICULADA

---



Antonio Alonso Mallén  
Mònica Barranco Baquero  
Departament de Biologia

5/12/2013

# ÍNDEX

1. Introducció	6
1.1 Motivació	6
1.2 Objectius	7
1.3 Agraïments	7
1.4 Metodologia i procediments	8
2. El sistema musculoesquelètic	10
3. Anatomia de l'avantbraç	14
3.1 Constitució òssia	14
3.2 Constitució muscular	17
3.2.1 Músculs flexors	18
3.2.2 Músculs extensors	21
4. Fisiologia de l'avanbraç	25
5. Anatomia de la mà	27
5.1 Anatomia del carp	27
5.1.1 Constitució òssia	27
5.1.2 Constitució muscular	30
5.2 Anatomia de les falanges	31
6. Fisiologia de la mà	33
7. Construcció de la pròtesi	37
7.1 Material	37
7.1.2 Costos	38
7.2 Procés de construcció	39
7.3 Substitució de la part anatòmica	42
7.4 Substitució de la part motora	42
7.4.1 Software	43

7.4.2 Hardware	44
7.4.3 Finalitat de la substitució motora	44
8. Conclusions	45
9. Bibliografia	47
10. Webgrafia	48
12. Annexes	i
Annex I: Plànols a paper	i
Plànol de perfil	i
Plànol de planta	ii
Annex II: Plànols virtuals	iii
Plànol de perfil	iii
Plànol de planta	iv
Annex III: Rebuts	v
Picaxe	v
Superrobotica.com	vi
Ima	vii
Ferros Puig	viii
Annex IV: Fotos del material	ix
Annex V: Diari de construcció	xi
Annex VI: Llenguatge informàtic utilitzat	xv
Annex VII: Glossari	xix
Annex VIII: Article de revista	xxii

### 1. INTRODUCCIÓ

---

#### 1.1 MOTIVACIÓ

---

El que em portava a fer aquest tipus de treball és una motivació molt íntima i personal. Aquesta es remunta a ja fa gairebé 4 anys enrere. Tenia tan sols 13 anys quan, sobtadament, la meva mare va sortir de casa molt esvalotada i nerviosa. No sabia quin era el motiu fins que, a l'endemà, em va comentar que el meu germà havia patit un accident en un ciclomotor. Aquesta notícia no me l'esperava perquè ell només tenia 17 anys i estàvem molt units.

Ell anava de “paquet”- com s'anomenen als que van asseguts com a acompanyants en un ciclomotor- en el seient del darrera d'una moto. Quan, inesperadament, un cotxe va impactar contra ells, colpejant el lateral esquerre de la moto. El meu germà va enlairar-se i caure 8 metres darrera del cotxe infractor. Va patir múltiples fractures en les cames i cremades greus en el maluc i en la cara, tot i que portava el casc posat. Una d'aquestes múltiples fractures, la pitjor, va ser en el fèmur dret. Aquest va patir una triple fractura deixant el cos del fèmur lliure provocant-li un perforament de la pell. Degut a això va arrossegar el tros de l'os per l'asfalt i va perdre uns 3 cm.

Tot aquest accident va marcar-me molt i per aquesta mateixa raó volia realitzar un treball medico-tecnològic com el que he realitzat.

Una altra motivació, aquesta ja més enfocada en l'estil del treball, és que des d'un principi volia realitzar un treball amb molta matèria pràctica, és a dir, volia aconseguir mostrar un projecte realitzat per mi mateix i que li donés pes al treball.

## 1.2 OBJECTIUS

---

Els objectius del treball són els següents:

- Estudiar l'anatomia, la fisiologia i la biomecànica de l'avantbraç i la mà.
- Construcció d'una maqueta articulada a escala real.
- Obtenció de coneixements electrònics per posar-los en pràctica en la maqueta.

A més, el meu objectiu final és la realització d'un bon treball de recerca per poder tenir un model a seguir pels treballs dels pròxims anys.

## 1.3 AGRAÏMENTS

---

Per tal que aquest treball sortís endavant ha estat necessària l'ajuda de diverses persones a les quals voldria agrair la seva col·laboració.

En primer lloc, volia donar les gràcies a les meves dues tutores de treball de recerca, la Laia Casadellà i, l'actual, Mònica Barranco, per motivar-me, orientar-me i animar-me a continuar el treball. Sense l'ajuda de les tutores, sincerament, no podria haver estructurat bé el treball o aclarir algunes idees.

En segon lloc, la meva família m'ha recolzat en tot moment i mai m'han mancat les forces gràcies a ells. Sempre han estat allà en tot moment, fins i tot en els moments de frustració quan la maqueta no encaixava bé o quan no arribaven els materials necessaris.

En tercer lloc, agrair a la Sra. Mas per haver-me proporcionat les fonts d'informació necessàries per poder obtenir quasi tota la teoria del cos del treball.

Finalment, agrair al professor d'informàtica, Lluís Alemany, i al seu alumne, Oriol Camps, per haver-me ajudat en la programació de la placa del sistema electrònic, en la comprensió de la lectura tecnològica i en l'obtenció de programes i peces externes necessàries. I a un altre company, l'Arnau Joan, per haver-me deixat material per soldar.



En conclusió, aquest treball no es podria haver realitzat sense cap de les persones esmentades aquí. Moltes gràcies.

### 1.4 METODOLOGIA I PROCEDIMENTS

---

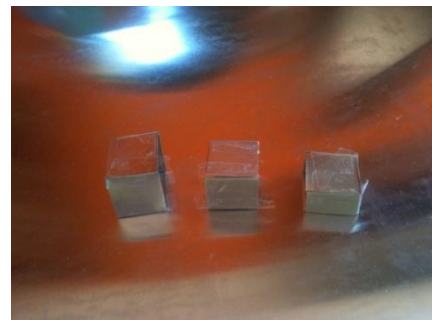
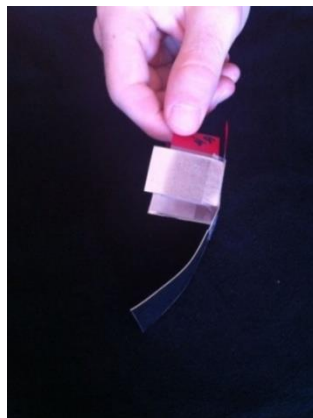
El treball de recerca s'ha començat el dia 20 de maig amb una organització global de com s'hauria de fer el projecte.

Per a la realització d'aquest, primer de tot, s'ha cercat tota la informació possible que fa referència al tema de l'anatomia humana, més precisament de la zona de l'avantbraç. Un cop obtinguda s'ha dividit la part estudiada en diverses seccions i s'ha redactat la part escrita.

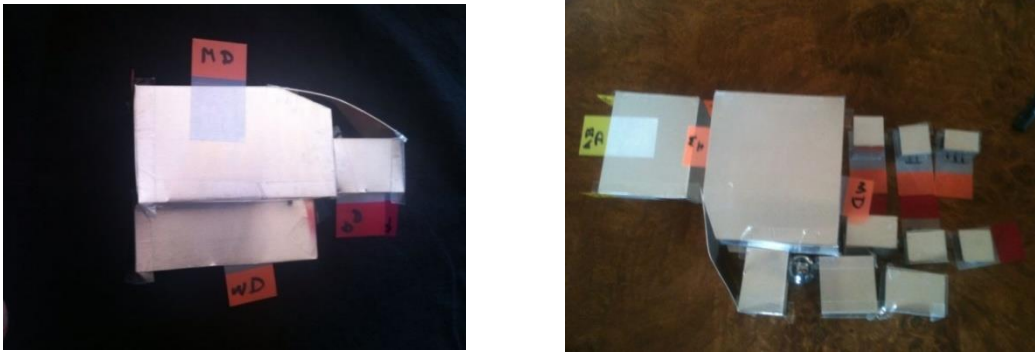
Posteriorment, s'han realitzat els plànols a escala real i virtualment utilitzant com a mostra el propi avantbraç.

Un cop agafades les mides en els plànols, entès el funcionament, estudiada l'estructura s'ha anat comprant el material adient per a la construcció. Aquest s'ha adquirit en diversos establiments, tant de Figueres com de Girona.

Obtinguts els materials, s'ha construït el primer prototip de la pròtesi passant les mides dels plànols virtuals a la planxa d'alumini i amb unes tisores de planxista s'ha anat tallant. Un cop obtingudes les peces s'ha fet el muntatge de l'esquelet extern, primer amb cinta adhesiva i després amb la soldadura en fred.







**Fig. 1:** Primer prototip de l'esquelet extern de la pròtesi.

Un cop muntat l'esquelet d'alumini es van anar a buscar les peces per les articulacions. Amb les peces com les boles d'acer, les volanderes i les politges es van fer proves fins obtenir el resultat adient. Un cop ja s'han col·locat en el seu lloc s'han soldat.

Posteriorment al muntatge de l'esquelet s'han encarregat els components electrònics mitjançant una pàgina web.



**Fig. 2:** Mostatge dels components electrònics nous.

Els components electrònics s'han soldat mitjançant un soldador i s'han connectat els motors a la placa base.

Després s'han anant creant els missatges mitjançant un programa informàtic de programació de Picaxe anomenat, Picaxe Programming Editor.

Finalment, s'ha anant fent proves amb els motors fins obtenir el resultat correcte.

Malgrat l'èxit en la construcció, s'ha hagut de treure una falange pel seu pes, ja que els motors no podien amb el pes de dues d'acer.

## 2. EL SISTEMA MUSCULOESQUELÈTIC

---

El sistema musculoesquelètic és essencial per l'existència de l'ésser humà, ja que permet diverses funcions vitals, com per exemple: la capacitat de subjectar el cos de manera que aquest pugui estar dret, la protecció de diversos òrgans vitals i la capacitat de poder reproduir moviments. Aquest sistema està format per tres elements bàsics de l'anatomia humana: els ossos, els teixits conjuntius<sup>1</sup> i els músculs.



**Fig. 3:** Representació del sistema musculoesquelètic.

**Els ossos** són, dels elements esmentats, els que més funcions són capaços de fer perquè gràcies a la seva rigidesa, deguda a la seva composició basada en la gran quantitat de calci, fòsfor i col·lagen, pot actuar com a base per aguantar el cos dret, és a dir, té la funció de subjectar el cos. A més a més, els ossos, com els de la caixa toràctica o el crani, s'encarreguen de la protecció de determinats òrgans interns com ara bé el cor, els pulmons, el cervell, etc.

Dins del cos humà hi ha quatre tipus d'ossos diferents que es classifiquen a partir de la seva aparença externa: os llarg, curt, pla i irregular.

---

<sup>1</sup> Són teixits que tenen com a finalitat la sustentació d'altres parts de cos humà, la defensa contra infeccions, l'intercanvi de nutrients i la regulació del calor corporal. Ex. Tendons, lligaments, etc.

- Els ossos llargs són aquells en que la llargària del mateix on és més gran que l'amplada. Aquesta disposició permet que aquests ossos estiguin dividits en tres parts: el cos, la diàfisi, i els extrems, els epífisis.



**Fig. 4:** Exemple d'os llarg que té dos epífisis (verd) i la diàfisi (vermell).

- Els ossos curts són els que, al contrari dels llargs, no predomina l'amplada ni la llargària, atès que tenen un aspecte cúbic. La gran majoria dels casos solen ser ossos articulats.



**Fig. 5:** Exemple d'os curt del canell.

- Els ossos plans són els ossos d'aspecte corbat i aparença prima. Solen ser els que donen protecció als òrgans interns, com la cavitat cerebral del crani o de suport per a altres ossos com l'omòplat.



**Fig. 6:** L'omòplat té la característica de ser gran i ample, això fa que doni un suport a altres ossos com la clavícula.

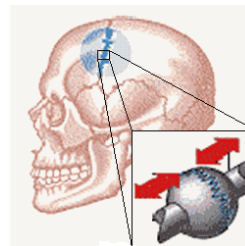
- Els ossos irregulars són aquells que la seva estructura externa no es pot classificar en cap dels apartats anterior, però que són part d'una constitució òssia més gran, com per exemple: les vèrtebres.



**Fig. 7:** La vèrtebra dorsal és un exemple d'os irregular, ja que també forma part de la columna vertebral.

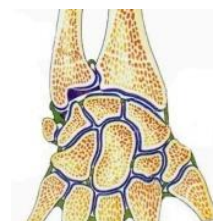
**Els teixits conjuntius** són els principals elements de les anomenades articulacions. Aquestes articulacions són les que permeten que el cos es pugui moure i tingui un cert rang de llibertat. Així doncs, els teixits conjuntius es classifiquen a partir del paràmetre del moviment.

- Les articulacions que no tenen pas cap capacitat de moviment s'anomenen *sinartrosi*, per exemple entre els ossos que constitueixen el crani.



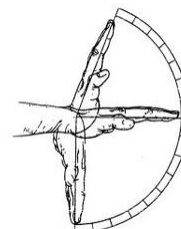
**Fig. 8:** El crani està compost per diversos ossos entre els quals hi ha articulacions immòbils.

- Les articulacions que tenen un cert grau de moviment, però que quasi no es nota s'anomenen *amfiartrosi*, que són per exemple els carpians de la mà.



**Fig. 9:** Els carpians del canell són ossos que entre ells hi ha un petit espai que els permet moure's.

- Les articulacions que sí tenen llibertat de moviment i es pot apreciar fàcilment s'anomenen *diartrosi*. El canell o el colze en són exemples.



**Fig. 10:** Aquest moviment representa el grau de llibertat de l'articulació radio-carpiana.

**Els músculs** són la part essencial de l'anatomia humana per produir moviment, atès que estan compostos per cèl·lules especialitzades que produeixen la contracció del múscul sencer. A més a més, adherits a ells estan els tendons i els teixits conjuntius que s'insereixen en altres parts del cos produint així el moviment. Hi ha tres tipus de músculs: l'esquelètic, el llis i el cardíac.

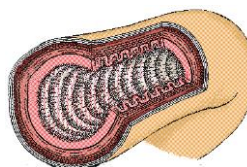
- El múscul esquelètic és el més abundant, ja que constitueix el 90% de la massa muscular. Aquest és el múscul que pot produir els moviments

de les extremitats, ja que tenen un contingut alt en proteïnes musculars (miosina i actina)<sup>2</sup>.



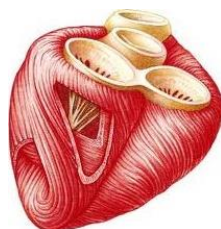
**Fig. 11** : El bíceps i el tríceps són músculs amb gran quantitat de proteïnes musculars.

- Els múscul llis està format per cèl·lules especialitzades amb una forma allargada i fusiforme. Constitueix les parets dels òrgans intestinals, d'alguns vasos conductius i les parets dels vasos sanguinis. La seva funció, bàsicament, és la de transport, ja que igual que el múscul esquelètic, es contrauen i produeixen un desplaçament en el seu interior. Però aquesta contracció, en aquest cas, és involuntària, és a dir, no la podem controlar nosaltres mateixos.



**Fig. 12**: Representació de l'intestí prim dividit en les seves subcapes.

- El múscul cardíac és el que constitueix les parets del cor i estan compostos per cèl·lules especialitzades. La seva funció és distribuir i bombejar, a partir de la contracció involuntària del múscul, la sang que arriba des de les aurícules<sup>3</sup> i enviar-la a partir dels ventricles<sup>4</sup>.



**Fig. 13**: Representació del múscul cardíac.

<sup>2</sup> Proteïnes fibroses que formen part del teixit muscular i que confereixen la propietat de ser elàstic i contràctil.

<sup>3</sup> Cavitat superior del cor dels vertebrats que rep la sang que prové de les venes.

<sup>4</sup> Cavitat inferior del cor dels vertebrats que rep la sang que prové de les aurícules i l'envia a les artèries.

### 3. ANATOMIA DE L'AVANTBRAÇ

---

#### 3.1 CONSTITUCIÓ ÒSSIA

---

L'avantbraç és la regió anatòmica que s'estén des de la part de *l'articulació radio-cubital proximal*, que pertany al colze, fins a *l'articulació radio-cubital distal*, que engloba la zona radio-carpiana, unitat que uneix el radi amb els carpians constituint així el canell.

Principalment, la seva estructura òssia, la constitueixen dos ossos essencials:

El cúbit, classificat com a os llarg, es localitza en la part interna de l'avantbraç i està format per un extrem superior, un inferior i un cos ossi. Es troba formant la part interna de l'avantbraç.

- L'extrem superior, bastant voluminós, consta de dues *apòfisis*<sup>5</sup> anomenades; olècranon i coronoide. Aquestes apòfisis es troben en una unitat morfològicament especial perquè es tracta d'una cavitat còncava amb forma de mitja lluna anomenada *cavitat sigmoide major* del cúbit. L'olècranon i la coronoide divideixen la cavitat en tres regions, enfocades en direccions diferents, degut a que l'olècranon es troba en la part superior i la coronoide en la part inferior. Aquesta disposició permet la fixació de l'húmer i la seva articulació. També conté la *cavitat sigmoide menor* del cúbit que es troba en la zona inferior externa de la mateixa cavitat major, a prop de l'apòfisi coronoide, que permet la fixació del radi.



**Fig. 14:** Epífisi superior del cúbit: olècranon (vermell), coronoide (verd), cavitat sigmoidea major (blau) i cavitat sigmoidea menor (rosa).

- A més d'aquest extrem superior, o epífisi, té un extrem inferior que consta de dos elements. Un és el cap del cúbit que permet la unió de la part inferior



**Fig. 15:** Epífisi inferior del cúbit: estiloides (verd) i cap del cúbit (blau).

---

<sup>5</sup> Eminència d'un os.

del cúbit amb la del radi i l'altre és l'apòfisi estiloide que aconsegueix unir el cúbit amb el carp.

- Entre aquests epífisis tenim el cos del cúbit o bé la diàfisi que gràcies a les seves tres cares disposades en forma triangular es poden classificar en:

- Cara posterior.
- Cara interna.
- Cara anterior.



**Fig. 16:** Disposició de les cares del cúbit: anterior (verd), posterior (rosa) i anterior (vermell).

El radi, classificat també com a os llarg, té unes mides una mica més petites que les del cúbit, i això es pot observar, ja que es troba al seu costat. La seva localització es troba en la part externa de l'avantbraç. El radi té una estructura similar a la del cúbit.

- L'epífisi superior està formada per tres components: el cap radial, el coll radial i la tuberositat<sup>6</sup> radial.

- El cap radial es troba situat en la part més elevada de l'epífisi i està format per una superfície còncava anomenada cúpula radial. Aquesta cúpula permet que el radi estigui en contacte amb l'extrem inferior humeral i pugui així articular-se.
- El coll del radi és una unitat cilíndrica que té un diàmetre una mica més petit que la resta dels components i que



**Fig. 17:** Representació del cap radial (crema), del coll del radi (taronja) i de la tuberositat radial (verd).

<sup>6</sup> Prolongació grossa d'un os que permet la inserció de músculs, lligaments i tendons, en aquest cas en el radi.



permet la unió del cap del radi amb la diàfisi de l'os. La finalitat d'aquesta forma és tenir un espai per algunes insercions dels músculs i per poder recolzar la tuberositat cubital, situada sota de l'apòfisi coronoide.

- La tuberositat radial és un component ossi que es troba sota del coll del radi i li dóna una base de consistència per poder aguantar-se.
- L'extrem inferior del radi està menys desenvolupat que el superior, atès que consta de: una apòfisi radial, dues cavitats glenoides i una cavitat sigmoide.
  - En la zona externa de l'epífisi trobem l'apòfisi estiloide que és l'única eminència del radi i té l'objectiu d'unir l'os amb la zona carpiana, formant així *l'articulació radio-carpiana*.
  - Per la part inferior trobem dues cavitats glenoides: la *cavitat de l'escafoide*, primer carpià proximal, i la *cavitat del semilunar*, segon carpià proximal, que són dos dels vuit ossos que componen la zona carpiana.
  - I en la part interna trobem la *cavitat sigmoide* que s'articula amb el cap cubital i constitueix així juntament amb *l'articulació radio-carpiana* *l'articulació radio-cubital distal* de l'avantbraç.



**Fig. 18:** Representació de l'estiloides (blau) i de la cavitat glenoide (lila).

- La diàfisi o el cos del radi té la mateixa forma que el cúbit. Així doncs, la podem classificar igual segons les seves tres cares:
  - Cara posterior.
  - Cara externa.
  - Cara anterior.



**Fig. 19:** Representació de les cares del radi: anterior (blau), posterior (verd) i externa (rosa).

### 3.2 COSTITUCIÓ MUSCULAR

---

Els músculs de l'avantbraç són 19 i estan posicionats per tal de tenir una massa muscular flexora anterior que consta de 8 músculs i una massa muscular extensora que consta dels 11 restants. No tot són superficials, ja que entre aquests, l'avantbraç té músculs interossis, els quals es troben entre els ossos, per tal d'aconseguir moviments precisos i músculs intramusculars, que es troben entre altres músculs, per tal d'obtenir una consistència i una compactació determinada. Tots els músculs que aconsegueixen torçar, doblegar, estendre i rotar l'avantbraç, el canell, la mà i les falanges es troben en l'avantbraç.

A més, aquests 19 músculs es poden classificar a partir del paràmetre del moviment que realitzen:

1. Rotació del radi per sobre del cúbit.
  - Pronador rodó.
  - Pronador quadrat.
  - Supinador.
2. Flexors de la mà a l'alçada del canell.
  - Flexor radial del carp.
  - Flexor cubital del carp.
  - Palmar llarg.
3. Flexor dels dits.
  - Flexor superficial dels dits.
  - Flexor profund dels dits.
  - Flexor llarg del polze.
4. Extensor de la mà a l'alçada del canell.
  - Extensor radial llarg del carp.
  - Extensor radial curt del carp.
  - Extensor cubital del carp.
5. Extensor dels dits.
  - Extensor dels dits.
  - Extensor de l'índex.

- Extensor del dit petit.
6. Extensor dels polze.
- Abductor llarg del polze.
  - Extensor curt del polze.
  - Extensor llarg del polze.

El múscul que falta dels 19 és el braquioradial, ja que es considera que no actua en els moviments del canell i la mà, però actua com a extensor de l'avantbraç.

Entre aquests músculs hi ha un equilibri funcional antagònic, atès que si un grup flexiona la mà l'altre per tal de produir el moviment, ha de realitzar la seva extensió. També existeix un equilibri morfològic en la disposició dels músculs, ja que per exemple, si el flexor cubital s'insereix en el costat del palmar del carp, el múscul que realitzarà el moviment contrari, l'extensor cubital, es disposarà just en la cara oposada, però en el mateix punt.

---

### 3.2.1 MÚSCULS FLEXORS

---

El grup 1, 2 i 3 són els anomenats músculs flexors i es troben a la cara anterior de l'avantbraç. Cinc d'aquests nou músculs són superficials mentre que la resta es troben en capes profundes.

#### CAPA SUPERFICIAL DELS MÚSCULS FLEXORS

---

En la capa superficial trobem: el pronador rodó, el flexor radial del carp, el palmar llarg, el flexor cubital del carp i el flexor superficial dels dits. Tots s'originen des d'un tendó comú situat en la cara anterior del colze.

- El pronador rodó consta de dos caps d'origen. El primer s'origina des de l'epicòndil<sup>7</sup> medial de l'húmer, que està unit al tendó comú, i el segon es troba inserit en una de les cares de l'apòfisi coronoides del cúbit. Aquests dos caps s'uneixen i descendeixen de forma obliqua fins



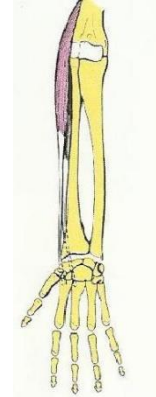
**Fig. 20:** Representació del múscul pronador rodó.

---

<sup>7</sup> Prominència d'un os situada per sobre d'una eminència articular.

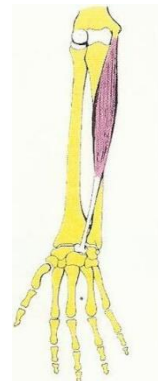
a aproximadament a la meitat del cos del radi. Aquest extrem d'inserció es troba tapat per un altre múscul, el braquioradial.

- El múscul flexor radial del carp és un múscul que majoritàriament està format per tendó. Aquest s'origina en el tendó comú i acaba allotjant-se en la base del metacarpí II, i freqüentment, en la base del metacarpí III.



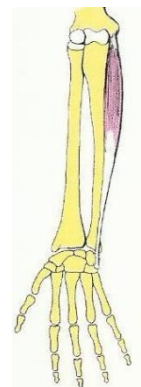
**Fig. 21:** Representació del múscul flexor radial del carp.

- El múscul palmar llarg s'origina en el tendó comú i s'estén en diagonal fins a arribar al canell. Aquest múscul constitueix la part principal de la aponeurosis<sup>8</sup>.



**Fig. 22:** Representació del múscul palmar llarg.

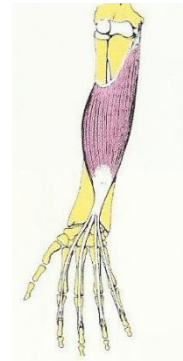
- El múscul flexor cubital del carp, igual que el pronador rodó, s'origina a partir de dos caps. Un connectat al tendó comú i un segon cap que s'origina en l'olècranon. S'uneixen poc després dels orígens i descendeixen verticalment fins a allotjar-se l'os carpià curt anomenat ganxut i en base del metacarpí V.



**Fig. 23:** Representació del múscul flexor cubital del carp.

<sup>8</sup> Capa fibrosa i molt resistent que cobreix alguns músculs i forma llurs terminacions i lligaments, en aquest cas és en la zona palmar de la mà.

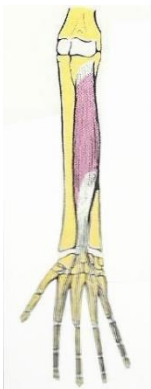
- El múscul flexor superficial dels dits té també dos caps d'origen. Un es troba en el tendó comú i el segon en la cara anterior del radi. Aquest múscul finalitza amb una doble inserció. La divisió superficial s'allotja en els dits mig (III) i anular (IV) i, la profunda finalitza en el polze (I) i en el dit petit (V).



**Fig. 24:** Representació del múscul superficial dels dits.

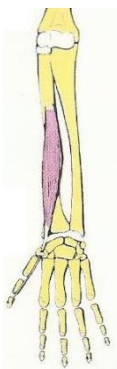
### CAPA PROFUNDA DELS MÚSCULS FLEXORS

La capa profunda es compon de 3 músculs: el flexor profund dels dits, el flexor llarg del polze i el pronador quadrat.



- El flexor profund dels dits comença des de la cara posterior del cúbit i descendeix verticalment fins al canell. En aquest punt es divideix en quatre tendons que passen per sota del retinacle flexor<sup>9</sup>. Aquests tendons acaben inserint-se en les falanges distals dels dits II (índex), III (mig), IV (anular) i V (dit petit).

**Fig. 25:** Representació del múscul flexor profund dels dits.



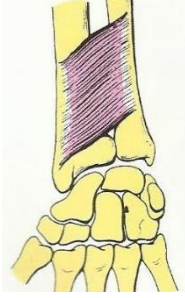
- El múscul flexor llarg del polze s'inicia just per sota de la tuberositat radial i descendeix verticalment fins a inserir-se en la falange distal<sup>10</sup> del polze, travessant així els dos ossos sesamoides<sup>11</sup>.

**Fig. 26:** Representació del múscul flexor llarg del polze.

<sup>9</sup> Estructura que reté un òrgan o un teixit en el seu lloc.

<sup>10</sup> Zona allunyada de la base o dels seu punt d'origen.

<sup>11</sup> Osset o cartílag nodular que es troba en els tendons i en la proximitat de certes articulacions o prominències òssies.



➤ El pronador quadrat s'origina en la part inferior del cúbit, per sobre de l'epífisi inferior, és a dir, l'extrem. Aquest múscul continua de manera horitzontal fins a inserir-se en la cara anterior del radi.

**Fig. 27:** Representació del múscul pronador quadrat.

### 3.2.2 MÚSCULS EXTENSORS

En la classificació dels músculs per grups falten esmentar els grups 4, 5 i 6. Aquests són els anomenats músculs extensors i es troben dividits en superficials, que consten de sis músculs, i en profunds, que consten de cinc. Aquests s'originen en un tendó comú situat en la cara externa del colze, just en l'epicòndil.

#### CAPA SUPERFICIAL DELS MÚSCULS EXTENSORS

En la capa superficial dels músculs extensors tenim el següents músculs: el braquioradial, l'extensor radial llarg del carp, l'extensor radial curt del carp, l'extensor dels dits, l'extensor del dit petit i l'extensor cubital del carp.

- El braquioradial apareix en l'extrem inferior de l'húmer, on sorgeix el tendó comú dels extensors, i descendeix fins a inserir-se en l'apòfisi estiloide del radi.



**Fig. 28:** Representació del múscul braquioradial.

- L'extensor radial llarg del carp s'origina just per sobre del tendó comú i descendeix fins a inserir el seu tendó en el dorsal del metacarpà II.



**Fig. 29:** Representació del múscul extensor radial llarg del carp.

- L'extensor radial curt del carp s'inicia en el tendó comú extensor i descendeix fins inserir-se en el dorsal del metacarpia III.



**Fig. 30:** Representació del múscul extensor radial curt del carp.

- El múscul extensor dels dits té el seu origen en el tendó comú dels extensors i descendeix fins al canell on es divideix en quatre tendons que s'expandeixen pel dorsal de la mà fins inserir-se en el dorsal de les falanges distals dels dits II, III, IV i V.



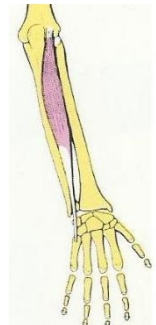
**Fig. 31:** Representació del múscul extensor dels dits

- El múscul extensor del dit petit és independent a la capa muscular extensora dels dits, ja que s'origina al seu costat i arriba fins a la falange distal V. Aquest múscul dóna un suport a l'extensor dels dits.



**Fig. 32:** Representació del múscul extensor del dit petit.

- El múscul extensor cubital del carp s'origina en el tendó comú dels extensors i descendeix fins adherir-se a la zona cubital del metacarpia V.



**Fig. 33:** Representació del múscul extensor cubital del carp.



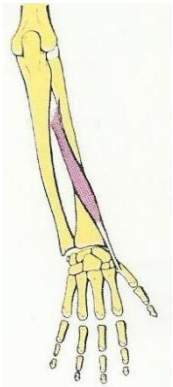
## CAPA PROFUNDA DELS MÚSCULS EXTENSORS

Els músculs extensors de la capa profunda estan situats just per sota de la capa superficial. Aquests músculs són: el supinador, l'abductor llarg del polze, l'extensor curt del polze, l'extensor llarg del polze i l'extensor de l'índex.



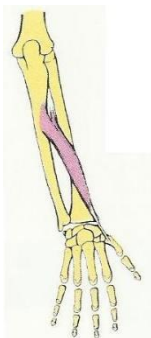
**Fig. 34:** Representació del múscul supinador.

- El supinador té múltiples punts d'origen que engloben l'articulació del colze i que descendeixen lateralment fins quasi donar la volta a la superfície superior de la diàfisi del radi. A mesura que es va enrotllant en el radi va creant una segona làmina superficial que la complementa.



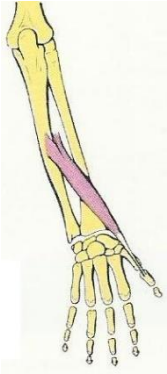
**Fig. 35:** Representació del múscul abductor llarg del polze.

- L'abductor llarg del polze està situat just a sota de l'origen del supinador. Aquest múscul descendeix juntament amb l'extensor curt del polze i acaba inserint el seu tendó en la cara radial de la base del metacarpí del polze.



**Fig. 36:** Representació del múscul extensor curt del polze.

- L'extensor curt del polze té dos punts d'origen. Un està situat en la part inferior interna del radi i el segon punt s'origina a partir de l'abductor del polze. Els orígens s'uneixen i descendeixen de manera que finalment s'allotgen en la base de la falange proximal del polze.



- L'extensor llarg del polze s'origina en la part mitja del cos del cúbit i descendeix de manera obliqua travessant els tendons de la capa superficial fins inserir-se en la base de la falange distal del polze.

**Fig. 37:** Represnetació del múscul extensor llarg del polze.



- L'extensor de l'índex té l'origen per sota de l'extensor del polze i descendeix fins arribar al dit índex inserint-se al costat dels extensors profunds dels dits. Això permet una ajuda en l'extensió de l'índex.

**Fig. 38:** Represnetació del múscul extensor de l'índex.

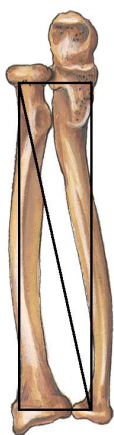
## 4. FISIOLOGIA DE L'AVANBRAÇ

---

La fisiologia és la branca de la biologia que estudia totes les funcions, reaccions i mecanismes que permeten que un organisme orgànic, és a dir, un organisme viu pugui viure i realitzar les seves necessitats.

En aquest cas parlarem de la fisiologia aplicada a l'avantbraç en funció a la seva estructuració òssia i muscular.

Per part de l'estructuració òssia, que s'ha esmentat en l'apartat anterior, podem observar que el radi i el cúbit estan disposats de manera conjunta i pròxima.



A aquest conjunt se'l denomina *marc radio-cubital*. Aquesta denominació permet dividir l'avantbraç en una zona externa, el radi, i en una interna, el cúbit, atès que el marc radio-cubital es disposa en la forma d'un rectangle que es pot dividir per la meitat amb una línia en diagonal que uneix els dos extrems petits dels dos ossos.

**Fig. 39:** Representació de la forma rectangular que forma el marc radio-cubital.

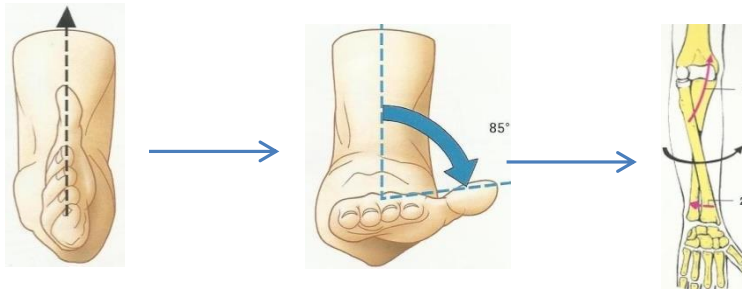
Aquesta diagonal, en realitat, és una xarnera que permet que el radi pugui articular-se, girar i sobreposar-se al cúbit amb una disposició de moviment de quasi 180°. En aquesta rotació hi ha tres tipus de posicions: la posició anatòmica, la posició de pronació i la posició de supinació.

- La posició anatòmica o posició zero és la posició inicial que determina la posició, la direcció i l'amplitud del moviment de la pronació o de la supinació. Aquesta posició ve regida per la col·locació del polze amunt i el palmell de la mà cap a l'interior del cos.



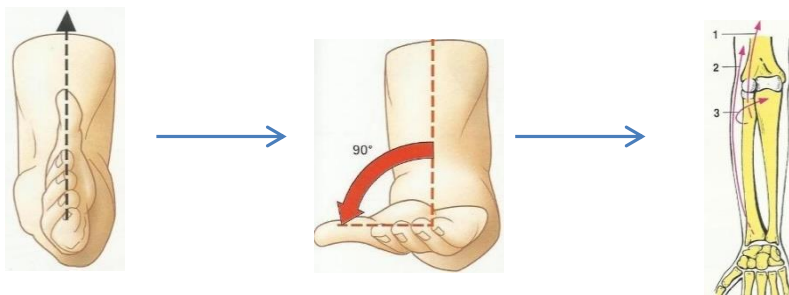
**Fig. 40 :** Posició anatòmica.

- La posició de pronació es realitza quan el palmell de la mà mira cap a baix i tenim el polze dirigit cap a l'interior, és a dir, una rotació en direcció interna al cos. Aquesta rotació aconseguix que el radi passi per sobre del cúbit amb una llibertat de  $85^\circ$ . Per aconseguir la pronació s'utilitzen dos músculs: el pronador quadrat i el pronador rodó.



**Fig. 41:** Representació del moviment de pronació a nivell global i ossi.

- La posició de supinació realitza l'acció inversa a la de la pronació, és a dir, el palmell de la mà mira cap amunt i el polze s'enfoca a l'exterior del cos. En aquest cas, la rotació és cap a la zona externa del cos i arriba als  $90^\circ$ . Per aconseguir aquest moviment es necessiten dos músculs. El braquioradial i el supinador.



**Fig. 42:** Representació del moviment de supinació a nivell global i ossi.

## 5. ANATOMIA DE LA MÀ

---

La mà és una zona anatòmica que s'estén des de l'articulació radio-carpiana o bé distal, la qual s'ha esmentat abans, fins a les falanges distals, que són els últims ossos dels dits. El que es farà en aquest apartat serà separar la mà en dues peces per tal de tenir una secció carpiana i metacarpiana, denominada canell, i una secció que constarà només les falanges I (polze), II (índex), III (mig), IV (anular) i V (dit petit).

### 5.1 ANATOMIA DEL CARP

---

#### 5.1.1 CONSTITUCIÓ ÒSSIA

---

El canell, la part anatòmica que segueix l'avantbraç, té una estructura òssia que consta de vuit ossos curts dividits en dues fileres. Aquests tenen una constitució cúbica per tal d'aconseguir fixar-se amb els altres carpians i per poder inserir-se tendons terminals i vasos sanguinis. La primera fila, la més pròxima a la base, s'anomena proximal i la que es troba més lluny s'anomena distal.



Fig. 43: Representació de la l'articulació radio-carpiana desglossada per poder veure els components que la formen.

- L'escàfoide és el primer, i el més gran, dels quatre ossos de la filera proximal si es mira des del radi fins a la zona cubital. Consta d'una cara articular que contacta amb una de les cavitats de la glenoide radial, una altra cara llisa triangular i còncava que acobla el trapezi, carpià de la fila distal, i una cara que presenta dues cavitats articulades pel semilunar, carpià de la filera proximal, i el gran, carpià de la filera distal.



Fig. 44: Marcat en blau es mostra l'escàfoide.

- El *semilunar* és el segon os carpià de la fila proximal i com el seu nom indica la seva forma sembla la de la lluna en estat creixent. Com tots els carpians consta de sis cares. Una d'elles, la més pròxima al radi, es col·loca en la segona cavitat de la glenoide radial. La cara contrària té una forma còncava per tal de mantenir un contacte amb dos carpians distals, el gran i el ganxut. Dues cares laterals contacten amb l'escafoide i amb el piramidal. La resta de cares com a molts dels carpians no entren en contacte amb cap os.



**Fig. 45:** Marcat en verd es mostra el semilunar.

- El *piramidal*, el tercer carpià proximal, té forma de piràmide i pel que fa la seva disposició la seva base està enfocada al semilunar i el cim entra en contacte amb el pisiforme.



**Fig. 46:** Marcat en groc es mostra el piramidal.

- El *pisiforme* és el carpià més petit i és considerat gairebé com un os sesamoide. De les sis cares que té només la inferior entra en amb piramidal.



**Fig. 47:** Marcat en vermell es mostra el pisiforme.

- El trapezi és el primer carpià de la fila distal si seguim l'ordre anterior. La seva cara interna s'articula amb l'escafoide mentre que la seva cara distal entra en contacte amb el trapezoide, amb el metacarpí I i el metacarpí II. Cal destacar que la seva cara superior té un desnivell que permet passar els tendons flexors radials del carp.



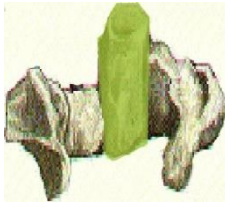
**Fig. 48:** Marcat en blau fosc es mostra el trapezi.

- El trapezoide és el segon carpià distal. Aquest contacta lateralment amb el trapezi i amb el gran. Mentre que la cara interna està en contacte amb l'escafoide i per l'altra banda subjecta la base del metacarpà II.



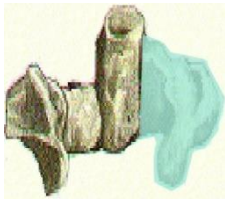
**Fig. 49:** Marcat en rosa es mostra el trapezoide.

- El gran del carp és el carpià més gran del conjunt i ocupa la secció central del canell. Degut a les seves grans dimensions pren contacte amb diversos carpians; per la zona proximal contacta amb l'escafoide i el semilunar; per la part distal encaixa amb la base del metacarpà III i el metacarpà II; pel lateral radial, és a dir, el lateral més proper al radi entra en contacte amb el trapezoide i per l'altre costat contacta amb el ganxut.



**Fig. 50:** Marcat en verd es mostra el gran.

- El ganxut és l'últim carpià distal i s'anomena així perquè consta d'una apòfisi en forma de ganxo en la part superior i és el que completa la secció del carp. Aquest os curt per la cara proximal entra en contacte amb tres carpians: el semilunar, el piramidal i el pisiforme. I per la part distal subjecta la base dels metacarpians IV i V.



**Fig. 51:** Marcat en blau cel es mostra el ganxut.

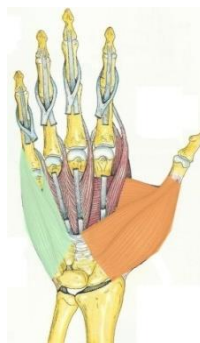


### 5.1.2 CONSTITUCIÓ MUSCULAR

La secció del carp només consta d'una superfície muscular centrada en la zona palmar de la mà. En aquesta regió se centren els músculs de l'*eminència tènar*, massa muscular que es troba en la base del polze, i l'*eminència hipotènar*, massa muscular que es troba en la base del dit petit.

Cada eminència consta de tres músculs:

- Múscul abductor curt.
- Múscul flexor curt.
- Múscul oponent.



**Fig. 52:** Representació dels músculs palmars: el tènar (polze) i la hipotènar (dit petit).

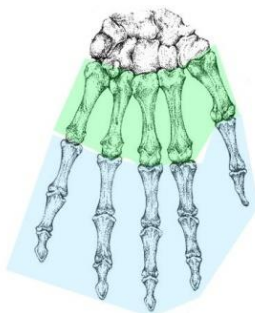
Aquests músculs s'originen en els carpians laterals del carp. En el cas de l'*eminència tènar* s'originen dels carpians *escafoide* i *trapezi*. Mentre que, en el cas de l'*eminència hipotènar* s'originen en els carpians *pisiforme* i *ganxut*. La inserció d'aquests músculs es realitzen en la falange proximal de la base dels respectius dits.

En la zona central de la regió palmar es troben cinc músculs. Quatre d'aquests són anomenats músculs lumbricals<sup>12</sup> i s'originen gràcies a que estan associats al múscul flexor dels dits, és a dir, s'originen a partir del seu tendó. El múscul restant és l'adductor del polze que s'origina en el carpià gran del carp i en la base dels metacarpians II i III i s'insereix mitjançant un tendó a la base de la falange proximal del polze.

<sup>12</sup> Denominació als quatre músculs que connecten el palmar de la mà amb les diàfisis dels dits.

### 5.2 ANATOMIA DE LES FALANGES

Anatòmicament, després de la zona carpiana tenim la zona de les falanges. Aquesta zona està constituïda per catorze falanges dividides de manera que el polze en tingui dos i la resta de dits tres. A més a més. Tenim cinc ossos més en aquesta zona que són els metacarpians, la base de ossada que suporta les falanges. Així doncs, obtenim un total de 19 ossos en la zona de les falanges.



**Fig. 53:** Representació del metacarpians (verd) i de les falanges (blau).

Els metacarpians són ossos que es classifiquen en metacarpiana I (polze), II (índex), III (mig), IV (anular) i V (dit petit). I la seva estructura està dividida en tres parts: la base, el cap i la diàfisi.

La base de cada metacarpiana té una forma cúbica i està articulada als seus respectius carpians distals.

En canvi, el cap consta d'una estructura més esfèrica per articular les falanges proximals i per la inserció de tendons i vasos sanguinis.

El metacarpiana I és el més petit i el més robust de tots, atès que es tracta del polze. Aquest metacarpiana està lleugerament torçat cap el palmell, ja que té la finalitat de poder subjectar els objectes i realitzar la prensió amb més seguretat.

El metacarpiana II (índex) és el més llarg de tots i conté dues cavitats articulades en la base per tal d'acoblar el trapezoide.

El metacarpiana III (mig) és similar en estructura i mides al metacarpiana II, però aquest té una apòfisi en la base per tal de poder englobar tota la part distal del gran de la zona carpiana.

El metacarpità IV (anular) és similar tant en estructura com en mides al metacarpità II i III, però aquest metacarpità conté dues cavitats articulades no només pel seu respectiu carpià, el ganxut, sinó que també s'articula amb la base del metacarpità V.

El metacarpità V (dit petit) és l'últim metacarpità. Consta d'una base cúbica amb dues cares articulades per poder-se col·locar amb el metacarpità IV i per poder suportar el ganxut.

Les falanges només es diferencien dels metacarpians per una sèrie de característiques:

Els extrems de fixació són tots còncaus per aconseguir una flexió i extensió totalment directe de les falanges.

En tots els caps hi ha una sèrie de tuberositats per la inserció de tendons, lligaments i vasos sanguinis.

La inserció entre les falanges té molt poca profunditat i actua com una politja.

## 6. FISIOLOGIA DE LA MÀ

---

En la regió de la mà, la fisiologia l'hem de dividir en quatre seccions: l'articulació radio-carpiana, l'articulació carpo-metacarpiana l'articulació metacarpo-falàngica, i l'articulació interfalàngica.

L'articulació radio-carpiana; regió que engloba el glenoide radial, l'extrem inferior del radi i del cúbit, és l'encarregada de poder reproduir els moviments de flexió, extensió, abducció i adducció mitjançant la tensió-relaxació d'alguns músculs.

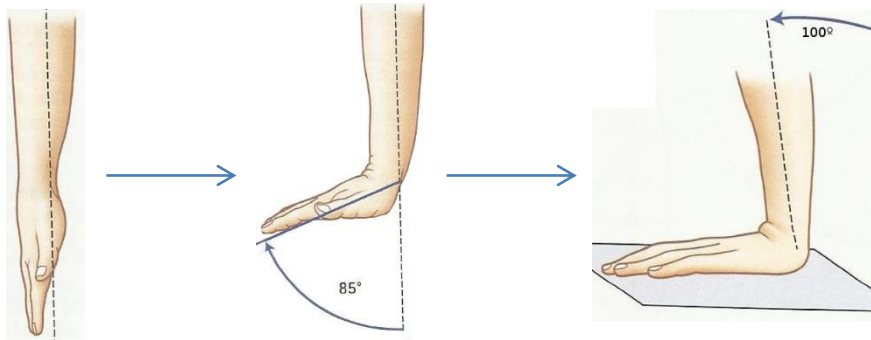
- La flexió es produeix quan els músculs flexors es tensen i amb ells els seus respectius tendons, mentre que els músculs extensors es relaxen, estirant així de la zona carpiana palmar. Aquests tendons passen per sota del retinacle flexor i són: el flexor llarg del polze, el flexor superficial dels dits i el profund. La zona que engloba aquests tendons amb el retinacle flexor s'anomena túnel carpià i és el que delimita l'amplitud del moviment. I així doncs, la flexió és un moviment que aproxima la zona palmar de la mà a la zona anterior de l'avantbraç amb una llibertat de  $85^{\circ}$  respecte la posició anatòmica, sense forçar-lo. Mentre que recolzant la mateixa mà aconseguim una amplitud de  $95^{\circ}$



**Fig. 54:** Representació del moviment de flexió normal i forçat.

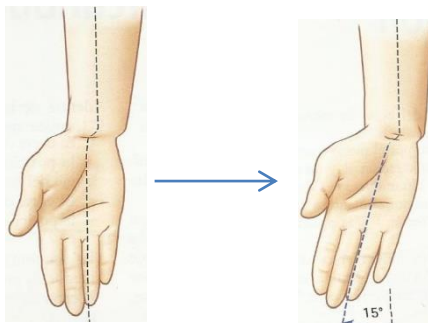
- L'extensió es produeix a la inversa de la flexió. En aquest moviment els que estiren i tensen són els tendons de la zona carpiana dorsal: l'extensor curt del carp, l'extensor llarg del carp, l'extensor llarg del polze, l'extensor dels dits i l'extensor de l'índex. Tots aquests músculs estan per sota del retinacle extensor que es troba en la cara dorsal del

canell inserint-se en la cara dorsal dels carpians i dels metacarpians. L'amplitud d'aquest moviment, sense forçar, és igual que la flexió, arriba a uns  $85^\circ$ . Mentre que si es força el moviment d'extensió, recolzant la mà en qualsevol superfície, pot arribar a una amplitud de  $100^\circ$ .



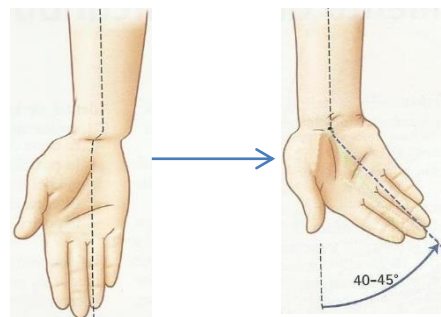
**Fig. 55:** Representació del moviment d'extensió normal i forçat.

- L'abducció és un dels moviments en el qual s'utilitza uns quants músculs extensors que passen per sota del retinacle extensor i que també serveixen per l'extensió. S'utilitzen l'abductor llarg del polze i l'extensor curt del polze. En l'abducció el que s'aconsegueix és provocar una inclinació dirigida al radi. Aquesta inclinació agafa un angle de  $15^\circ$  respecte la posició anatòmica.



• **Fig. 56:** Representació del moviment d'abducció.

- L'adducció és un moviment que utilitza uns quants músculs de la capa flexora: l'extensor de dit petit i l'extensor cubital del carp. L'adducció crea una inclinació dirigida al cúbit amb un grau de llibertat de  $40^\circ$  fins a  $45^\circ$ , aquesta diferència és deguda a la força aplicada als músculs.

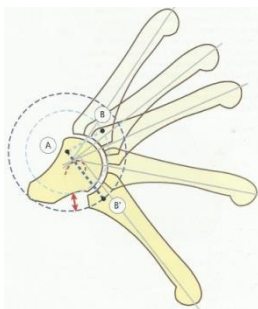


**Fig. 57:** Representació del moviment d'adducció.

Hi ha un cinquè moviment que s'anomena circuïció, que és un moviment continu que no crea una circumferència completa però que utilitza els quatre moviments esmentats: la flexió, l'extensió, l'abducció i l'adducció.

L'articulació carpo-metacarpiana està dividida en dos degut a que la del polze és directament independent a la dels altres quatre dits. La funció de les dues parts de l'articulació és la mateixa i té la finalitat de facilitar als músculs l'extensió i la flexió dels cinc metacarpians que hi ha a la mà. La llibertat que tenen els metacarpians és molt petita respecte les que hem estat parlant fins ara, ja que quasi és nul·la i passa inadvertida davant de la resta de moviments.

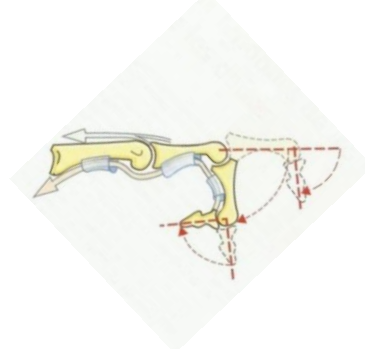
L'articulació metacarpo-falàngica és la que aconseguix que les falanges proximals de cada dit o la distal en el cas del polze, puguin flexionar-se amb una llibertat de quasi 90° a cada dit i estendre's amb un límit menor d'entre 30° i 40°. Això s'aconsegueix gràcies a que els extrems en què es troben en contacte ambdós ossos de cada dit són una estructura gairebé esfèrica. Per



poder-se mantenir fixa existeixen unes petites fibres que enllacen els dos caps col·laborant juntament amb els músculs extensors i flexors dels dits.

**Fig. 58:** Reproducció de moviment de l'articulació metacarpo-falàngica.

L'articulació interfalàngica és la que es troba entre les falanges proximals, medials i distals dels dits, exceptuant el polze. Aquesta articulació és similar estructuralment a la de la metacarpo-falàngica, ja que els extrems que tenen són quasi esfèrics. En aquesta articulació el grau de flexió va augmentant progressivament. L'enrotllament és constant, ja que a cada part de la falange es flexiona un màxim de 90°. En aquesta articulació no hi ha moviment d'extensió, atès que només pot arribar a la posició anatòmica.



**Fig. 59:** Reproducció de moviment de l'articulació interfalàngica.

---

MARC PRÀCTIC

---



## 7. CONSTRUCCIÓ DE LA PRÒTESI

---

### 7.1 MATERIAL

---

Per realitzar la construcció s'han hagut d'emprar els següents materials (Annex IV):<sup>13</sup>

- Planxa d'alumini de 100 cm x 50 cm x 0,05 cm.
- Tisores de planxista (especials per tallar alumini).
- Boles de precisió d'acer.
  - 1 bola de 4 cm.
  - 1 bola de 2 cm.
  - 4 boles de 1,4 cm.
- Politges de niló.
  - 1 politja de 3 cm.
  - 7 politges de 2 cm.
- Volanderes còniques.
  - 8 volanderes de 2 cm exterior i 1,2 cm intern.
  - 2 volanderes de 3 cm exterior i 1,8 cm intern.
- Volanderes planes.
  - 2 Volanderes de 4,5 cm exterior i 3,5 cm interior.
- Natural 21 soldadura en fred.
- Fil de pescar de 0,05 cm.
- Placa Servo Controller 21 Channel<sup>14</sup> model SD21.
- 16 servos (motors bidireccionals).
- Cable de programació Picaxe027.

---

<sup>13</sup> Les mesures fan referència al diàmetre.

<sup>14</sup> Nom del producte en anglès. Tracta d'una placa base habilitada per controlar motors.

### 7.1.2 COSTOS

El material emprat per la pròtesi s'ha hagut de comprar en diversos establiments. Això vol dir, que cada peça ha tingut el seu respectiu preu variant la demanda del producte a l'establiment. Es farà una taula dels costos, en general, del material.

<b>Productes</b>	<b>Preu (€) + IVA</b>
Planxa d'alumini	45.25
Volanderes	1.62
Volanderes còniques	11.12
<sup>15</sup> Bola d'acer 4 cm	21.78
Placa base + microprocessador	45.09
Cable de programació	16.32
Motors bidireccionals	133.60
Soldadura en fred	10.26
Politges	11.08
<b>Total</b>	<b>296.12</b>

Aquest material s'ha pogut adquirir gràcies a la beca d'excel·lència de batxillerat que subvenciona la Generalitat de Catalunya.

Aquest preus es poden veure en els rebuts de les compres de cada establiment (Annex III). Però, malgrat tenir els rebuts del material moltes peces que s'han comprat no figuren en cap rebut per tenir uns preus relativament baixos.

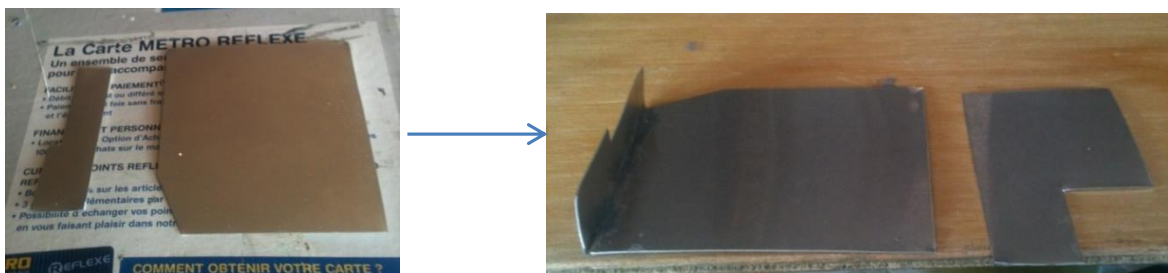
<sup>15</sup> Aquí només apareix el preu d'una sola bola perquè les altres eren a un preu més baix i no va fer-se un rebut.

## 7.2 PROCÉS DE CONSTRUCCIÓ

1. S'han agafat les mides, a escala real, del propi avantbraç i aquestes mesures s'han passat a un plànol DIN-A3 tant de perfil com de planta (Annex I) i, posteriorment, a format digital mitjançant el programa AutoCad (Annex II).
2. Agafant una idea del tipus d'estructura que s'havia de crear a partir dels plànols virtuals s'ha anat desglossant la pròtesi en diferents parts: l'avantbraç, el palmell de la mà, el dorsal de la mà i les falanges. Aquestes divisions permetran una millor construcció de la pròtesi.
3. Un cop passades les mesures a la planxa d'alumini, aquesta, s'ha tallat amb unes tisores de planxista per tal que no es doblegui la planxa.
4. Un cop tallades les peces s'han etiquetat per tal de diferenciar-les i posteriorment s'ha començat a muntar l'esquelet extern mitjançant cinta adhesiva. L'ús de la cinta adhesiva és perquè si hi hagués alguna errada de mesura es podria arreglar el problema sense necessitat de trencar la soldadura i d'espatllar la pròtesi.
5. Un cop l'esquelet extern ja ha encaixat i s'ha soldat amb la soldadura en fred s'han anat encaixant les volanderes que faran la funció d'articulacions com el canell i les falanges.



Fig. 60: Construcció de l'avantbraç.





**Fig. 61:** Construcció de la zona de la mà.



**Fig. 63:** Construcció de l'articulació dels dits.



**Fig. 62:** Construcció de l'articulació del canell.



**Fig. 64 :** Mostra de la construcció de la pròtesi.

6. Un cop s'ha muntat la part externa i la soldadura en fred s'ha endurit, s'ha muntat el sistema electrònic i s'ha començat per la placa base. En la placa base la majoria dels components ja venien soldats però s'ha hagut de soldar i fixar un parell de components com l'entrada de programació i l'entrada de dades mitjançant tres cables de coure. També s'ha hagut de fixar el microprocessador 18M2.



**Fig. 65:** Procés de la soldadura de components a la placa base.

7. Posteriorment, s'han muntat els motors bidireccionals amb els plats corresponents, ja que han de subjectar els fils que faran girar reproduint els moviments de flexió, extensió (de la mà i les falanges), i l'abducció i l'adducció de la mà. I s'han connectat en les seves ranures corresponents.
8. S'han creat les dades d'ordre que rebrà la placa base a partir del programa de Picaxe de programació.
9. Finalment, s'ha connectat tot el projecte i s'han realitzat proves per tal d'obtenir el resultat esperat. I, malauradament, en una de les proves la pròtesi no ha pogut aguantar el pes d'una falange i s'ha hagut de treure.

Per veure tot el procés detallat veure Annex VI.

### 7.3 SUBSTITUCIÓ DE LA PART ANATÒMICA

Les peces que componen la mà artificial i el perquè de la seva elecció s'exposen a continuació:

<b>Part anatòmica</b>	<b>Material de substitució</b>	<b>Raó de l'elecció</b>
Constitució òssia	Alumini	L'alumini és un dels metalls més modelables i més econòmics del mercat.
Constitució muscular	Fil de pescar	El fil de pescar està fet normalment de niló, un component molt resistent a l'aplicació de tensions.
Articulacions	Boles de precisió/ Politges	Boles de precisió: Fetes d'acer oposen la mínima resistència al fregament d'altres metalls. A més a més, la seva durabilitat és major en comparació amb la d'altres metalls. Politges: Fetes de niló permeten una bona adhesió del fil de pescar.
Sistema motor	Components electrònics	Els elements electrònics escollits s'adequaven en forma i preu a les recomanacions d'un expert.

### 7.4 SUBSTITUCIÓ DE LA PART MOTORA

Els elements que substituiran la part motora de l'avantbraç, és a dir, els impulsos nerviosos que s'envien des del cervell fins a la zona específica i la simulació de senyals serà un sistema electrònic dirigit per un software, anomenat Picaxe Programming Editor, i un hardware per portar a terme aquestes ordres i senyals.

## 7.4.1 SOFTWARE

El software (conjunt de programes, procediments, documentació i dades associades que formen part de les operacions del sistema) utilitzat és un programa totalment gratuït, ja que sol estar enfocat per l'aprenentatge de la programació per a estudiants.

El Picaxe Programming Editor és un programador que funciona a partir d'una sèrie d'ordres escrites amb un ordre lògic. Cada ordre té la seva abreviatura i una finalitat específica. Els comandaments utilitzats són els següents (Annex V):

Abreviatura	Significat
Symbol.	Marca el següent concepte com a registrat en la placa base.
Serrxd.	Enviar la informació mitjançant un port d'entrada.
Sertxd.	Informació que es mostra a l'ordinador quan se selecciona un cas.
Case.	Defineix quin codi s'ha de llegir del programa.
If... then.	Marca les condicions que cal seguir.
Pause	Determina els segons d'espera.
i2cslave \$c2, i2cslow, i2cbyte	Dades que permeten moure el motor.
Writei2c	Comandament que engega el motor segons l'ordre de sentit positiu (p) o negativa (n).

**Un exemple d'ús de comandaments del programa és el següent:**

```
#Picaxe 18M2
main:
serrxd b1                               ;Ordre pel començament de la lectura dels codis
select case b1
case "1"
sertxd(.b1," switched on. ")           ;Cas número 1
high B.2                                ;S'engega el primer motor
sertxd("waiting for command...",13,10);El motor gira en sentit horari a velocitat normal
case "2"
sertxd(.b2," switched on. ")           ;Cas número 2
low B.2                                  ;S'engega el motor 2
sertxd("waiting for command...",13,10);El motor gira en sentit horari a velocitat baixa
endselect
goto main                                ;Fi de la lectura i s'espera la següent ordre
```

**Fig. 66:** Llenguatge informàtic emprat en el programa Picaxe Programming Editor.



### 7.4.2 HARDWARE

---

El hardware (conjunt de part físiques d'un sistema informàtic) serà el que dugui a terme les accions del servei a terme, és a dir, realitzarà les ordres que el software l'anirà enviant. Les peces que formen el hardware són:

- 16 servos (motors bidireccionals).
- Placa base 21 Channel Servo Controller model SD21.
- Microprocessador 18M2.
- Cable USB Picaxe027.

### 7.4.3 FINALITAT DE LA SUBSTITUCIÓ MOTORA

---

La part motora aplicada a la pròtesi articulada funciona de la següent manera:

La placa base, Servo Controller 21 Channel, s'engega mitjançant un parell de piles de 5 volts. Aquesta placa té connectada 16 motors bidireccionals, servos, que rotaran en sentit horari i sentit antihorari amb un grau de llibertat de 180° i que funcionaran a partir dels missatges de l'ordinador i que rebrà la placa base mitjançant un port USB i un port d'entrada a la placa base. Aquest USB està connectat a l'ordinador i al port d'entrada de la base per poder enviar els missatges que es tindran en el software, Picaxe Programming Editor.

Per exemple, quan l'ordinador doni un senyal de tancar la mà el missatge surt des del programa, passa pel cable USB i arriba a la placa base, on aquí el microprocessador llegirà el missatge i mitjançant l'energia aportada per les piles podrà moure el motor adequat, esperar, i tornar-lo a posar en l'ordre desitjat.

Malgrat tenir tot el material necessari, la pròtesi no podrà realitzar tots els moviments de la mà, ja que és molt difícil reproduir-los tots a la perfecció.



## 8. CONCLUSIONS

---

Durant la realització d'aquest treball he arribat a una sèrie de conclusions. Unes reflecteixen els objectius del treball, altres no ho fan explícitament i altres són de caire personal.

La realització, d'un projecte de construcció d'un sistema electro-mecànic, com aquesta pròtesi, ha tingut una sèrie de limitacions a causa de l'enorme complexitat inherent al funcionament del model orgànic que tracta de simular aquest enginy. Les capacitats motrius i la subtileza funcional de la mà real està encara molt lluny de poder reproduir-se totalment en una pròtesi artificial.

A continuació assenyalo els moviments o habilitats motrius que la pròtesi construïda amb motiu d'aquest treball de recerca no ha pogut reproduir:

□ La circuïció i la rotació en direcció supinació i pronació no han estat assolides perquè el cost final de la pròtesi hagués estat massa elevat. Aquestes capacitats biomecàniques requereixen d'una peça específica, anomenada eix de rotació, que permet un moviment de rotació sobre si mateixa.

□ La màxima flexió que podria adquirir l'enginy biomecànic tant en la part que simula el canell com en la que correspon a les falanges no ha estat assolida completament, ja que s'han utilitzat uns motors bidireccionals que tan sols aconseguen girar un màxim de 180° respecte del seu eix. Tampoc s'ha pogut realitzar cap moviment de la falange III perquè en el període de proves s'ha espatllat i s'ha tret.

No obstant aquestes limitacions, he assolit grans èxits en relació a la part motora perquè la pròtesi aconseguix els moviments bàsics que pot fer una mà com la flexió limitada, l'extensió, l'abducció, l'adducció i la flexió i extensió de les falanges.

En relació als objectius dels treball puc concloure que la fita de construir una pròtesi mecànica de l'avantbraç humà controlada electrònicament, i a baix cost,

no és possible pels estàndards d'un estudiant de batxillerat. Efectivament he comprovat que el pressupost necessari per construir l'enginy amb màximes capacitats supera de llarg les meves expectatives inicials i, per tant, no he pogut demostrar que el projecte sigui a l'abast de tothom.

Puc concloure que aquest treball de recerca ha assolit l'objectiu d'aprofundir en els coneixements d'anatomia de l'extremitat superior humana, amb èmfasi en la mà, així com en el coneixement de les seves capacitats biomecàniques i característiques fisiològiques. Aquests coneixements m'han permès simular el model orgànic en un de mecànic tot considerant que l'enorme complexitat de la biomecànica de l'avantbraç humà suposen un autèntic repte per a les meves capacitats en aquest moment de la meva formació com alumne de batxillerat .

També he adquirit coneixements d'electrònica que he posat en pràctica en la vessant del control computeritzat de la pròtesi, tot aconseguint un assemblatge del sistema motor amb l'entorn d'un software de comandament mercès al concurs d'una placa electrònica.

Finalment, a nivell personal, puc concloure que he pogut veure el propi esperit de superació i la motivació de portar a terme aquest treball. Si faig una valoració i una reflexió personal s'ha pogut entendre que qualsevol persona pot realitzar el que es proposa si treballa de manera constant i li apassiona realment el que està fent.

## 9. BIBLIOGRAFIA

---

H. NETTER, Frank- *Sistema Musculoesquelético anatomía, fisiología y enfermedades metabólicas (Tomo 8.1 A)*, Salvat, 1991, Colección Ciba de Ilustraciones médicas.

A. I. Kapandji- *Fisiología Articular: esquemas comentados de mecànica humana, (Tomo 1 Hombro, Codo, Prosupinación, Muñeca y Mano)*, Editorial médica Panamericana, 6ª Edición, 2006, Maloine.

MIRALLES MARRERO, Rodrigo C.; MIRALLES RULL, Iris. *Biomecánica clínica de las patologías del aparato locomotor*, Elsevier, Masson, 2007.

Fucci, S., Benigni M. i Fornasari, V – *Biomecánica del aparato locomotor aplicada al acondicionamiento muscular*, Elsevier, 4ª Edición, 2003

## 10. WEBGRAFIA

---

Anatomia:

[http://webs.uvigo.es/mmegias/a-imagenes-grandes/muscular\\_liso.php](http://webs.uvigo.es/mmegias/a-imagenes-grandes/muscular_liso.php)

<http://unefaanatomia.blogspot.com.es/2008/04/esqueleto-apendicular.html>

[http://www.felipeisidro.com/curso\\_direccion\\_programas\\_fitness/anatomia\\_y\\_fisiologia/22\\_codo.pdf](http://www.felipeisidro.com/curso_direccion_programas_fitness/anatomia_y_fisiologia/22_codo.pdf)

<http://www.angelfire.com/weird/medicine/anato4.html>

<http://www.knowledgerush.com/kr/encyclopedia/Carpus/>

<http://dc390.4shared.com/doc/IMeZZcpP/preview.html>

<http://www.ugr.es/~dlcruz/tablas/21.htm>

Sistema musculoesquelètic:

<http://www.mcgraw-hill.es/bcv/guide/capitulo/8448199197.pdf>

[http://iespadremoretirubide.educacion.navarra.es/departamentos/educacion\\_fisica/04conceptos%20entrenamiento/4.1aparatolocomotor/0006.pdf](http://iespadremoretirubide.educacion.navarra.es/departamentos/educacion_fisica/04conceptos%20entrenamiento/4.1aparatolocomotor/0006.pdf)

Electrònica:

<http://www.picaxe.com>

<http://www.picaxe.com/Software/PICAXE/PICAXE-Programming-Editor/>

Altres fonts:

<http://www.muyinteresante.es/tecnologia/articulo/nobel-de-ingenieria-para-la-mano-bionica>

<http://dlc.iec.cat/results.asp>

Imatges:

<http://infogr.am/Biomecanica-17682>

<http://www.quirobody.com/anatomia.html>

<http://www.knowledgerush.com/kr/encyclopedia/Carpus/>

<http://fisioterapia.blogspot.com.es/2012/08/la-escapula-movimientos-y-musculos.html>

<http://fisiostar.com/anatomia/columna-vertebral/.html>

<http://www.lasarticulaciones.com/las-articulaciones-sinartrosis/>

<http://www.anatomiahumana.ucv.cl/efi/modulo4.html>

<http://introduccionalapm.blogspot.com.es/2011/05/articulacion-de-la-muneca.html>

[http://www.the-sportsclinic.com/injury\\_biceps\\_tendinitis.html](http://www.the-sportsclinic.com/injury_biceps_tendinitis.html)

<http://forocubanacanpress.wordpress.com/2010/06/01/el-intestino-y-sus-funciones-por-ismely-iglesias-martinez/>

[http://elmundodelmusculo.blogspot.com.es/2012\\_11\\_01\\_archive.html](http://elmundodelmusculo.blogspot.com.es/2012_11_01_archive.html)

<http://www.studyblue.com/notes/note/n/the-skeleton-bio004-practicum-2/deck/7644139>

[http://www.4shared.com/all-images/PB4YbjZp/esquemas\\_-imagenes-.html](http://www.4shared.com/all-images/PB4YbjZp/esquemas_-imagenes-.html)

<http://maestrosenaccion2011.blogspot.com.es/2013/10/esqueleto-humano.html>

## 12. ANNEXES

---

---

### ANNEX I: PLÀNOLS A PAPER

---

#### PLÀNOL DE PERFIL

---

---

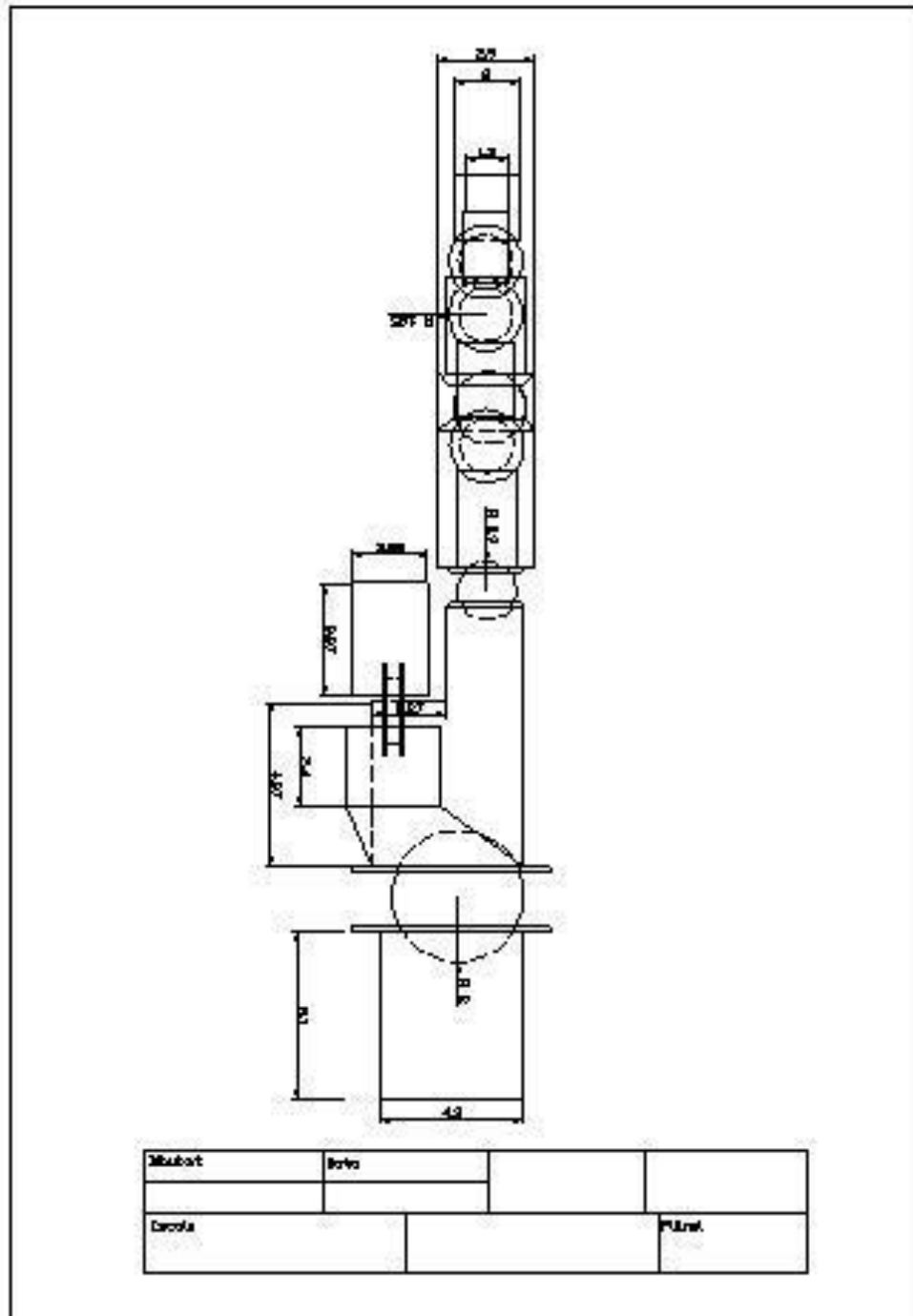
---

## PLÀNOL DE PLANTA

---

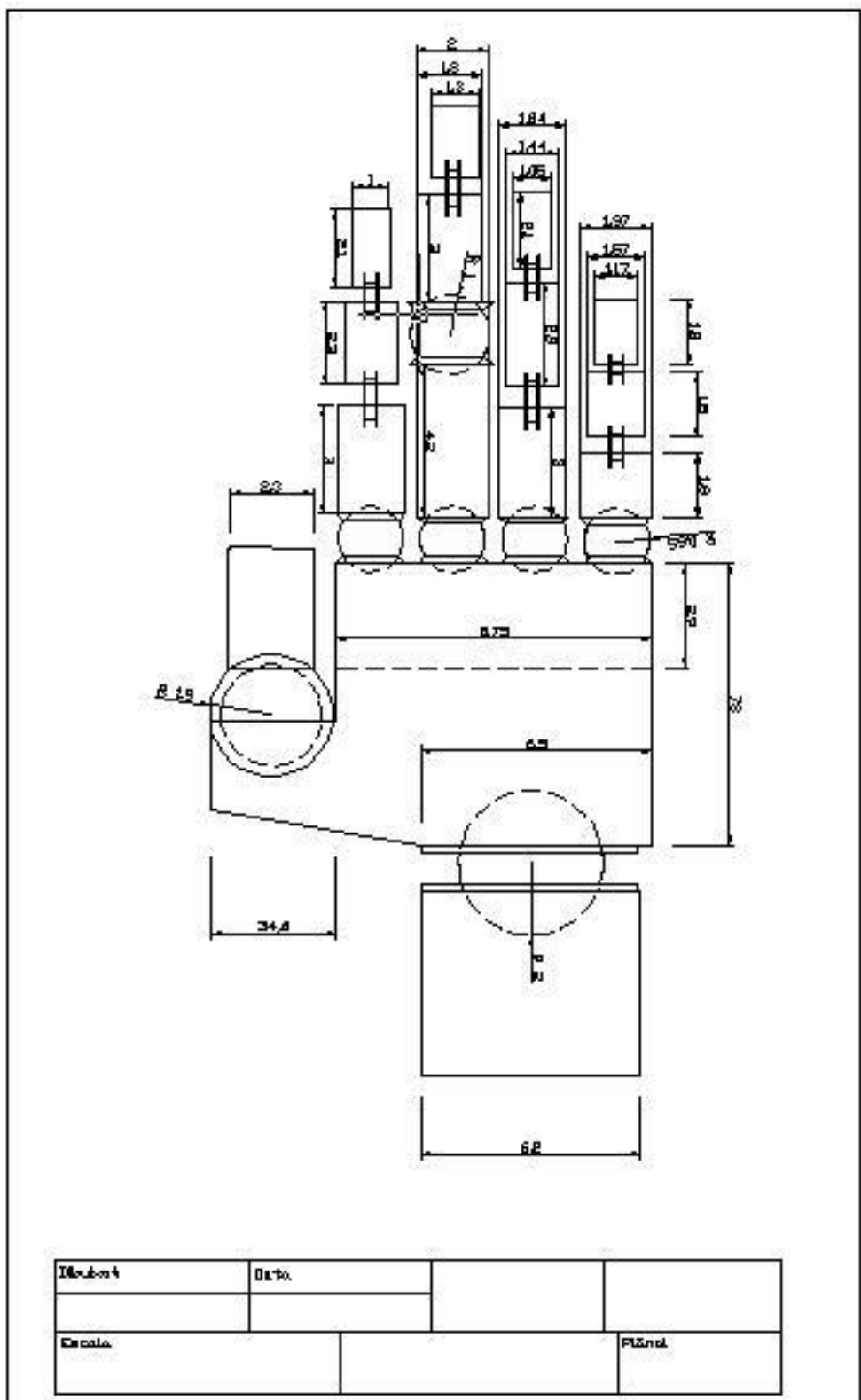
## ANNEX II: PLÀNOLS VIRTUALS

### PLÀNOL DE PERFIL





# PLÀNOL DE PLANTA



## ANNEX III: REBUTS

### PICAXE



#### INNOVA DIDACTIC SL

B55113567  
c/Sant Cebrià, 21  
17740 Vilafant Girona  
Tel. email: picaxe.es@gmail.com Fax. -

Antonio Alonso Mallén  
41554147-R  
c/ Pous i Pagès nº 7 Àtico  
17800 Figueres Gerona  
España  
Tel. 810978122

**Factura 2013621 Fecha 01-10-2013 Factura del pedido: 11969**

Referencia	Productos	Unidades	Precio	%IVA	Suma de productos
axe031	Controlador de Servos de 21 canales	1	37,27	21%	37,27
axe027	Cable USB descarga Picaxe	1	13,49	21%	13,49

#### Detalle de IVA

Base	Tipo	IVA
62,41	21,00%	13,11

Suma de productos	50,76
Gastos de envío	7,50
Reembolso agencia de transportes	4,15
Base Imponible	62,41
IVA	13,11

Forma de pago  
Contra reembolso

**Total 75,52 EUR**

INNOVA DIDACTIC SL - B55113567

# SUPERROBOTICA.COM

## CONFIRMACION PEDIDO SUPERROBOTICA.COM

Estimado Cliente:

Hemos recibido el pedido de los siguientes productos:

Cantidad	Referencia	Nombre	Euros
16	S330150	SERVO MINIATURA DY-S0205 1,3 KG	110,41
		Portes Zona 1	0,00
		IVA 21%	23,19
		<b>Total</b>	<b>133,60</b>

## DATOS DE ENVIO


Número Pedido	000122434908
Nombre	Antonio
Apellidos	Alonso
Dirección Envío	Pous i pages n7 Atico
Dirección Factura	
Ciudad	Figueras
Provincia	Gerona
Código Postal	17600
País	España
Email	<a href="mailto:antonioalonsomallen@gmail.com">antonioalonsomallen@gmail.com</a>
Teléfono	610976122
Empresa	
NIF* - CIF	
Forma Pago	Contra Reembolso
Código TPV	1
Autorización	1
Observaciones	Me gustaría tener el pedido antes de la finalización de esta semana, por favor. El bloque de pisos se encuentra al lado de una distribuidora de pintura llamada Eurocolor y justo delante de un colegio llamado M <sup>a</sup> Ángels Anglada.

 <p><b>DESDE 1957</b> <b>Fco. COSTALS FARREROS</b></p>	ALMACÉN: C/ Riumors, 7	Tels. 972 50 45 25	<table border="1"> <tr><td colspan="2">Contado</td></tr> <tr><td colspan="2">ANTONIO ALONSO</td></tr> <tr><td colspan="2">610976122</td></tr> <tr><td>Fax:</td><td>Tel:</td></tr> </table>		Contado		ANTONIO ALONSO		610976122		Fax:	Tel:
	Contado											
	ANTONIO ALONSO											
	610976122											
	Fax:	Tel:										
TALLERES: C/ Riumors, 9	972 50 04 80											
17600 FIGUERES (Girona)	972 50 24 81											
	Fax 972 67 11 51											
	E-mail: info@imafigueres.com www.imafigueres.com											
Albarán: 72594	Albarán		Cliente: 005000 Refer.:									
Fecha: 30-09-2013	Representante: 05											

Unidades	Artículo	Descripción	Precio	Dto.	Importe
1,000	700	BOLA CROMADA 40MM	18,0000		18,00

| PAGHI |

*** NO SE ADMITIRAN DEVOLUCIONES DE MATERIAL PASADOS 15 DIAS O SIN ALBARAN DE CARGO ***					
Suma Parcial..					18,00
18,00 IVA 21.0%					3,78
Total					21,78

 <p><b>DESDE 1957</b> <b>Fco. COSTALS FARREROS</b></p>	ALMACÉN: C/ Riumors, 7	Tels. 972 50 45 25	<table border="1"> <tr><td colspan="2">Contado</td></tr> <tr><td colspan="2"> </td></tr> <tr><td>Fax:</td><td>Tel:</td></tr> </table>		Contado				Fax:	Tel:
	Contado									
	Fax:	Tel:								
	TALLERES: C/ Riumors, 9	972 50 04 80								
17600 FIGUERES (Girona)	972 50 24 81									
	Fax 972 67 11 51									
	E-mail: info@imafigueres.com www.imafigueres.com									
Albarán: 9020372	Albarán		Cliente: 005000 Refer.:							
Fecha: 09-09-2013	Representante: 10									

Unidades	Artículo	Descripción	Precio	Dto.	Importe
1,000	GA86232	POLEA NYLON 035	0,9153		0,92
8,000	GA86224	POLEA NYLON 025	1,0296		8,24
8,000	98110	ARANDELA ESFERICA M-10 DIN6319/C	0,7451		5,96
2,000	98114	ARANDELA ESFERICA M-14 DIN6319/C	1,6310		3,26

| PAGATI |

*** NO SE ADMITIRAN DEVOLUCIONES DE MATERIAL PASADOS 15 DIAS O SIN ALBARAN DE CARGO ***					
Suma Parcial..					18,38
18,38 IVA 21.0%					3,86
Total					22,24

# FERROS PUIG

**BRICO CASA PUIG**  
 BRICO-CASA PUIG,S.L N.I.F.: B55092001  
 Girona  
 Barcelona 43, Tel.972 203 284 Fax 972 204 219

<b>Data</b>	<b>Albara</b>	<b>Com.Client</b>	<b>Nº de VAL</b>	<b>Full</b>	* 0000302391 * CLIENTS COMPTAT	<b>Adreça Enviament</b>			
16/08/13	27129205			1	17001 GIRONA C.I.F.	00000			

Dependent: JAUME RIGALL (43) Representant: 000  
 Ruta:000 CLIENT Telf: 0000000000 Obra:

Mca	Producte	Mida	Descripcio	Especificacio	Quantitat	Preu	U.V	%Dt.	Import	Blod
BOP	7172	100	CHAPA ALUMINIO LISO	100X50 CM	1,00	37,4000	PZ		37,40	
NUR	21	22	NURAL 21 ADHESIVO	JG.2TUB 22CC	1,00	8,4755	JG		8,48	

COBRAT

<b>Subtotal</b>	<b>Serv.Magatzem</b>	<b>Base Imp.</b>	<b>IVA</b>	<b>TOT.AL.B.</b>
45,88	0,00	45,88	9,63	55,51

## ANNEX IV: FOTOS DEL MATERIAL

---



- Tisores de planxista.



- Politges de niló.

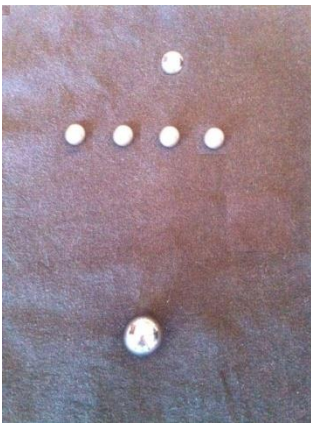


- Volanderes còniques.



- Fil de pescar.





→ Boles d'acer



- Placa base.



- Soldadura en fred.



- Servos (motors).



- Planxa d'alumini

## ANNEX V: DIARI DE CONSTRUCCIÓ

---

### MAIG (20-31) -JUNY

El treball de recerca s'ha començat al maig amb una organització global de com s'hauria de fer el projecte.

Per a la realització d'aquest, primer de tot, s'ha cercat tota la informació possible que fa referència al tema de l'anatomia humana, més precisament de la zona de l'avantbraç. Un cop obtinguts els llibres necessaris i haver-los revisat i estudiat, amb gran interès, per no deixar-se cap detall, la consulta en webs universitàries i en blogs d'estudiants d'anatomia i de medicina ha resultat de gran ajuda per entendre i verificar idees que ja es tenien prèviament.

Posteriorment a la lectura de les fonts s'ha dividit la part estudiada en seccions de tal manera que cada part tenia els seus elements més importants com ara bé: ossos característics, músculs compartits, tendons inserits, etc. Després, tota la part apresada i considerada rellevant s'ha anat redactant al llarg del maig, juny, juliol, agost i setembre com a cos del treball. Després s'han realitzat els plànols en cartolines DIN-A3 a escala real, utilitzant com a mostra el meu propi braç, i que després s'han passat virtualment a l'ordinador mitjançant un programa, l'AutoCad.

### JULIOL

Un cop agafades les mides en els plànols, entès el funcionament, estudiat l'estructura, els mecanismes que s'utilitzen per la reproducció de moviments i la clara i simultània relació que tenen cada un dels components de l'avantbraç amb la resta de components s'ha anat comprant el material adient per a la construcció de l'esquelet extern de la pròtesi articulada, les seves articulacions i per a la seva reproducció de moviments.

El primer lloc on es va preguntar si tenien el material adient va ser a Subministraments industrials S.L, però, malauradament, només tenien un parell de boles d'acer i dues volanderes planes. Dies després d'haver anat a l'establiment el meu germà em va recomanar que anés a Ferros Puig, en el recinte firal, a veure si hi podien tenir algun element important.



### **Inconvenients que van produir un retràs al treball:**

- Vacances dels establiments.
- Falta de material per prosseguir.
- Reduït nombre de botigues que venen material de construcció.

### **AGOST**

Es va anar a Ferros Puig el dia 1 d'Agost i van dir que si que tenien planxes d'alumini, però no a Figueres. Van recomanar que podia anar a Girona a comprar-la, ja que hi tenien de diverses mides. El dia 2 d'Agost es va anar i es va comprar la planxa i una soldadura en fred.

El primer prototip de la pròtesi es van realitzar passant les mides dels plànols virtuals a la planxa d'alumini i amb unes tisores de planxista s'han anat tallant les cares de la pròtesi. Durant aquest procés no s'ha soldat en cap moment les cares, sinó que s'han unit mitjançant cinta adhesiva per tal d'evitar petites limitacions com la mala concordança de les mides de l'esquelet extern amb les altres peces que constitueixen les articulacions, l'absència de peces encara per encarregar o la mala combinació de soldadures que s'havien recomanat. I d'aquestes limitacions la que va passar va ser la concordança de les peces perquè com un humà no té una precisió perfecta les mides potser variaven una mica, i vaig haver de realitzar un parell més de cares.

Un cop unit l'esquelet extern es van anar a buscar les peces per les articulacions, tot i que ja tenia un parell de boles d'acer. Buscant per internet vaig trobar que a Figueres hi havia una botiga que venia petites peces per a construccions anomenada IMA. Es va demanar per un bola d'acer de 4 cm, politges i volanderes còniques. L'empresa em va encarregar la bola a un establiment a Girona, mentre que les volanderes m'he les van oferir allà mateix. El problema va estar en les politges, la mida mínima era de 2,5 cm i en necessitava de menys. La solució va ser canviar les mides del plànol i comprar les politges necessàries per no endarrerir més el treball. Així doncs només em faltava el sistema electrònic.

Un cop obtingut tot s'ha soldat les parts de la carcassa d'alumini, aquest procés va trigar en acabar quasi 3 setmanes, ja que la soldadura en fred trigava 12

hores en actuar completament. Ja soldat l'esquelet extern es van soldar les volanderes en els llocs adients segons les seves mides i posteriorment les boles d'acer en una volandera de cada parell perquè així tingués la capacitat de moure's.

#### **Inconvenients que van produir un retràs al treball:**

- La necessitat de sortir de Figueres per anar a comprar un sol material.
- La mala concordança d'algunes peces i la recreació d'aquestes.
- La modificació dels plànols per què concordés amb la pròtesi.

#### **SEPTEMBRE**

Mentre s'assecaven les últimes peces vaig buscar per internet els components electrònics mitjançant la web de Picaxe, recomanada pel professor d'informàtica de l'Olivar Gran. En aquesta web vaig poder aconseguir la placa base, el microprocessador i el cable de programació. L'arribada d'aquests components era aproximadament d'una setmana. El mateix dia que es van encarregar aquests també vaig fer la comanda dels motors en una altre web més econòmica i aquests també arribarien a casa en una setmana.

El dia 7 van arribar els dos paquets, amb uns cinc minuts de diferència, i vaig posar-m'hi a treballar amb ells tan bon punt van arribar. Primer de tot vaig inspeccionar que hi fossin tots els components. Després, vaig aconseguir un soldador prestat per un company de classe, Arnau Joan Palomé, i amb aquest vaig soldar un parell de cables de coure per què fessin contacte amb el port d'entrada de la placa base. Com que, el primer va quedar molt malament, estèticament, vaig extreure l'estany amb el mateix soldador fonent l'estany. Al dia següent vaig comprar un connector de port d'entrada ja construït a Electrònica Rafel i vaig connectar en els pins del port d'entrada.

Un cop col·locat el port d'entrada, vaig col·locar els plats als motors i els vaig connectar en els pins de la placa base. I per últim es varen connectar dues piles de 5 volts en els punts de corrent. Així es va completar el sistema electrònic i vaig començar a crear els missatges d'informació

Aquests missatges els vaig crear mitjançant un programa de programació de Picaxe anomenat, Picaxe Programming Editor, en el qual es va utilitzar el llenguatge adient per tal de poder enviar els missatges adequats per què la pròtesi es pogués moure.

**Inconvenients que van produir un retràs en el treball:**

- L'arribada dels components electrònics.
- La realització d'un mal intent de soldar el port d'entrada.

OCTUBRE-NOVEMBRE

Finalment, s'ha anant fent proves amb els motors fins obtenir el resultat correcte i s'ha realitzat la redacció final del treball.

**Inconvenients que van produir un retràs en el treball:**

En una de les proves una de les falanges, la del dit del mig a cor, amb el seu propi pes, que li proporcionaven les dues boles d'acer, ha caigut i s'ha trencat. A causa d'això s'ha hagut d'eliminar aquesta falange deixant la pròtesi només amb quatre dits.

## ANNEX VI: LLENGUATGE INFORMÀTIC UTILITZAT

---

### 'Variables i registres dels servos

symbol Servo1 =63  
symbol Servo1p =84  
symbol Servo1n =105  
symbol Base =128  
symbol Offset =50  
symbol servo2 =64  
symbol servo2p =85  
symbol servo2n =106  
symbol Base2 =128  
symbol Offset2 =50  
symbol servo3 =65  
symbol servo3p =86  
symbol servo3n =107  
symbol Base3 =128  
symbol Offset3 =50  
symbol servo4 =66  
symbol servo4p =87  
symbol servo4n =108  
symbol Base4 =128  
symbol Offset4 =50  
symbol servo5 =67  
symbol servo5p =88  
symbol servo5n =109  
symbol Base5 =128  
symbol Offset5 =50  
symbol servo6 =68  
symbol servo6p =89  
symbol servo6n =110  
symbol Base6 =128  
symbol Offset6 =50  
symbol servo7 =69  
symbol servo7p =90  
symbol servo7n =111  
symbol Base7 =128  
symbol Offset7 =50  
symbol servo8 =70  
symbol servo8p =91  
symbol servo8n =112  
symbol Base8 =128  
symbol Offset8 =50  
symbol servo9 =71  
symbol servo9p =92  
symbol servo9n =113  
symbol Base9 =128  
symbol Offset9 =50  
symbol servo10 =72  
symbol servo10p=93

```

symbol servo10n=114
symbol Base10 =128
symbol Offset10=50
symbol servo11 =73
symbol servo11p=94
symbol servo11n=115
symbol Base11 =128
symbol Offset11=50
symbol servo12 =74
symbol servo12p=95
symbol servo12n=116
symbol Base12 =128
symbol Offset12=50
symbol servo13 =75
symbol servo13p=96
symbol servo13n=117
symbol Base13 =128
symbol Offset13=50
symbol servo14 =76
symbol servo14p=97
symbol servo14n=118
symbol Base14 =128
symbol Offset14=50
symbol servo15 =77
symbol servo15p=98
symbol servo15n=119
symbol Base15 =128
symbol Offset15=50
symbol servo16 =78
symbol servo16p=99
symbol servo16n=120
symbol Base16 =128
symbol Offset16=50
'Defineix el cas que es vol realitzar
Inici:
i2cslave $c2, i2cslow, i2cbyte
writei2c Servo1, (Base)
sertxd ("Selecciona el cas:")
serrxd b1
'Tots els casos
if b1 = 1 then
sertxd ("Cas 1 seleccionat") ; Dits 1
writei2c Servo1p, (Offset)
pause 300
writei2c Servo2p, (Offset)
pause 300
writei2c Servo3p, (Offset)
pause 300
writei2c Servo4p, (Offset)
pause 300

```

```

writei2c Servo5p, (Offset)
pause 300
writei2c Servo6p, (Offset)
pause 300
writei2c Servo7p, (Offset)
pause 300
writei2c Servo8p, (Offset)
pause 300
writei2c Servo9p, (Offset)
pause 300
writei2c Servo10p, (Offset)
pause 300
writei2c Servo11p, (Offset)
pause 300
writei2c Servo12p, (Offset)
pause 300
goto Inici
endif
if b1 = 2 then
sertxd ("Cas 2 seleccionat") ;Dits 2
writei2c Servo1n, (Offset)
pause 300
writei2c Servo2n, (Offset)
pause 300
writei2c Servo3n, (Offset)
pause 300
writei2c Servo4n, (Offset)
pause 300
writei2c Servo5n, (Offset)
pause 300
writei2c Servo6n, (Offset)
pause 300
writei2c Servo7n, (Offset)
pause 300
writei2c Servo8n, (Offset)
pause 300
writei2c Servo9n, (Offset)
pause 300
writei2c Servo10n, (Offset)
pause 300
writei2c Servo11n, (Offset)
pause 300
writei2c Servo12n, (Offset)
pause 300
goto Inici
endif
if b1 = 3 then
sertxd ("Cas 3 seleccionat") ; polze
3
writei2c Servo13p, (Offset)

```

```

pause 300
goto Inici
endif
if b1 = 4 then
sertxd ("Cas 4 seleccionat") ; polze
4
writei2c Servo13n, (Offset)
pause 300
goto Inici
endif
if b1 = 5 then
sertxd ("Cas 5 seleccionat") ; canell
5
writei2c Servo14p, (Offset)
pause 300
goto Inici
endif
if b1 = 6 then
sertxd ("Cas 6 seleccionat") ; canell
6
writei2c Servo14n, (Offset)
pause 300
goto Inici
endif
if b1 = 7 then
sertxd ("Cas 7 seleccionat") ; canell
b7
writei2c Servo15p, (Offset)
pause 300
goto Inici
endif
if b1 = 8 then
sertxd ("Cas 8 seleccionat") ; canell
d8
writei2c Servo15n, (Offset)
pause 300
goto Inici
endif
'Si no troba cap cas, no existeix
sertxd ("Aquest cas no existeix")
goto Inici

```

## ANNEX VII: GLOSSARI

---

**Adducció:** Moviment que aproxima un membre més a prop de la línia mitjana del cos.

**Abducció:** Moviment que separa un membre de la línia mitjana del cos.

**Anatomia:** Ciència que estudia l'estructura dels éssers vius.

**Aponeurosis:** Capa fibrosa i molt resistent que cobreix alguns músculs i forma llurs terminacions i lligaments.

**Apòfisi:** Eminència d'un os, és a dir, sortint o prominència a la superfície d'un cos.

**Articulació:** Unió de dos ossos.

**Aurícula:** Cavitat superior del cor dels vertebrats que rep la sang que prové de les venes.

**Ventricle:** Cavitat inferior del cor dels vertebrats que rep la sang que prové de les aurícules i l'envia a les artèries.

**Biomecànica:** Disciplina científica que té per objecte d'estudi les estructures de caràcter mecànic que existeixen als éssers vius.

**Circuïció:** Moviment de rotació en forma de circumferència.

**Col·lagen:** Proteïna animal fibrosa que és el principal component del teixit conjuntiu, on forma un conjunt d'estructures, present també a la part orgànica del teixit ossi i a la pell.

**Còndil:** Eminència d'un ós, és a dir, sortint o prominència a la superfície d'un os amb l'objectiu de formar una articulació.

**Epicòndil:** Prominència òssia situada per sobre mateix d'un còndil, especialment del còndil humeral.

**Equilibri antagònic:** Equilibri que creen dues funcions oposades.



**Falange:** Os dels dits de les mans i dels peus, especialment el situat davant del metacarpià o metatarsià.

**Fisiologia:** Branca de la biologia que estudia les funcions dels éssers vius i els mecanismes que les regeixen i regulen.

**Forma obliqua:** Forma de desplaçament en diagonal.

**Lligament:** Làmina, feix o cordó de teixit fibrós que serveix d'unió a les articulacions o entre algunes parts dels ossos o cartílags.

**Massa muscular flexora:** Conjunt de músculs que reproduïxen el moviment de flexió.

**Massa muscular extensora:** Conjunt de músculs que reproduïxen el moviment d'extensió.

**Metacarpià:** Os llarg de la mà situat entre el carp i els dits.

**Microprocessador:** Circuit integrat complex capaç de processar dades, emprat com a unitat central d'un microordinador, com a element bàsic en diversos circuits electrònics digitals d'automatització, etc.

**Miosina i actina:** Proteïnes fibroses que formen part del teixit muscular i que confereixen la propietat de ser elàstic i contràctil.

**Músculs lumbricals:** Denominació als quatre músculs que connecten el palmar de la mà amb les diàfisis dels dits.

**Niló:** Fibra tèxtil sintètica de poliamida molt resistent i elàstica.

**Os sesamoide:** Osset o cartílag nodular que es troba en els tendons en la proximitat de certes articulacions o prominències òssies.

**Proteïna:** Polímer d'alt pes molecular format per la unió d'aminoàcids mitjançant enllaços peptídics.

**Retinacle flexor:** Estructura que reté els músculs flexors tant superficials com profunds.

**Retinacle extensor:** Estructura que reté els músculs extensor tant superficials com profunds.

**Teixit conjuntiu:** Són teixits que tenen com a finalitat la sustentació d'altres parts de cos humà, la defensa contra infeccions, l'intercanvi de nutrients i la regulació del calor corporal. Ex. Tendons, lligaments, etc.

**Tendó:** Cordó de teixit conjuntiu fibrós, blanc i inelàstic, que uneix els músculs als ossos i a altres òrgans.

**Tuberositat:** Prominència grossa en un os que serveix per a la inserció de músculs, lligaments i tendons.

**Unitat morfològica:** Forma i estructura que conté una determinada part d'un os.

**Xarnera:** Conjunt de dues planxetes subjectes per un de llurs costats a un mateix eix al voltant del qual poden girar, cosa que permet variar la inclinació de l'una respecte a l'altra.

**Zona distal:** Zona allunyada de la base o dels seu punt d'origen.

**Zona proximal:** Zona més propera a la base o al seu punt d'origen.

## ANNEX VIII: ARTICLE DE REVISTA

---

Mentre cercava informació pel treball de recerca vaig trobar un article de la revista *Muy interesante* que em va cridar l'atenció.

**i-LIMB**, la primera **mano "biónica"** disponible comercialmente en el mundo, ha sido premiada esta semana con el **galardón McRobert** que otorga la Real Academia de Ingeniería del Reino Unido.

La prótesis cuenta con **cinco dedos** que, gracias a sus respectivos motores, pueden funcionar y ser **articulados de manera independiente**. Por si esto fuera poco, **el pulgar puede rotar 90 grados**, igual que uno de carne y hueso. "Ésta es la primera prótesis de mano que puede replicar tanto la forma como la función de su homóloga humana" afirma Stuart Mead, presidente de *Touch Bionics*, la empresa fabricante de i-LIMB.

Para colocar la mano artificial no es preciso realizar una intervención quirúrgica, ya que cuenta con dos electrodos que se colocan sobre la piel y captan los impulsos generados por la contracción de las fibras musculares. Estas **señales mioeléctricas** son utilizadas por un ordenador que las interpreta y controla los movimientos de la prótesis.

Desde que i-LIMB fue lanzada al mercado en 2007, **más de 200 personas amputadas** se han beneficiado de su tecnología, incluyendo a varios soldados estadounidenses que perdieron miembros en la guerra en Irak.

Aquest article fou publicat al 2005 i, per coincidència, tractava d'una pròtesi de mà, ja treta al mercat. Aquesta pròtesi funcionava a partir de sensors musculars que era com, en principi, volia realitzar el meu projecte, però els costos augmentaven de forma alarmant. Aquesta pròtesi la desconeixia totalment fins hores d'ara i m'ha sorprès que la idea de construir una pròtesi articulada fos també d'una empresa privada.