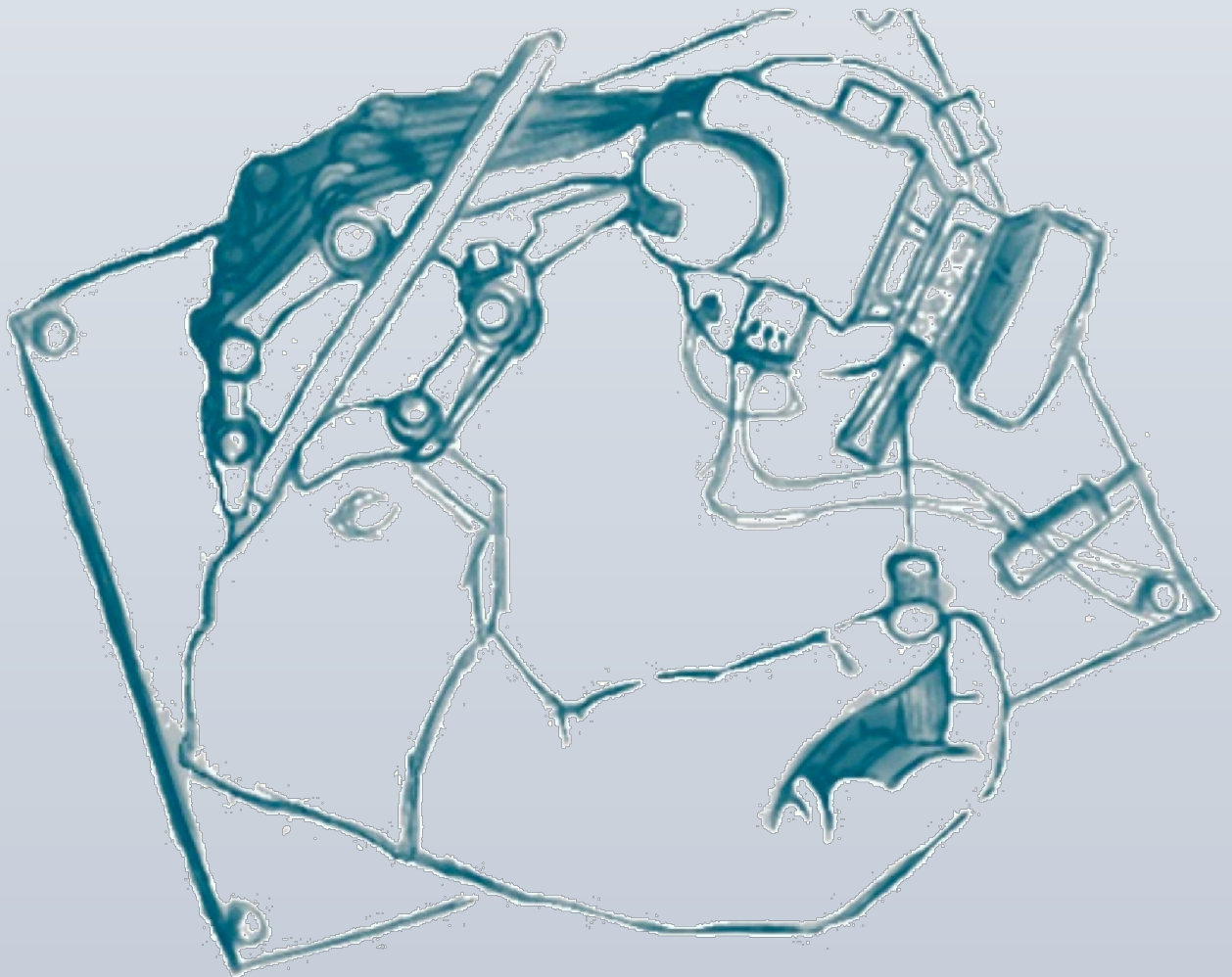


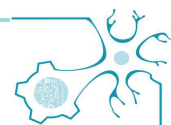
Pròtesis mioelèctriques

Entre l'humà i la màquina

Treball de Recerca 2010-2011

Escola Sant Gervasi





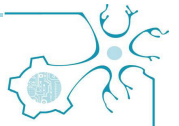
Treball de Recerca 2010-2011

Escola Sant Gervasi

Tutors:

Cristina Checa Rizo

Xavier Valdeoriola Mas



“Els impossibles d’avui seran els possibles del demà”

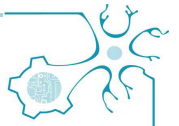
Konstantin Tsiolkovsky (1857-1935)

“Sense emoció no hi ha projecte”

Eduard Punset (1936)

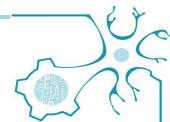
“Donaria tot el que sé, per la mitat del que ignoro”

René Descartes (1596-1650)

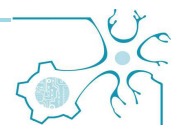


Índex

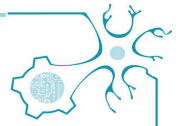
1. INTRODUCCIÓ	7
2. METODOLOGIES	9
2.1 INVESTIGACIÓ PRÈVIA	9
2.2 RECERCA DEL MATERIAL NECESSARI PER AL PROJECTE	10
3. L'AMPUTACIÓ	14
3.1 TIPUS D'AMPUTACIONS	14
3.2 CAUSES DE LES AMPUTACIONS	16
3.3 PRÒTESIS PER A AMPUTATS DE MEMBRE SUPERIOR	18
4. INTRODUCCIÓ A LES PRÒTESIS	20
4.1 CONCEPTE DE PRÒTESI	20
4.2 RESSENYA HISTÒRICA	20
4.2.1 <i>Primeres pròtesis</i>	20
4.2.2 <i>Pròtesis en el segle XX</i>	22
5. LA MÀ	24
5.1 ANATOMIA DE LA MÀ	24
6.1.1 <i>Ossos i articulacions de la mà</i>	25
6.1.2 <i>Músculs de la mà</i>	29
4.1.3 <i>Nervis que innerven la mà</i>	33
5.2 FUNCIONS DE LA MÀ	34
5.2.1 <i>Funcions motores</i>	35
5.2.2 <i>Funcions sensorials</i>	41
6. TRANSMISSIÓ D'IMPULSOS NERVIOSOS	47
6.1 INTRODUCCIÓ AL SISTEMA NERVIÓS	47
6.1.1 <i>El teixit nerviós</i>	48



6.1.2 Sistema Nerviós Central (SNC)	49
6.1.3 Sistema Nerviós Perifèric (SNP)	52
6.2 MECANISMES DE CONDUCCIÓ DE LA INFORMACIÓ	55
6.2.1 Els impulsos nerviosos	55
6.2.2 La transmissió sinàptica.....	60
6.3 CONNEXIÓ ENTRE LA MÀ I EL SNC	64
6.3.1 Sistema neuromuscular.....	64
7. CAPTACIÓ I REGISTRE DE SENYALS ELECTROMIOGRÀFICS.....	72
8.1 ELS ELÈCTRODES	74
7.2 ELS SENYALS ELECTROMIOGRÀFICS.....	80
8. LA MIOELECTRICITAT	83
8.1 CONCEPTE DE MIOELECTRICITAT.....	83
8.2 CARACTERÍSTIQUES DE LA MÀ MIOELÈCTRICA.....	83
8.3 GRAUS DE LLIBERTAT I PRINCIPALS MOVIMENTS	84
8.4 CURIOSITATS SOBRE MIOELÈCTRICA	85
9. PRÒTESIS BIÒNIQUES	86
9.1 CARACTERÍSTIQUES DE LA MÀ BIÒNICA.....	89
9.1.1 Pes	90
9.1.2 Mida i forma.....	90
9.2.3 Sistema sensorial.....	90
9.2 GRAUS DE LLIBERTAT	92
10.3 MANIPULACIÓ DE LA PRÒTESI.....	92
10. REGISTRE DELS SENYALS ELECTROMIOGRÀFICS	94
10.1 ELECTROMIOGRAFIA	96
10.2 PROCEDIMENT PER A REALITZAR UN SEMG.....	97
10.2.1 Senyals emeses pel múscul en contracció.....	97
10.2.2 Captació de senyals del múscul en estimulació artificial.....	107



11. PROGRAMACIÓ D'UNA PRÒTESI MIOELÈCTRICA.....	112
11.1 INICIS A LA PROGRAMACIÓ.....	112
11.2 ARXIU DE DADES A ANALITZAR	112
11.3 RESULTAT FINAL DEL PROGRAMA.....	114
11.4 DESCRIPCIÓ DEL PROGRAMA	115
<i>11.4.1 Utilitzant un arxiu bloc de notes (.txt).....</i>	<i>115</i>
<i>11.4.2 Destriant la informació necessària.....</i>	<i>117</i>
<i>11.4.3 Inicialitzant els vectors i matrius</i>	<i>118</i>
<i>11.4.4 Separar cada dada de la resta de l'arxiu.....</i>	<i>119</i>
<i>11.4.5 Convertint la dada de caràcter a nombre.....</i>	<i>121</i>
<i>11.4.6 Emmagatzemant les dades.....</i>	<i>121</i>
<i>11.4.7 Inicialització de la targeta gràfica.....</i>	<i>122</i>
<i>11.4.8 Mostrant els eixos i el llindar.....</i>	<i>123</i>
<i>11.4.9 Escalatge dels eixos.....</i>	<i>124</i>
<i>11.4.10 Valors mostrats per píxel.....</i>	<i>128</i>
<i>11.4.11 Mitjana dels valors.....</i>	<i>129</i>
<i>11.4.12 Printant el gràfic</i>	<i>130</i>
<i>11.4.13 Marcant un filtre de temps i voltatge.....</i>	<i>133</i>
<i>11.4.14 Senyal elèctric</i>	<i>136</i>
12. DISSENY DEL CIRCUIT.....	138
12. CONSTRUCCIÓ DEL MODEL DE PINÇA ROBÒTICA.....	141
10. ANNEX.....	146
10.1 EXPERIMENTACIÓ AMB RATES	146
10.2 NOTÍCIA	149
11. CONCLUSIONS.....	151
12. AGRAÏMENTS	154
13. BIBLIOGRAFIA	155



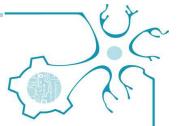
1. Introducció

Un treball com aquest és un treball extens, on la feina perseverant i constant és molt necessària. En un treball científicotecnològic, a més, la part pràctica pren molta importància i és el resultat de tota la investigació teòrica. Els objectius que ens proposem abasten tres grans àrees: la part teòrica o conceptual, la qual es basa en la recerca d'informació; la part pràctica o procedimental, en la que requerim d'un lloc especialitzat per poder-la desenvolupar i d'experts que ens guiïn, així com uns coneixements aplicats a la realitat que fins ara no havíem desenvolupat; i, finalment, també ens plantegem uns objectius humans que no tenen relació amb el tema escollit, sinó amb la feina conjunta i amb l'esforç de realitzar aquest treball.

Els objectius conceptuals es basen en tota la informació prèvia que necessitem per tal d'entendre la nostra part pràctica i que aquesta tingui sentit i una base sòlida fonamentada en la recerca d'informació fins el moment desconeguda per a nosaltres. A grans trets, la part teòrica del nostre treball és l'estudi del funcionament de la mà humana per a l'aplicació d'aquest en la construcció i el control d'una pròtesi mioelèctrica. Així doncs, hem de conèixer l'anatomia de la mà i el seu funcionament. També cal saber com es mou la mà, i per tant, cal endinsar-se en el sistema nerviós. Un altre objectiu és l'estudi d'aquest sistema per a establir la connexió entre el cervell i la mà (com el cervell ordena moure un múscul). Un cop après tot això ja podem passar a la part teòrica que més afecta a la part procedimental: l'estudi dels senyals electromiogràfics (EMG) i els elèctrodes.

També cal tenir en compte que cal realitzar un estudi de les pròtesis inventades fins el moment, fent primer una petita ressenya històrica i després analitzant els models més actuals, tant dins el mercat com en estudi i en procés de creació.

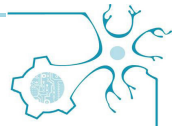
Els nostres objectius pràctics es divideixen en dues parts: la primera, es basa en la captació i enregistrament de senyals electromiogràfics (EMG) i el posterior estudi dels resultats obtinguts. Per tal de realitzar aquests registres, hem de familiaritzar-nos amb el material necessari. Referent a l'estudi dels resultats obtinguts, és necessari aprendre a



interpretar un electromiograma i aconseguir tractar els resultats per tal d'assignar valors mitjans i representar-los.

La segona vessant consisteix en l'objectiu de crear un programa que interpretés senyals elèctrics de músculs humans per a obrir o tancar una pinça elèctrica. A més, aquest programa havia de representar gràficament aquestes dades i marcar els espais de temps en què la mà s'obriria o es tancaria.

Finalment, com a objectius humans ens plantegem millorar les tècniques de treball en equip, aprendre a realitzar un treball amb les característiques pròpies del Treball de Recerca, com ho són la seva extensió, la part pràctica i la investigació en un tema concret. Com a objectiu derivat de l'Estada a l'Empresa ens proposem familiaritzar-nos amb el món de la recerca científica ja que, en un futur, a alguns dels membres del treball també ens agradaria poder treballar dins d'aquest camp; prendre contacte amb professionals en l'àmbit escollit, en el nostre cas amb el Doctor Xavier Navarro i el seu equip. I com a última idea, aprendre a treballar en equip amb tot el que això comporta: repartició equitativa de les feines, compenetració entre els components l'equip i evitar els conflictes, entre d'altres aspectes.



2. Metodologies

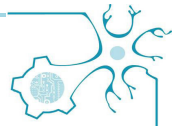
El nostre Treball de Recerca és el resultat de la connexió entre dues grans àrees científiques: una de mèdica i una altra de tecnològica. Davant de la gran diversitat de temes tecnològics, vam optar per innovar unint l'enginyeria amb la medicina. Així doncs, aquest treball està dividit en dues parts: la part que hem anomenat part tecnològica i desenvolupada dos dels alumnes; i l'altra, que és la part científica desenvolupada per dos altres alumnes de tal modalitat. Tanmateix, els dos treballs es formen sota el mateix títol: Pròtesis mioelèctriques.

2.1 Investigació prèvia

Quan vam començar amb la idea d'aquest treball, el desconeixement del tema sobre el que volíem treballar era total. La investigació prèvia ha estat un dels passos més importants pel que fa a la realització del treball, per la gran quantitat de canvis que ha experimentat al llarg del temps que aquest ha durat.

En un inici, la idea que ens havíem fet era la de crear una pròtesi biònica que fos capaç de moure's mitjançant la captació i interpretació dels impulsos nerviosos voluntaris que exercia una persona. Era un objectiu que ens semblava molt atractiu, per la dificultat que suposava i la fita a la que es podia arribar. La pregunta que ens vam fer al principi va ser la següent: **Com es pot controlar una pròtesis robòtica a partir de senyals biològics? Quins senyals són els que s'haurien d'usar i com s'enregistren?**

I així vam començar a investigar. El dia de les portes obertes a la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB) vam conèixer al Sr. José Aguilera, cap del departament de neurociències, qui ens va recomanar al Dr. Xavier Navarro, del departament de fisiologia, biologia cel·lular i immunologia. El Dr. Navarro va ser el primer que ens va fer veure la impossibilitat del nostre projecte amb els coneixements que teníem, ja que aquest tipus de projecte corresponia a una tesi doctoral.



Pel que fa a la part de programació, el Dr. Navarro ens va recomanar un contacte seu conegut de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), la Sra. Alicia Casals, catedràtica de Tecnologia Computacional, per a que ens donés un cop de mà per a tornar a enfocar el projecte. Per a nosaltres, aquesta va ser la pitjor part: ens va desmentir gran part del que havíem planejat, i ens va proposar un treball sobre el mateix tema però adaptat als nostres coneixements: una pròtesi mioelèctrica, la precursora de la biònica, que ens seria possible utilitzar ja que estava força més al nostre abast i que podia formar part del projecte.

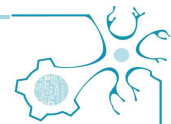
Amb una investigació prèvia sobre la complexitat del treball ja ampliada, ens vam disposar a començar a informar-nos sobre l'àmbit que s'analitza en aquest treball. Hem hagut d'aprendre gran quantitat de nous conceptes, tant teòrics com pràctics, fins que no hem tingut una idea prou formada com per a començar a treballar en el projecte.

Aquesta investigació prèvia es compon, apart de les entrevistes amb els professionals ja esmentats, de la recerca en llibres de les diferents universitats i en els recursos de què disposa Internet, ja siguin pàgines web o llibres digitals.

Així, amb aquest treball escrit ens hem adonat de la importància i repercussió que va tenir la recerca anterior a l'inici del projecte pel que fa al punt de vista des del qual enfocar-lo, ja que gràcies a aquesta informació que vam aconseguir ens vam adonar de a què podíem i a què no podíem aspirar com a estudiants de batxillerat.

2.2 Recerca del material necessari per al projecte

El material necessari per a anar tirant endavant progressivament el treball de recerca ha estat el fonament sobre el qual hem pogut programar la pròtesi mioelèctrica. Amb materials fem referència al conjunt de conceptes i procediments amb què ens hem familiaritzat per a poder treballar en condicions.

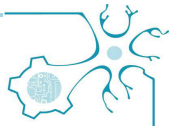


I és que, tan aviat com el Dr. Xavier Navarro va acceptar d'ajudar-nos, ens va posar al nostre abast una maquinària totalment nova per a nosaltres. Era un aparell capaç de transmetre informació dels impulsos nerviosos mitjançant elèctrodes que es col·locaven al braç i creava un arxiu de dades que nosaltres havíem d'utilitzar per al programa. L'aparell venia amb un programa anomenat Chart®, exclusiu per a aquest. El procés que feia era enregistrar en gràfics els impulsos nerviosos que exercies quan movies un determinat múscul, enregistrant mostres cada pocs milisegons i guardant-les com a arxius ASCII.

Com a recerca, ja basant-nos més en la part teòrica, hem aconseguit gran part de la informació a través de documents com tesis doctorals o articles concrets científics de revistes, ja que no hi ha llibres al nostre abast que tractin aquest tema, i menys a un nivell tan bàsic. Pel que fa referència a la recerca per Internet, hem trobat llibres a les biblioteques digitals que, tot i ser privades, la nostra relació amb la universitat ens ha facilitat la obtenció d'algunes dades per a ampliar la nostra recerca.

A mesura que hem anat avançant en el projecte, hem necessitat més informació per a conèixer el camp en la mesura del que nosaltres necessitàvem per a aconseguir aprofundir una mica més en la temàtica de temes com els elèctrodes, presents en aquest treball i dels quals hem trobat informació a diversos llibres, alguns del quals recomanats pel Dr. Navarro; la història de les pròtesis d'ençà que es va crear la primera, feta de fusta, que hem aconseguit recopilar; i també la programació d'aquestes, cosa per la que hem hagut d'aprendre nous conceptes de programació mitjançant llibres o preguntant a professors.

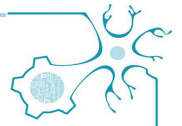
Cal destacar que, en la recerca de material necessari pel projecte, cal ser molt cautelós amb la informació que s'escriu. Per això, nosaltres hem contrastat totes les informacions que ens han arribat i que hem introduït en aquest treball, de manera individual i alhora com a comparativa.



La recerca del material necessari per al desenvolupament del projecte ha estat, amb tota seguretat, la tasca més àrdua de tot el treball de recerca: aconseguir informació, contrastar-la, i per últim ampliar-la amb altres informacions extretes de les diferents fonts amb què comptàvem, com per exemple webs de ressenyes de llibres o alguna tesi universitària.



MARC TEÒRIC



3. L'amputació

Definim amputació com l'extirpació o pèrdua d'una part del cos. El més comú és la pèrdua d'una extremitat o part d'aquesta. Les causes d'aquesta pèrdua poden ser molt variades: des d'un accident, fins a la conseqüència d'una malaltia. L'extirpació d'una extremitat pot derivar a molts problemes, així com patiments, problemes en la pell o dolors fantasmes. S'atribueix el nom de dolors fantasmes a les sensacions de dolor, que apareixen de cop i rarament com a dolor continu, en les extremitats o parts absents del cos.

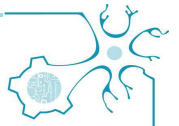
Un dels problemes mencionats anteriorment, concretament els problemes de la pell, acostumen a aparèixer amb l'ús d'una extremitat artificial com són les pròtesis. Nosaltres presentarem l'estructura i funcionalitat d'una mà per tal de substituir-la per un model de pinça robòtica, a mode de pròtesis, dirigida mioelèctricament. Els problemes mencionats anteriorment varien segons la persona i poden estar afectats per factors com l'edat, l'estat emocional o el nivell de desenvolupament del pacient amb la pròtesi. La pèrdua d'una extremitat pot causar, a part de problemes físics, problemes psicològics com la difícil acceptació de l'individu per part de la societat.

La pèrdua d'una o diverses extremitats acostuma a ser major en les persones d'entre 50 i 75 anys, sovint a causa d'una malaltia anomenada Malaltia Vasculard Perifèrica¹. En adults més joves de 50 anys, les causes més comunes són les lesions. En els nens, el més habitual són les amputacions congènites, que vénen donades des del naixement per causes diverses.

3.1 Tipus d'amputacions

Podem classificar les amputacions, segons el nivell del membre amputat, en **amputacions dels membres superiors** i **amputacions dels membres inferiors**. Considerem superiors aquelles que es produeixen del melic cap amunt (els braços) i les inferiors, aquelles

¹ Per a més detalls veure pàgina 16.



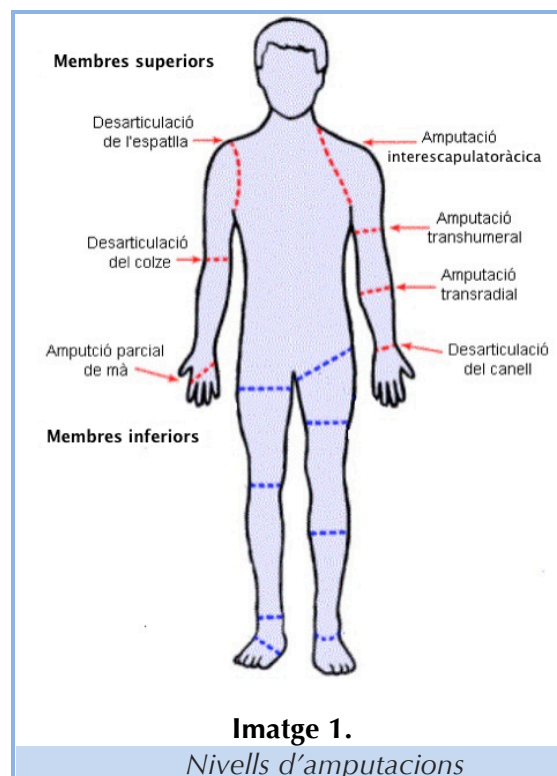
produïdes del melic cap avall (comes) .

És més habitual trobar-se amb amputacions inferiors. Aquestes causen més problemes a l'hora d'adaptar-se a la societat, ja que els afectats requereixen d'eines per a poder moure's amb llibertat, així com cadires de rodes.

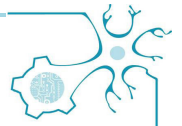
Ens centrarem en l'estudi de les amputacions superiors ja que el nostre treball tracta sobre la implantació d'una pròtesi de mà. Cal a dir que un monyó² està llest per col·locar-li una pròtesi quan compleix els següents requisits:

- És ferm, fort, amb una longitud suficient i amb forma cònica.
- La cicatriu està fora de perills d'infecció.
- Té una pell sana i manca el dolor, així com la sensació de *membre fantasma*, és a dir, que el pacient no pot percebre l'extremitat que ja no té.

En el cas de no complir-les, al subjecte no se li podrà implantar la pròtesi.



² **Monyó:** es coneix mèdicament com la part de l'extremitat que queda romanent després d'una amputació

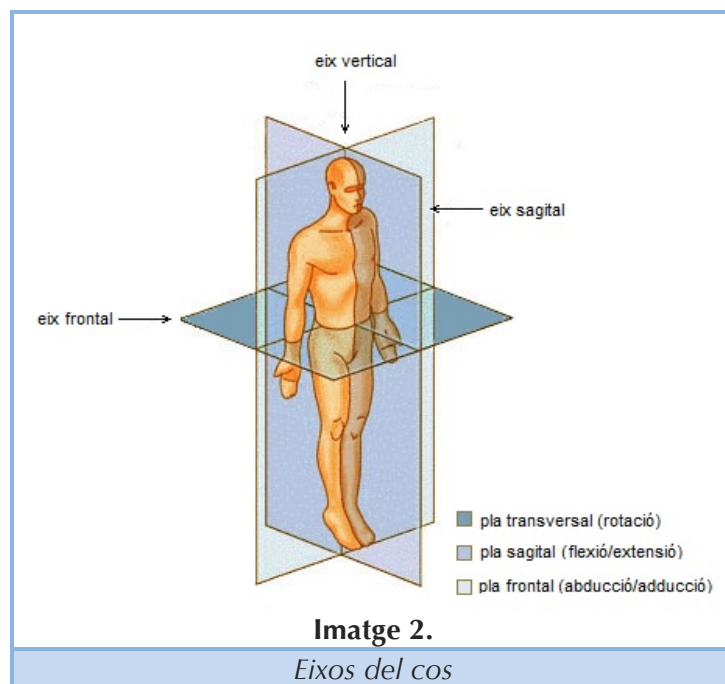


3.2 Causes de les amputacions

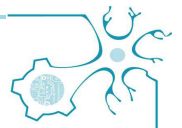
Les amputacions poden ser degudes a moltes causes. La més comuna és la deguda a alguna malaltia.

Durant períodes de guerra, les amputacions eren una pràctica quirúrgica molt freqüent. Molts soldats perdien extremitats senceres a causa dels bombardejos. Les amputacions produïdes per causes naturals poden ser de dos tipus segons el moment en què hagi succeït l'amputació. Aleshores podem parlar d'amputacions **congènites o per malaltia** i **amputacions adquirides o per trauma**.

L'**amputació congènita o per malaltia** és la pèrdua d'un membre que ve donada des del naixement de l'individu. Podem trobar diferents tipus d'amputacions congènites segons la part del membre que falta.

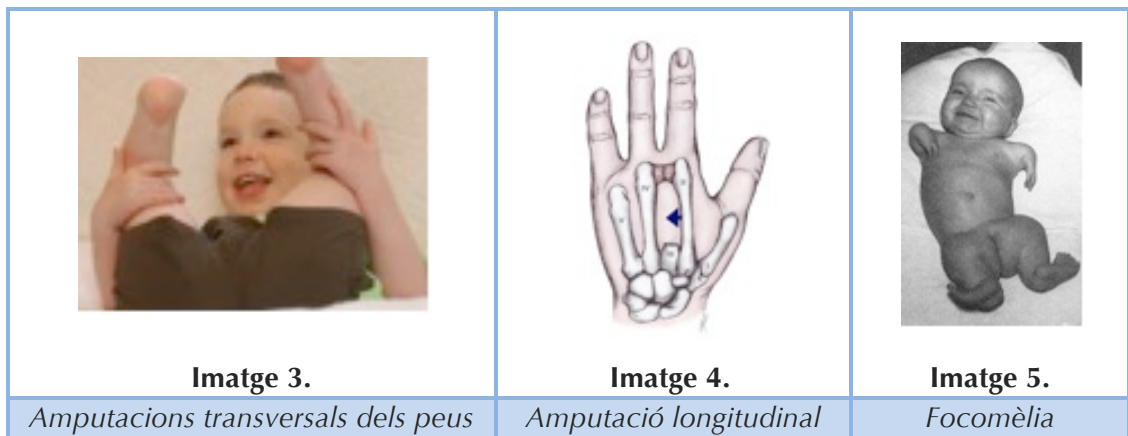


Les *deficiències transversals* (l'amputació es presenta en sentit transversal a l'eix del membre, veure imatge 2) són aquelles en què a l'afectat li manca una extremitat completa o part d'aquesta. En les *deficiències longitudinals* (en sentit vertical de l'extremitat, pot faltar un tros petit o tota una part) són aquelles en què manca un segment d'un membre. És el cas de la *focomèlia* en la qual la part del mig d'una extremitat falta i l'extrem s'uneix



directament al tronc. Per exemple, podria faltar el braç i l'avantbraç, i la mà, estar unida a l'espatlla.

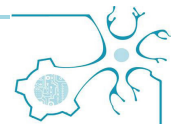
Per a la implantació d'una pròtesi, l'amputació ha de ser transversal ja que amb aquesta els nervis i els músculs arriben fins on el membre està amputat, i des d'allà es poden aconseguir senyals musculars per a poder controlar la pròtesi.



L'amputació congènita pot ser causada per la formació de brides en la bossa amniòtica durant la gestació. Aquestes envolten un membre provocant l'amputació d'aquest; aquesta causa és coneguda com *síndrome de la banda amniòtica*. Altres causes poden venir donades per factors genètics o exposició a agents mutàgens.

Podem anomenar **amputacions adquirides o per trauma** aquelles que no vénen donades des del naixement i algun membre ha hagut de ser amputat per alguna causa.

Les causes més comunes són els accidents (en fàbriques, per vehicles, per desastres naturals, per guerres...). Altres vegades aquest tipus d'amputació es duu a terme ja que, en determinades malalties, una extremitat queda inútil i per poder-la fer servir és necessari implantar una pròtesi. Per a la implantació d'aquesta és necessària l'amputació. Un altre de les causes més comunes és la deguda a la Malaltia Vascular Perifèrica (MVP). Aquesta malaltia està causada per un estretament dels vasos sanguinis fora del cor. La MVP es deu a l'arteriosclerosi; això succeeix quan la placa (una substància composta per greix i colesterol) s'acumula a les parets de les artèries que abasteixen la sang als braços o les cames. L'aparició d'aquesta malaltia provoca la manca de fluïdesa de la sang i el fet que no arribi la sang a totes les extremitats per la qual cosa, quan és suficientment greu, es produeix una necrosi (mort d'un teixit) i si això es produeix, s'ha de recórrer a l'amputació



del membre.

Existeixen altres causes d'amputacions adquirides, però les més rellevants són aquestes.

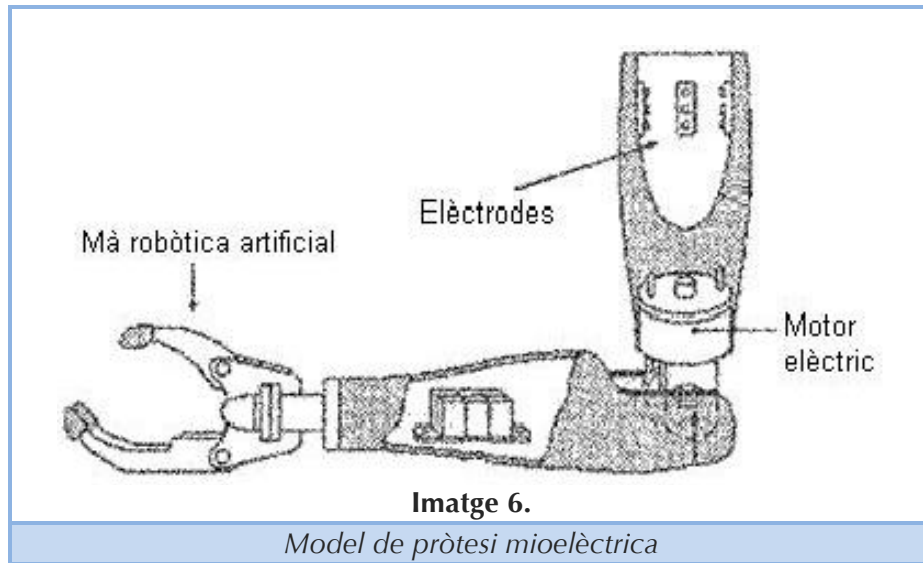
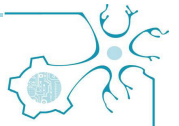
3.3 Pròtesis per a amputats de membre superior

Una pròtesi per a un amputat és un element artificial que serveix per a reemplaçar, tant des del punt de vista estètic com funcional, una part o tota una extremitat que per alguna causa s'ha perdut per amputació, ja sigui des del naixement o posteriorment.

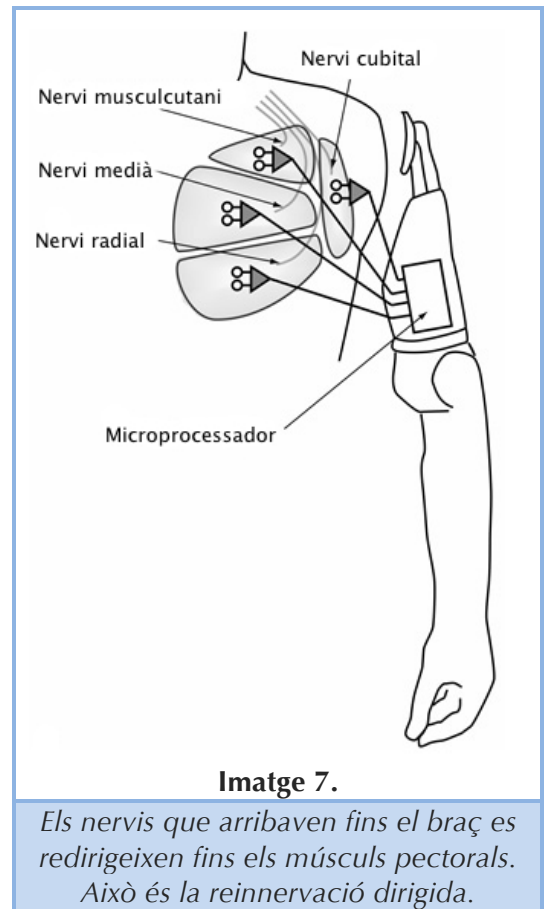
Des del punt de vista del temps o moment en el qual es col·loca una pròtesi, aquestes poden classificar-se com a **immediates**, quan es col·loquen just a l'acabar l'amputació. En **provisionals o temporals**, quan es col·loquen durant les primeres fases del procés de rehabilitació per permetre els ajustaments que siguin necessaris i finalment les **definitives**, que com el seu nom indica, acompanyaran permanentment el subjecte amputat. Aquestes últimes pròtesis han de complir amb les normes de comoditat, ajustament, alineació, funció, aparença... d'acord amb el subjecte.

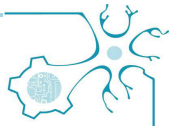
Pel que fa a l'evolució tecnològica, existeixen diferents tipus de pròtesis, unes més evolucionades que les altres, ja que al llarg del temps, la tecnologia i la ciència han anat desenvolupant-se donant peu a la creació de nous aparells millorant els anteriors. El nostre treball tracta sobre la implantació d'una pròtesi robòtica de mà, en concret d'una pròtesi mioelèctrica.

Les **pròtesis mioelèctriques o de força motriu externa** realitzen els moviments gràcies a uns elèctrodes col·locats a la pell del subjecte, els quals reben els camps elèctrics que es generen gràcies a la contracció voluntària dels músculs que queden intactes després de l'amputació. Els senyals adquirits per aquests elèctrodes són tractats per a establir un llindar que faci activar el moviment de la pròtesi quan aquest se superi. La imatge 6 mostra un dibuix d'una pròtesi mioelèctrica per a amputats que hagin perdut la mà, l'avantbraç i el colze.



Una de les tècniques utilitzades en els últims anys en amputats és la **reinnervació muscular dirigida**. En aquesta tècnica, els nervis amputats que originalment proveïen innervació al membre perdut són quirúrgicament transferits per a innervar altres músculs que romanen després de l'amputació però no tenen funcionalitat biomecànica. Un cop realitzada la reinnervació, aquests músculs produeixen senyals electromiogràfics que corresponen a les ordres motores del membre original i poden ser usades per a controlar graus de llibertat de les pròtesis.





4. Introducció a les pròtesis

4.1 Concepte de pròtesi

Les pròtesis, elements formats amb la fi de millorar o reemplaçar parts o membres complets del cos, han estat sempre un tema d'estudi, tant per enginyers mecànics com per metges. Aquests han estat regits per la necessitat de reconstrucció o substitució d'un membre del cos a causa de la seva falta per problemes congènits i malformacions, o la seva pèrdua per amputació o conflictes bèl·lics.

Les mans son el principal òrgan de manipulació física i el que ens transmet informació més precisa sobre el medi de manera tàctil degut a que és la zona amb més terminacions nervioses del cos humà. Per tant, l'amputació d'aquestes pot provocar repercussions psicològiques, funcionals, estètiques i laborals. Per això, la finalitat de les pròtesis no se centra únicament en recuperar la funcionalitat perduda, sinó també en retornar la imatge física i la simetria corporal.

4.2 Ressenya històrica

4.2.1 **Primeres pròtesis**

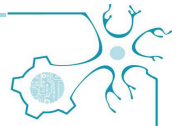
El camp de les pròtesis existia des de fa milers d'anys, tot i que les pròtesis de mà han evolucionat molt lentament essent, bàsicament, cosmètiques i poc funcionals fins fa relativament poc.



Imatge 8.

Pròtesi estètica d'un dit del peu

Des que la humanitat existeix, els membres superiors són les eines més apreciades i utilitzades de la història, ja que eren essencials per a la supervivència. Tant es així que, molt abans de l'inici de l'època cristiana, ja érem capaços de substituir les mans per



varis artificis o procediments.

La primera mostra de supletori corporal fou trobada subjectada al peu d'una mòmia egípcia entre els anys 1069 i 664 abans de Crist. Era una pròtesi de dit i no de peu complet i, tot i que s'està comprovant la seva eficàcia, aquesta pròtesi no mostra cap grau de llibertat degut als materials amb els que està tractada (fusta i cuir) i el pràcticament nul desenvolupament tecnològic i enteniment biomecànic del cos.

Amb el domini del ferro, l'ésser humà va ser capaç de construir pròtesis més resistents i que poguessin ser emprades per a portar objectes més pesats, com és el cas de Marcus Sergius. Aquest general romà, que durant la segona guerra Púnica va perdre la mà dreta, va fabricar la primera pròtesi de membre superior de ferro amb l'objectiu d'empunyar la seva espasa.

Amb ambició de millora, l'any 1400 es va fabricar la mà d'alt-Ruppín construïda també amb ferro. Aquesta mà constava d'un polze rígid oposat, dits flexibles passius, els quals es podien fixar mitjançant un mecanisme de cadell (roda dentada) i un canell mòbil. No és fins al segle XVI que el disseny del mecanisme de les pròtesis de membre

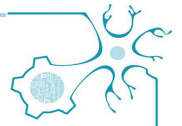


Imatge 9.

Pròtesis d'alt-Ruppín

superior millora apreciablement, gràcies al metge militar francès Ambroise Paré, qui desenvolupa el primer braç artificial pels afectats per amputacions transhumeral (desarticulats del colze). Aquest nou mecanisme constava de dits que es podien obrir o tancar pressionant o estirar més d'una palanca amb les quals es podien realitzar la flexió o l'extensió a nivell del colze. Ambroise Paré també fa un gir a l'estètica de les pròtesis construint la primera mà de cuir.

A l'inici del segle XIX, després de l'aportació del cuir, es comencen a usar nous materials: polímers naturals (macromolècules que formen els éssers vius, per exemple les proteïnes o la cel·lulosa) i fusta. A més, la creació de ressorts va facilitar l'aparició d'altres mecanismes de transmissió, els quals es van veure reflectits en els innovadors dissenys de Peter Beil. Aquest dentista alemany va desenvolupar, encara més, els mecanismes per al control d'obertura i tancament de dits mitjançant moviments de tronc i espatlla oposada, que van donar origen a les pròtesis autopropulsades.



A mitjans de segle, l'escultor holandès Van Petersen va aplicar el sistema de Peter Beil per a aconseguir la flexo-extensió a nivell de colze, així com el compte Von Beaufort que, a més, va inventar també la primera mà amb un polze mòbil utilitzant un ganxo semblant als actuals ganxos Hook.

4.2.2 Pròtesis en el segle XX

Durant el segle XX, el principal objectiu va ser aconseguir que els amputats de membre superior tornessin al món laboral i, gràcies als avenços del metge francès Gripoulleau, aquest va ser assolit. Gripoulleau va realitzar diferents accessoris metàl·lics que facilitaren els treballs de força o precisió, tals com ganxos anell.

En el mateix període es va desenvolupar el famós "Hook", que constava d'un dispositiu capaç d'obrir-se per mitjà de moviments de la cintura, i tancar-se per acció d'un tirant de goma. Una millora d'aquesta pròtesi va ser el ganxo Fischer, que posseïa més potència i pressió per la subjecció d'objectes.



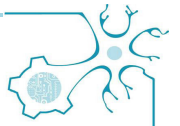
Imatge 10.

Hook

Al 1917 es funda la *American Limb Makers Association* en la que s'uneixen tots els fabricants dels Estats Units d'aquesta branca. Aquesta associació aporta altres tipus de materials per a treballar amb pròtesis. Aquests són més lleugers i dúctils, com l'alumini, fibres sintètiques o plàstics.

A conseqüència de la primera guerra mundial (1914-1918), la rehabilitació de l'invàlid va ser l'objectiu comú de la majoria dels països i, per tant, les pròtesis dissenyades eren intercanviables d'acord amb les exigències de l'obrer, ja que va ser el principal afectat.

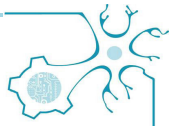
Les primeres pròtesis activades per mitjà del monyó van aparèixer amb els avenços de



l'alemany Sauerbruch, qui va triomfar a l'hora de connectar la musculatura flexora de l'avantbraç a una mà artificial. Aquesta "connexió" la va realitzar mitjançant barres de marfil que feia passar per túnels cutanis, aconseguint així el moviment de la pròtesi a causa de la contracció muscular.

A mitjans del segle XX apareixen les primeres pròtesis pneumàtiques i elèctriques gràcies al sistema de propulsió assistida, és a dir, el moviment estava causat per un agent extern. Un exemple d'aquests és el pneumàtic.

En aquest mateix període apareixen les pròtesis que nosaltres estem estudiant, les pròtesis mioelèctriques. Aquestes comencen a sorgir al 1960 per a únicament amputats d'avantbraç, i funcionen extraient i amplificant petits potencials que es duen a terme durant la contracció muscular del monyó. Posteriorment explicarem les seves característiques més detalladament.



5. La mà



Imatge 11.

Visió palmar de la mà humana

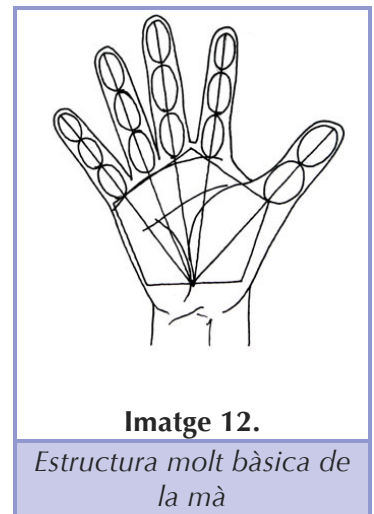
La mà és un òrgan controlat per un sistema molt complex que no és gens fàcil d'imitar, sobretot per tots els graus de llibertat i la sensibilitat que ofereix. Així doncs, la construcció de pròtesis de mà, tot i millorar dia a dia, segueix sent molt complicada ja que és gairebé impossible poder arribar a construir-ne una amb totes les prestacions que ofereix una mà humana. En aquest capítol estudiarem com és l'estructura de la mà per dins i com funciona per tal de reproduir un model molt simplificat d'una pinça robòtica amb un sol grau de llibertat (que permet obrir i tancar la mà) que podria fer-se servir com a pròtesi molt bàsica.

5.1 Anatomia de la mà

La mà és un òrgan que es compon per cinc dits i un palmell situada a l'extrem d'un conjunt de palanques mecàniques -espatlla, colze i canell- que es mouen en diferents plans. Totes aquestes formen l'extremitat superior que anomenem braç.

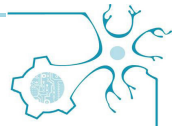
El conjunt dels cinc dits i el palmell ens permeten realitzar diverses funcions. És la principal eina per a relacionar-se amb el medi, ja que ens permet realitzar molts moviments així com agafar o prémer. També té un paper important en la part sensorial ja que la seva delicada innervació ens proporciona informació del medi amb el qual interactuem sense necessitat d'utilitzar la vista.

A part de ser una eina sensorial i motora, la mà ens permet expressar-nos, comunicar-nos i realitzar activitats complexes com ara escriure o manipular objectes.



Imatge 12.

Estructura molt bàsica de la mà



El canell és la regió on s'uneix la mà a l'avantbraç i forma una articulació encarregada de moure tota la mà.

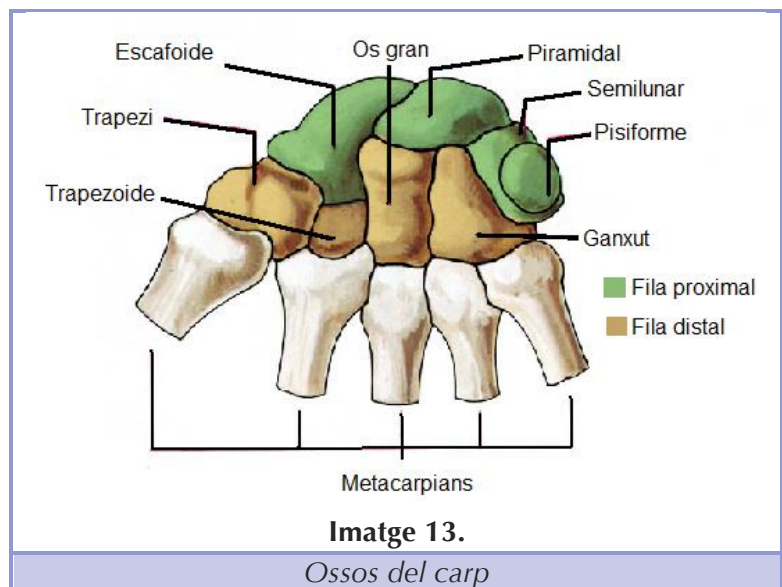
El palmell és la superfície plana que serveix com a suport per a manipular i és la part de la mà on es troben units els dits. Està constituït per uns ossos anomenats metacarpians.

Els dits són òrgans essencials per la pressió i el tacte, són apèndixs molt mòbils, articulats pels metacarpians en la mateixa direcció que aquests. S'anomenen numèricament de l'I al V començant pel polze. El polze té una de les funcions més importants de tota la mà i ens diferencia de la majoria d'animals, ja que aquest dit es troba oposat a la resta de dits fent possible el moviment de pressió. Seguint l'ordre, el segon dit s'anomena índex, el tercer dit s'anomena cor o dit del mig, el quart s'anomena anular i finalment el cinquè s'anomena dit petit o menovell.

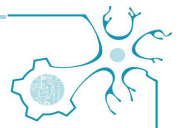
6.1.1 Ossos i articulacions de la mà

Cada mà està composta per 27 ossos classificats en tres tipus: 8 ossos del carp, 5 metacarps i 14 falanges.

Els ossos del carp formen el canell i li aporten flexibilitat. Són 8 ossos petits situats en dues files transversals. La primera fila s'anomena proximal i la segona distal. Les dues files s'articulen entre si i cada una d'aquestes també s'articula amb els ossos adjacents a elles.



Tots els ossos tenen 6 cares presentant una forma cúbica irregular. Les cares anterior i posterior de cada os són rugoses per a inserir els lligaments, aquestes



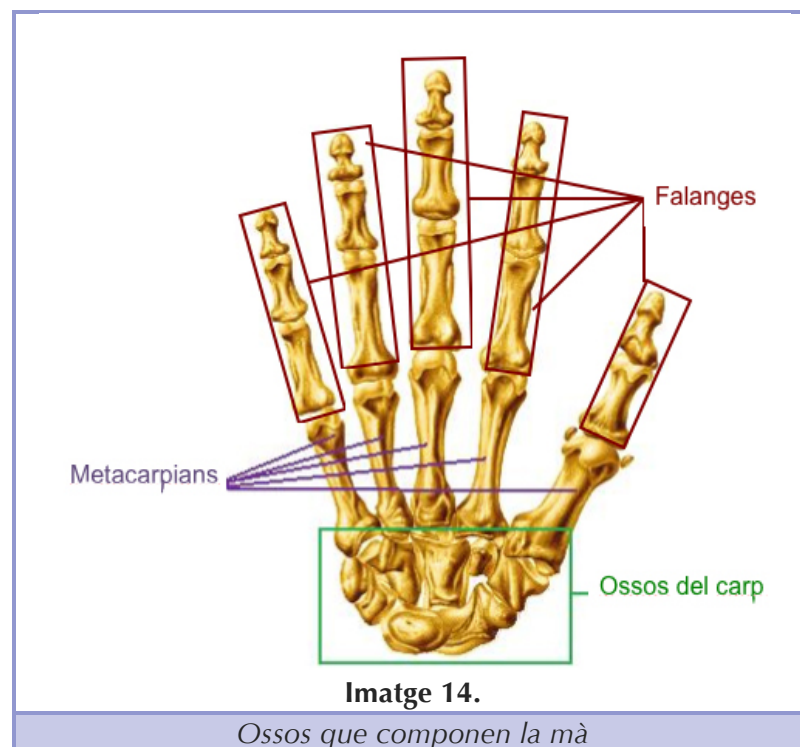
corresponen a les cares palmar i dorsal. Les altres quatre cares són llises i estan recobertes de cartílag.

La fila proximal es compon per 4 ossos: l'escafoide, el semilunar, el piramidal i el pisiforme.

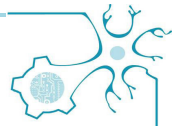
L'**escafoide** és l'os més voluminós i s'articula amb el radi. El **semilunar** està situat entre l'escafoide i el piramidal, també s'articula parcialment amb el radi. El **piramidal** està situat entre el semilunar i el pisiforme i articula indirectament amb el cúbit mitjançant el disc radicubital. Finalment, el **pisiforme** es troba muntat al piramidal.

La fila distal es compon per 4 ossos: trapezi, trapezoide, os gran i ganxut.

El **trapezi** s'articula amb el primer i el segon metacarpia. El **trapezoide** se situa entre el trapezi i l'os gran i s'articula amb el segon metacarpia. L'**os gran** està entre el trapezi i el ganxut i és el més gran del carp. S'articula amb el tercer metacarpia. El **ganxut** s'articula amb el quart i cinquè metacarpia.



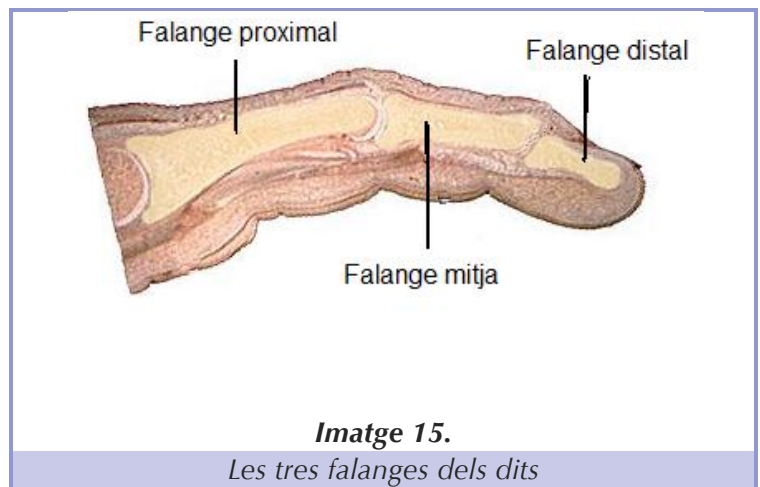
El **metacarp** forma l'esquelet del palmell de la mà i cada unitat s'anomena metacarpia, n'hi ha cinc. Són ossos llargs, malgrat la seva reduïda mida i consten de tres parts: el cap, el cos (diàfisi) i la base. Les bases proximals s'articulen amb els ossos del



carp i els caps distals s'articulen amb les falanges formant els artells. Els metacarps s'anomenen numèricament de l'I al V començant pel primer que s'uneix al polze i acabant pel cinquè que s'uneix al dit petit.

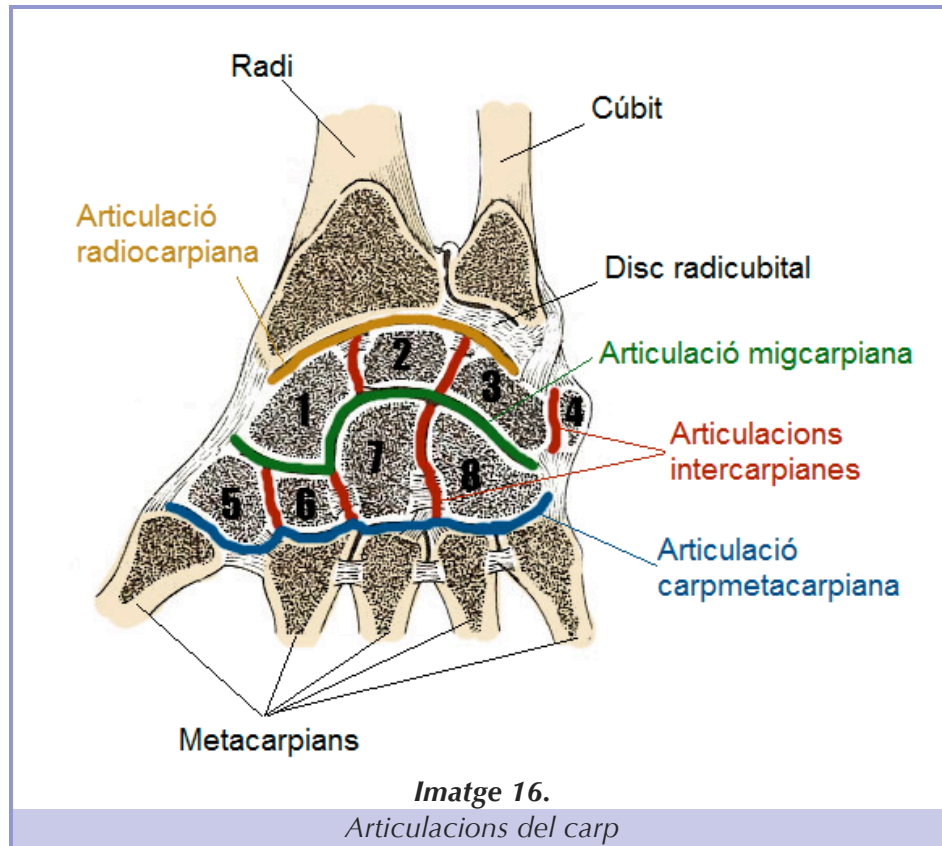
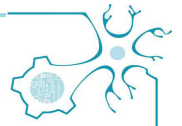
La funció principal dels metacarps és el moviment dels dits, a excepció del mig i l'anular. També col·laboren en el recolzament de les mans i donen forma i rigidesa al palmell de la mà.

Les **falanges** són els ossos que componen els dits i consten de tres segments, excepte el polze que en té dos. N'hi ha 14 en cada mà. Des del metacarp fins a l'extrem del dit s'anomenen falange proximal, mitja i distal. Són ossos llargs i com a tals presenten un cos i dos extrems (cap i base).



Les **falanges proximals** estan unides al metacarp adjacent. Les **falanges mitges** es troben entre les proximals i les distals i constitueixen el cos del dit. Les **falanges distals** es troben a l'extrem del dit i només s'uneixen per la base a les falanges mitges.

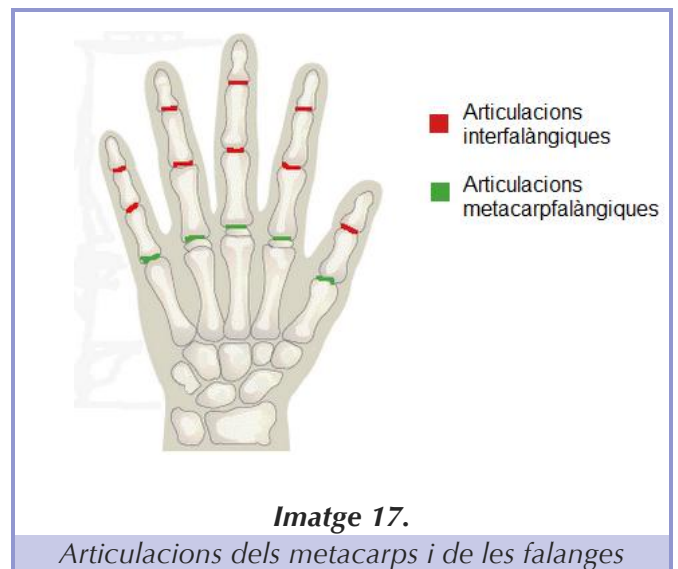
A la mà trobem 7 tipus d'articulacions. En la regió del carp trobem l'**articulació radiocarpiana**; formada pel radi, el disc radicular i la fila proximal del carp. Aquesta articulació uneix els ossos de l'avantbraç amb la fila proximal del carp. L'**articulació migcarpiana** se situa entre la fila distal i proximal del carp i ofereix dos graus de llibertat. Les **articulacions intercarpianes** se situen entre els ossos individuals del carp. Cada os per si sol ofereix poc moviment, però en conjunt contribueixen a la total mobilitat del canell. L'**articulació carpmetacarpiana** es troba entre la fila distal del carp i les bases dels metacarps.



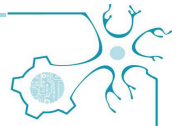
En la regió del metacarp trobem, a part de l'articulació carpmetacarpiana, les articulacions intermetacarpianes, en què els quatre ossos s'articulen entre si per les seves bases.

Les **articulacions metacarpofalàngiques** dels quatre últims dits són de tipus esfèriques i uneix el cap de l'os metacarpia i la base de la falange proximal. L'articulació metacarpfalàngica del dit polze és més gran que la dels altres quatre dits.

En els dits trobem les **articulacions interfalàngiques**. N'existeixen dues



en cada dit excepte en el polze que només n'hi ha una. La primera es troba entre la falange proximal i la del mig i la segona entre la falange del mig i la distal. En el cas del dit polze l'articulació es troba entre la falange proximal i la distal.



6.1.2 Músculs de la mà

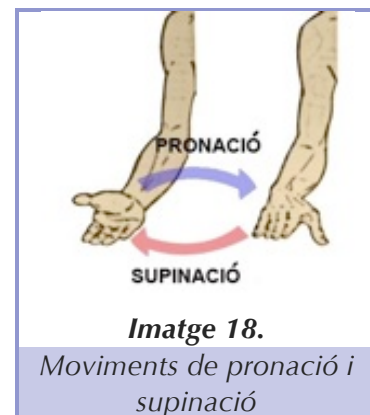
Si els ossos aporten rigidesa i forma als òrgans, els músculs són els encarregats del moviment. Aquests músculs que provoquen el moviment de la mà es poden classificar en intrínsecs; situats a l'avantbraç, duen a terme un control més general de la mà i els extrínsecs; situats dins la mà, duen a terme un control més específic d'aquesta.

Trobem divuit músculs dins del grup dels extrínsecs. Nou d'aquests es classifiquen com músculs extensors i sis pertanyen al grup dels flexors. Els músculs extensors de l'avantbraç poden organitzar-se funcionalment en tres grups. El primer grup està format pels músculs que estenen i contrauen la mà en l'articulació del canell. El segon grup són els músculs que estenen els quatre dits i, per últim, els músculs que estenen i contrauen el polze.

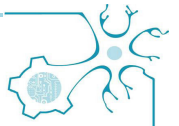
Els músculs poden agrupar-se en sis grups funcionals de tres músculs cada un:

- Rotació del radi sobre el cúbit
 - Pronador rodó
 - Pronador quadrat
 - Supinador

Aquest grup de músculs permeten realitzar els moviments de pronació i supinació.

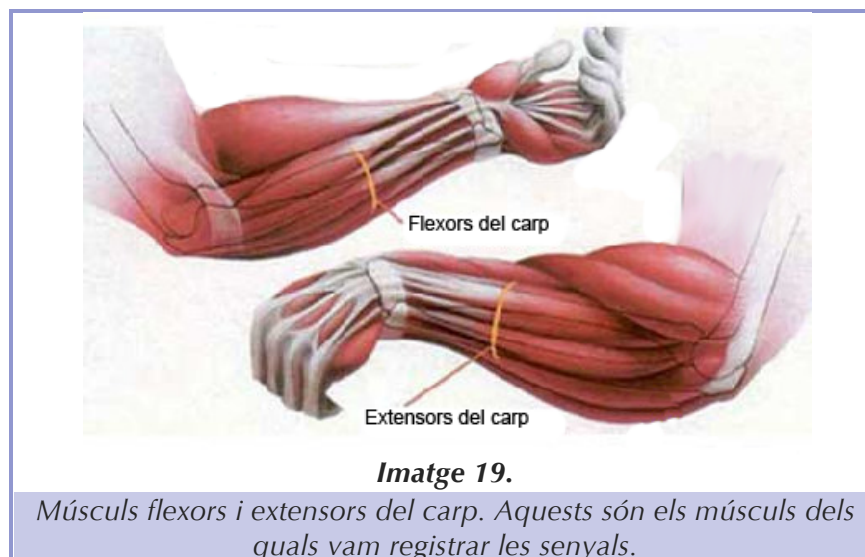


- Flexió de la mà a nivell del canell
 - Flexor radial del carp
 - Flexor cubital del carp
 - Palmar llarg
- Flexió dels dits
 - Flexor superficial dels dits
 - Flexor profund dels dits
 - Flexor llarg del polze

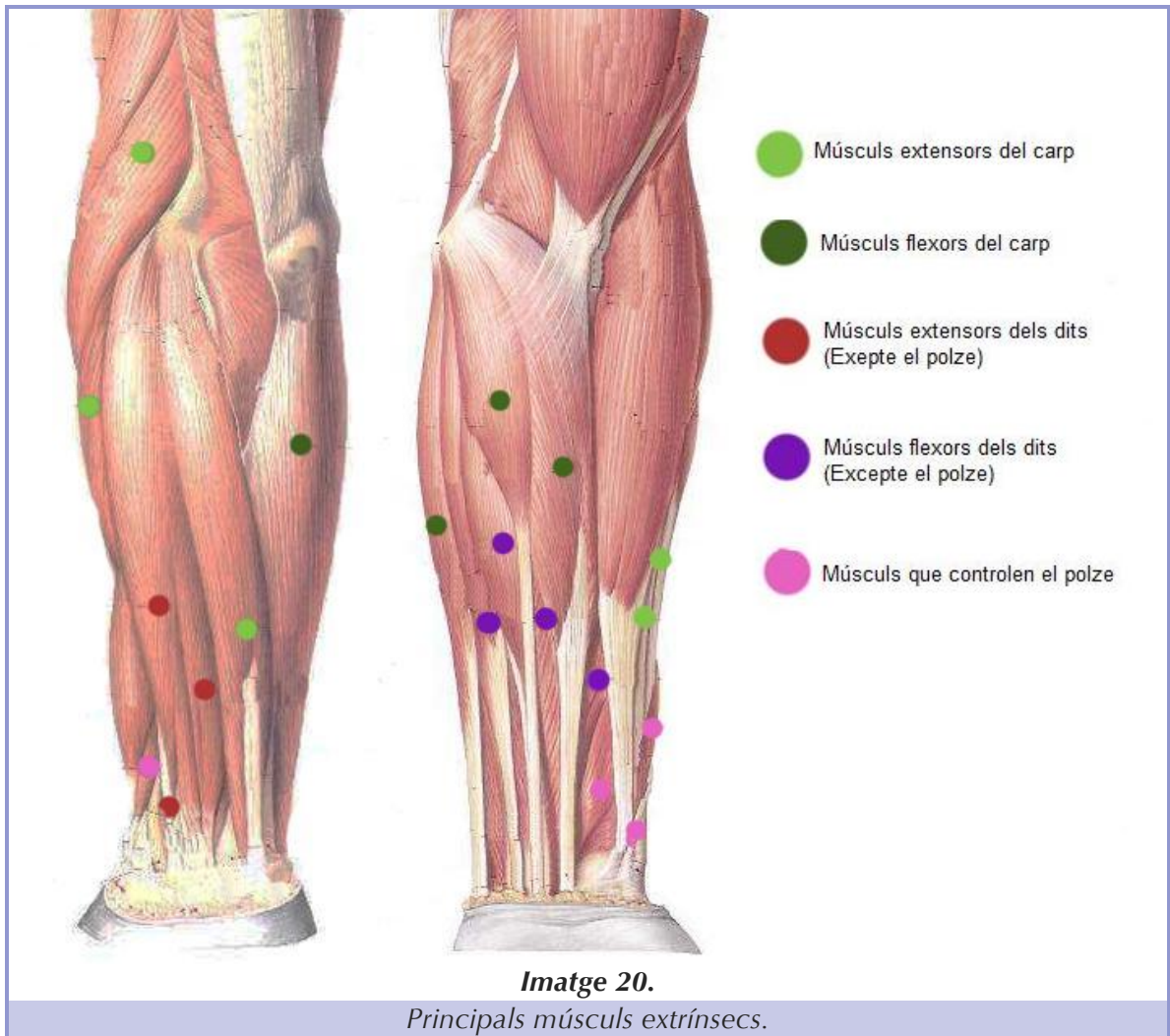
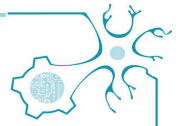


Els tendons d'aquests músculs emergeixen del canell i penetren en el compartiment central del palmell, aquí se separen per a dirigir-se als seus respectius dits. Els del flexor profund s'insereixen a les bases de les falanges distals dels dits del II al V. Els del flexor superficial s'insereixen a la diàfisi i a les falanges mitges dels mateixos dits.

- Extensió de la mà a nivell del canell
 - Extensor radial llarg del carp
 - Extensor radial curt del carp
 - Extensor cubital del carp

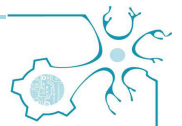


- Extensió dels dits (excepte el polze)
 - Extensor dels dits
 - Extensor de l'índex
 - Extensor del dit petit
- Extensors del polze
 - Abductor llarg del polze
 - Extensor curt del polze
 - Extensor llarg del polze



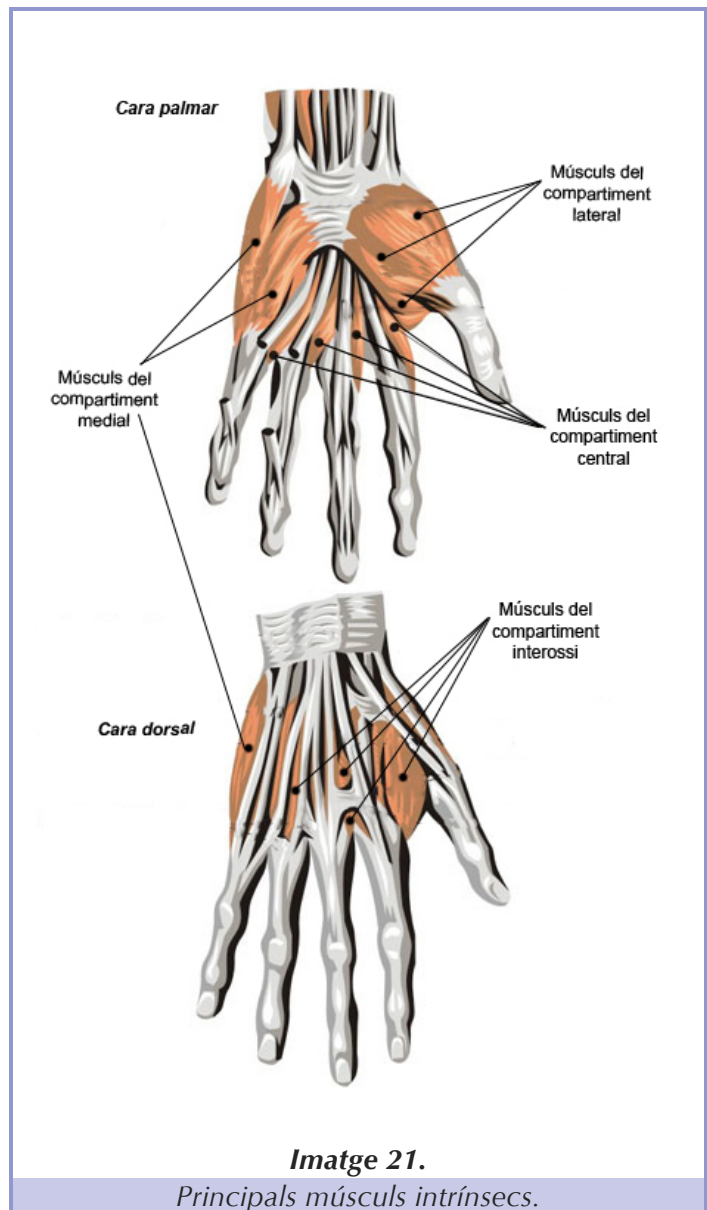
Els **músculs intrínsecs** de la mà es divideixen en quatre compartiments: compartiment central; compartiment lateral o de l'eminència tènar; compartiment medial o de la eminència hipotènar i el compartiment interossi. El **compartiment tènar** conté els músculs específics pel polze, el hipotènar els del dit petit i el **central** els de la resta dels dits.

Els músculs del **compartiment central**, també s'anomenen lumbricals o curts, són quatre músculs petits que flexionen els dits a nivell de l'articulació metacarpofalàngica i estenen les interfalàngiques.

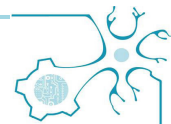


Els músculs del **compartiment lateral** també anomenats músculs tènars, se situen a la superfície lateral del palmell i són els principals responsables de l'oposició del polze. El moviment normal del polze és important per realitzar activitats de precisió de la mà. L'elevat grau de llibertat de moviment del polze és a causa que el primer metacarpí és independent amb articulacions mòbils en ambdós extrems. D'aquesta manera diversos músculs es requereixen per controlar la seva llibertat de moviment. Aquest compartiment està format per quatre músculs superposats que són des de la profunditat fins a la superfície: l'abductor del polze, el flexor curt del polze, l'oposat del polze i l'abductor curt del polze. El conjunt d'aquests músculs permet realitzar moviments d'extensió, flexió, abducció, adducció i oposició³.

Els músculs del **compartiment medial** també anomenats músculs hipotènars, se situen al costat medial del palmell i mouen el dit petit. Són quatre i estan superposats des de la profunditat fins a la superfície en el següent orde: oposat del dit petit, flexor curt del dit petit, abductor del dit petit i palmar curt. En el seu conjunt poden realitzar moviments d'abducció, flexió i rotació del cinquè metacarpí.



³ Veure "moviments de la mà". Pàgina 35



Els músculs del **compartiment interossi** ocupen els espais interossis del metacarp. Cada espai disposa de dos músculs interossis, un de palmar i l'altre de dorsal, a excepció del primer espai que no té interossi palmar. Hi ha quatre músculs interossis dorsals i s'anomenen primer, segon, tercer i quart procedent (de lateral a medial, és a dir, des del dit polze fins al dit petit). Hi ha quatre músculs interossis palmars; són més petits que els dorsals però realitzen el mateix trajecte.

4.1.3 Nervis que innerven la mà

Els nervis que innerven les estructures del braç s'originen tots ells en el plexe braquial. El plexe braquial és una estructura nerviosa localitzada a la base del coll responsable de la innervació del membre superior, tant per la part motora com per la part sensorial. Aquesta estructura està formada per les ramificacions dels quatre nervis cervicals inferiors i del primer nervi toràcic.

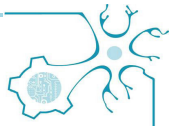
A continuació anomenarem els nervis que innerven els músculs de la mà i farem una breu descripció. L'objectiu d'aquest apartat és presentar l'anatomia de la mà i l'avantbraç, presentar les estructures més importants que s'hi troben i no explicar en detall el funcionament de cada part⁴.

El *nervi musculocutani* i el *nervi mitjà cutani de l'avantbraç* actuen a nivell motor en el braç, concretament en el bíceps. En l'avantbraç, aquests dos nervis actuen únicament com a nervis sensorials innervant la pell de l'avantbraç per a fer possible la recepció d'informació de l'entorn.

Els tres principals nervis que innerven en la mà i l'avantbraç i permeten la innervació dels músculs per al moviment són el nervi radial, el nervi cutani, i el nervi mitjà.

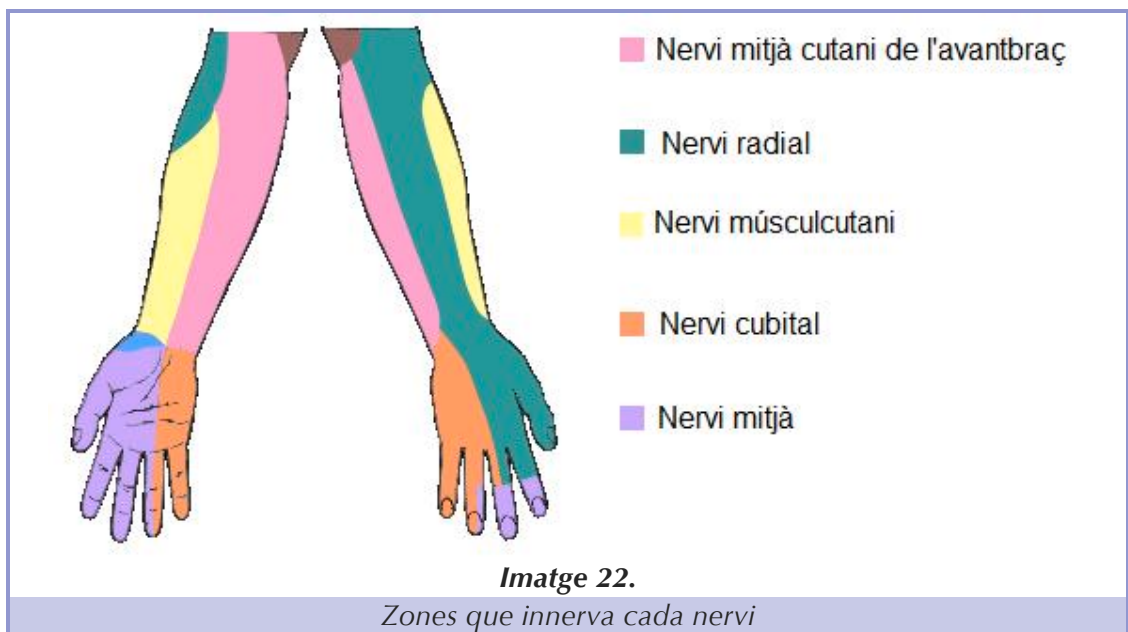
El **nervi radial** innerva, en l'avantbraç els músculs extensors de la mà, tant els dels dits com els de tota la mà, també actua en l'abducció del polze i en el moviment de supinació. Sensitivament, aquest nervi innerva part de la mà i de l'avantbraç.

⁴ Per a més informació sobre el sistema nerviós perifèric i el seu funcionament veure pàgina 47.



El **nervi cubital** innerva gran part dels músculs intrínsecs de la mà. Actua sobre els músculs hipotènars, aquells que mouen el dit petit, sobre els músculs interossis i també sobre alguns músculs tènars, aquells que mouen el polze. Sensitivament, aquest nervi innerva part de la mà, tant del palmell com de la cara dorsal.

El **nervi mitjà** actua en els músculs que roten el radi sobre el cúbit, en concret sobre el pronador quadrat, sobre els músculs flexors de la mà i sobre alguns dels músculs intrínsecs de l'eminència tènar. Sensitivament, aquest nervi també innerva la mà.

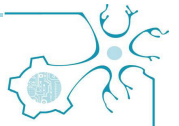


5.2 Funcions de la mà

Les mans tenen diverses funcions com la prensió, el tacte i la gesticulació. La funció de prensió és un tipus de funció motora, el tacte és una funció sensorial i la gesticulació és una funció de relació amb el medi per a la comunicació i interacció amb aquest.

Un amputat de mà perd totes aquestes facultats i la implantació d'una pròtesi mioelèctrica o mecànica permet restaurar la funció motora tot i que amb moltes mancances, ja que ofereix un mínim de graus de llibertat.

Actualment, les pròtesis biòniques compten amb sensors que reben informació de l'entorn i les envia a l'individu, facilitant així la interacció entre l'amputat i l'entorn.



5.2.1 Funcions motores

La principal característica biomecànica que fa possible que la mà sigui un element de premsió d'alta precisió és la seva estructura poliarticulada. També, els ossos del carp, participen en l'execució dels moviments generals de la mà.

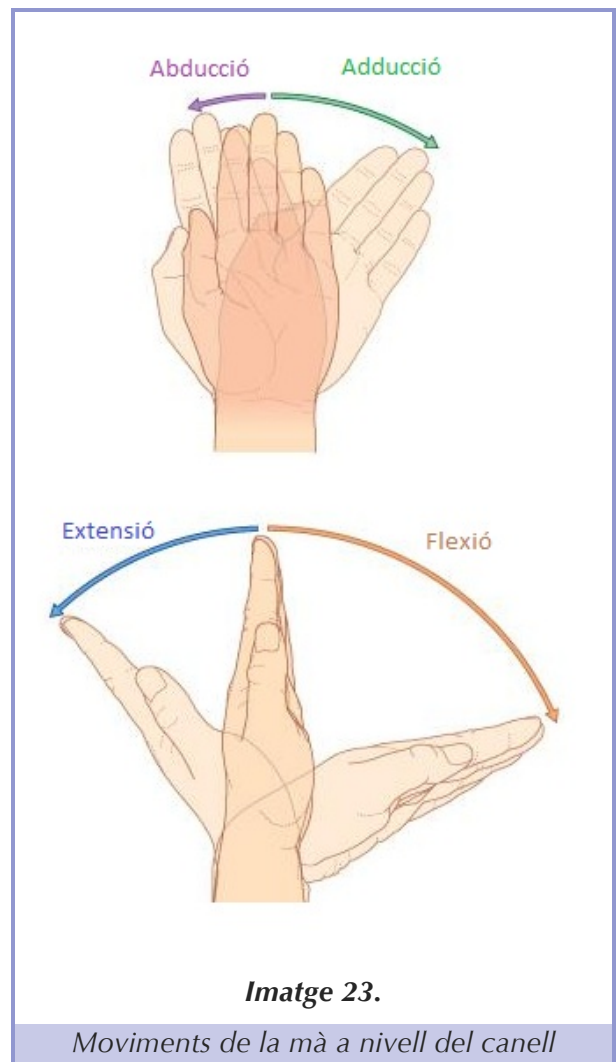
5.2.1.2 Moviments de la mà

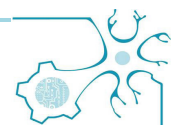
La mà és capaç de realitzar, respecte l'avantbraç, moviments de flexió, extensió i d'inclinacions laterals. La combinació d'aquests moviments s'anomena circunducció.

La **flexió** assoleix els 50° en l'articulació radiocarpiana i 30° en la migcarpiana. **L'extensió** arriba als 30° en l'articulació radiocarpiana i a 50° a la migcarpiana. L'articulació radiocarpiana és preferentment l'articulació de la flexió i la migcarpiana la de l'extensió.

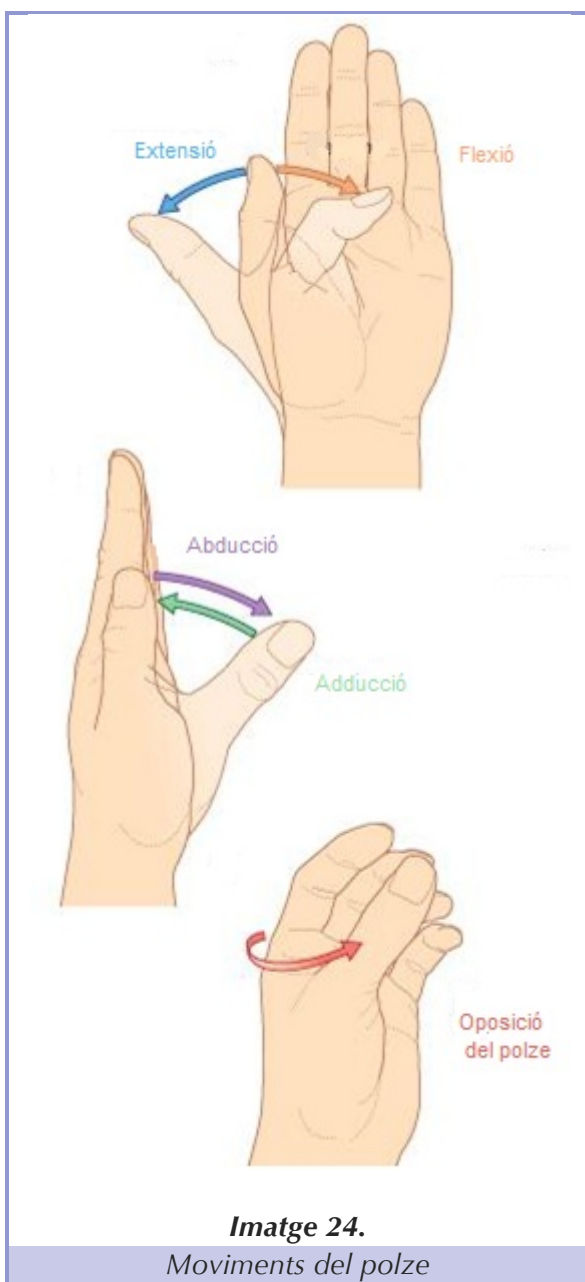
A l'**abducció cubital pura** l'amplitud del moviment és de 40°. La primera fila del carp llisca, de medial a lateral, de manera que l'os semilunar passa inferiorment a la cara inferior del radi.

La inclinació cap al costat radial s'anomena **abducció radial** i cap al costat cubital s'anomena **abducció cubital** o **adducció**.





La circumducció és un moviment que resulta de l'execució successiva dels quatre moviments anteriors (flexió, extensió, abducció i adducció).

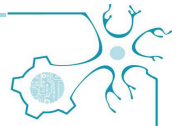


La rotació o pronosupinació de la mà està determinada per la rotació simultània de les **articulacions radiocubitals**. Intervenien els ossos de l'avantbraç que proporcionen a la rotació de la mà força i precisió a la vegada. Un sol os, proporciona la precisió del moviment girant al voltant del cúbit, mentre que aquest es manté com a guia o eix de desplaçament de l'avantbraç i de la mà. En la supinació, la mà s'orienta anteriorment i en la pronació posteriorment.

La mà humana posseeix cinc dits, dels quals el 2n, el 3r, el 4t i el 5è tenen els mateixos moviments, mentre que el polze té una independència i una mobilitat excepcionals.

Els moviments del polze es duen a terme gràcies a l'**articulació carpmetacarpiana**; que s'encarrega de la flexió i l'extensió que porten el primer metacarpità cap al palmell o cap al dors de la mà. L'abducció el separa dels altres metacarpians i l'adducció l'apropa. L'oposició permet girar la cara palmar del polze cap a la cara

palmar dels altres dits, associa l'adducció amb la flexió. L'**articulació metacarpfalàngica** és capaç de flexionar i estendre el polze pels seus moviments de lateralitat, adducció i abducció, essencialment són moviments del seu metacarpità. L'articulació interfalàngica s'encarrega de la flexió i l'extensió.



La resta de dits es mouen gràcies a l'articulació carpmetacarpiana que realitza moviments mínims tot i que el 4t i el 5è metacarps són els més mòbils; gràcies a les articulacions metacarpofalàngiques que contribueixen a realitzar moviments de lateralitat que aproximen o allunyen la falange de l'eix de la mà i moviments de rotació, anatòmicament possibles però no funcionals. Les articulacions interfalàngiques permeten moviments de flexió i extensió.

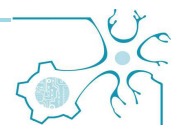


6.2.1.3 Tipus d'agafament de la mà

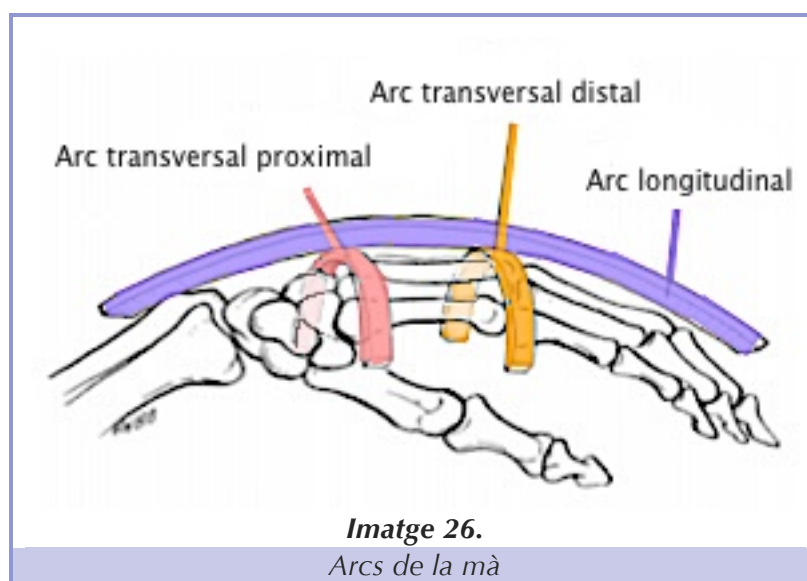
La mà humana és capaç d'agafar objectes amb una gran habilitat. La visió ocupa un paper molt important en l'exactitud del control o de l'agafament però tota la complexa organització anatòmica i funcional de la mà es manifesta en la prensió. Però quan parlem de prensió utilitzem un terme molt general ja que existeixen nombroses maneres d'agafar un objecte.

La informació que obtinguem en aquest apartat, permetrà veure com hauria de ser configurada una mà robòtica per a complir totes les funcions. La pinça robòtica que nosaltres volem confeccionar és la forma més bàsica d'agafament, ja que no constarà de la complexa anatomia de la mà humana.

Quan parlem d'agafament, parlem també de prensió. La prensió es defineix com l'agafament d'un objecte entre qualsevol de les superfícies de la mà, o quan un objecte és contingut al palmell de la mà. La prensió pot contenir o no el polze, l'únic requeriment és aconseguir una sustentació ben ferma de l'objecte.

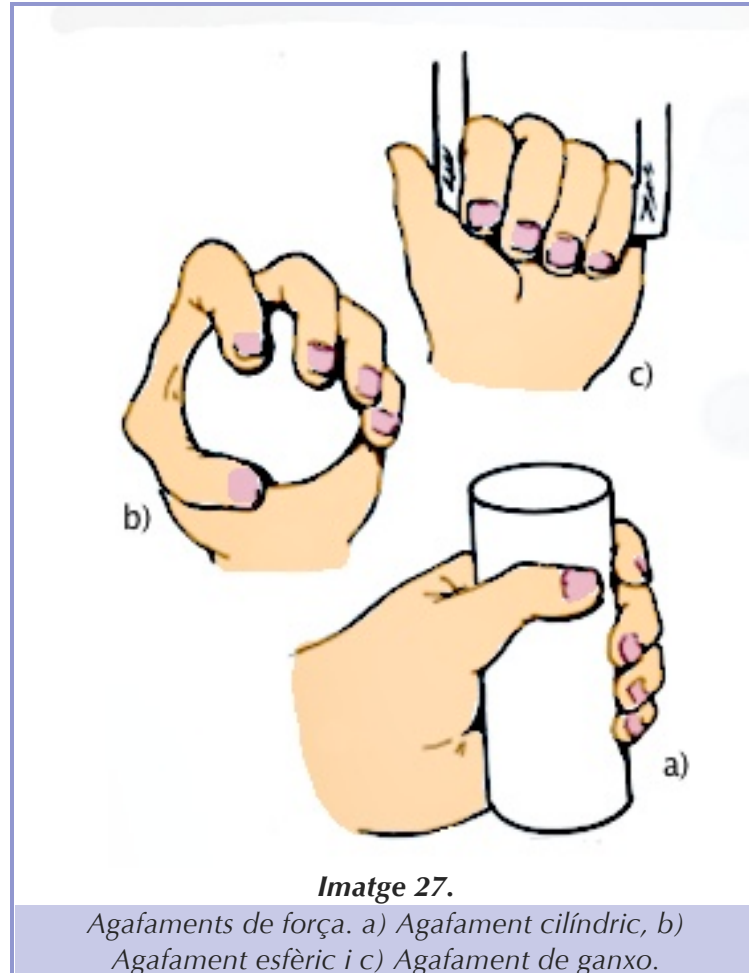
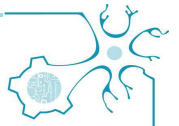


Una bona i eficient funció de premsió de la mà depèn d'un gran nombre de factors. Els més importants són la capacitat de moviment de les articulacions carp metacarpianes amb el primer metacarp, la rigidesa de les articulacions carp metacarpianes en el segon i tercer metacarp, la força de fricció de l'objecte i l'estabilitat dels arcs de la mà. Per entendre el quart factor hem de explicar breument què són els arcs de la mà. En trobem tres i segueixen la direcció dels ossos i/o de les articulacions. Són l'**arc transversal proximal**, el **transversal distal** i el **longitudinal**. Estan representats en la imatge 23.



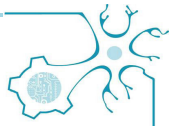
La classificació més extensa i més útil és la diferenciació entre agafaments de força i agafaments de precisió.

L'**agafament de força o de potència** és una flexió potent dels dits per tal de mantenir un objecte contra el palmell. El canell es localitza en una posició neutre, entre la flexió i l'extensió. El polze actua com element de precisió, permet el control dependent de la seva posició. Quan aquest està en adducció, la precisió és més alta que en abducció. Dintre de l'agafament de força trobem tres subgrups segons la forma de l'objecte que es vol subjectar: premsió esfèrica, premsió cilíndrica i premsió de ganxo. En la **premsió cilíndrica** s'usen sobretot els músculs extrínsecs de la mà. El polze normalment envolta l'objecte. La **premsió esfèrica** és semblant a la cilíndrica amb la diferència que els dits se separen envoltant tot l'objecte i oferint més superfície de contacte. La **premsió de ganxo** és desenvolupada majoritàriament pels dits i pot incloure, o no, el palmell i el polze. El protagonisme el tenen les falanges distals dels dits índex i del mig.



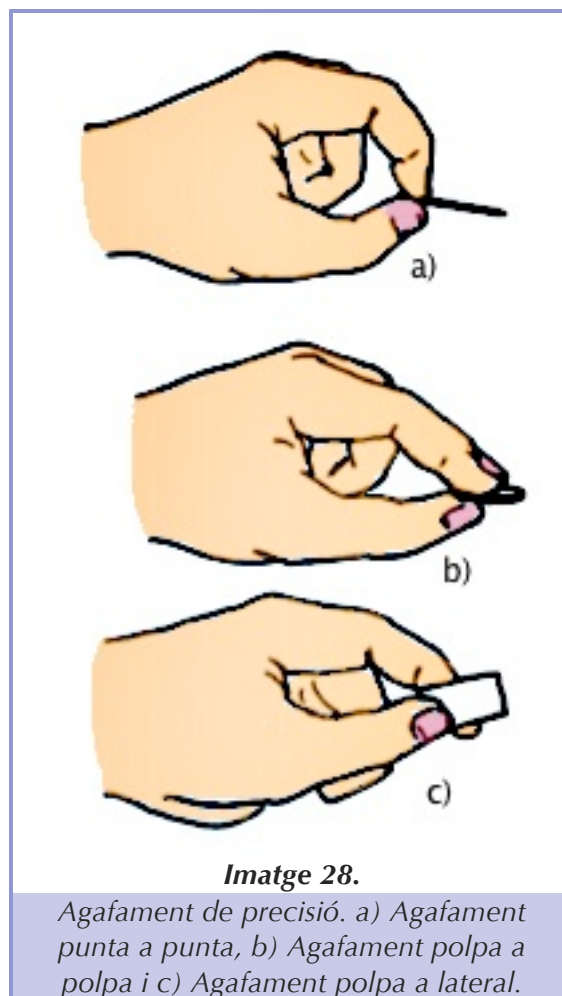
En tot agafament de força, el procés per a subjectar un objecte consta de quatre fases. Les tres primeres són dinàmiques en què els músculs actuen per a canviar la posició del canell i dels dits i l'última és estàtica, ja que no es necessita moviment. La primera consisteix en l'obertura de la mà; la segona inclou el posicionament dels dits al voltant de l'objecte; la tercera correspon al tancament dels dits i la quarta consisteix en l'ús de la contracció muscular per a mantenir l'objecte subjecte. Conèixer aquestes fases és molt important per les pròtesis robòtiques que incorporen cinc dits. Els estudis actuals treballen per a fer una còpia el màxim fidel possible de la mà humana, i saber com funciona aquesta a nivell de pressió és molt important per a reproduir-ho.

L'**agafament de precisió** serveix per a tenir un major control de l'objecte, tot i que no permet fer gaire força. Es basa en l'ús del polze que s'oposa a l'índex majoritàriament, a qualsevol altre dit o a més d'un dit. Els dits es flexionen i el polze s'abdueix. Si l'objecte és gran i requereix més força per ser subjectat s'utilitzen més de dos dits. La superfície de



contacte en aquest tipus de premsió és molt menor. Com en l'altre cas, també existeixen tres subgrups, però no depenen de la forma de l'objecte, sinó de les parts del dit que s'utilitzen per agafar-lo. Podem diferenciar la pinça punta a punta, polpa a polpa i polpa a lateral.

La pinça **punta a punta** inclou les puntes dels dos dits. És la premsió més precisa i a la vegada la més inestable. L'agafament **polpa a polpa** contraposa la polpa del polze amb la d'un altre dit. Finalment, la premsió **polpa a lateral** consisteix en una pinça entre la polpa del polze i el lateral de l'altre dit. Aquesta és la forma menys precisa.



La mà és capaç de realitzar tasques voluntàries d'un alt nivell de destresa. És capaç d'utilitzar les puntes dels dits oposant-les amb el polze per a crear una pinça, i és capaç d'aplicar la força necessària en la direcció correcta per a ajustar-se a la forma de l'objecte. Aquestes tasques d'agafament i manipulació tant concretes i necessàries només les pot realitzar un element tant complex com és la mà.



5.2.2 Funcions sensorials

La supervivència de qualsevol organisme depèn de la disponibilitat d'informació del medi. Els esdeveniments que succeeixen en el món interior i exterior han de ser transformats, en primer lloc, en senyals entenedores i procesables pel sistema nerviós.

El procés sensitiu consisteix en el mostreig selectiu de petites quantitats d'energia del medi. Aquesta energia és utilitzada per a controlar la producció de potencials d'acció⁵ a les fibres nervioses. Aquest procés es duu a terme en els receptors sensorials. Els receptors sensorials són estructures biològiques que poden ser tan simples com terminacions nervioses lliures o tan complexes com l'ull o l'oïda.

Cada receptor és específic per a un tipus d'estímul concret. Aquest estímul s'anomena *estímul adequat* i presenta un llindar més baix (mínima intensitat d'estímul necessària per a ser detectat). No obstant això, la majoria de receptors també s'activen amb estímuls diferents a l'adequat, però el receptor necessitarà un estímul més intens per detectar-lo perquè el llindar és més alt.

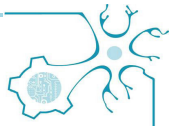
Els receptors sensorials poden estar constituïts per cèl·lules receptores especialitzades o per terminacions nervioses que actuen directament com a sensors. Els primers s'anomenen *receptors sensorials secundaris* i actuen com a transductors⁶ de l'estímul, els segons s'anomenen *receptors sensorials primaris*.

El procés sensitiu forma part d'un procés més complex: la percepció, que és la relació entre els records (la informació prèviament apresada) i les sensacions rebudes pels receptors sensorials.

Una de les grans mancances de les pròtesis mioelèctriques és la possibilitat de rebre informació sobre l'entorn i la capacitat sensorial. Actualment, les pròtesis biòniques

⁵ **Potencial d'acció:** mecanisme bàsic que utilitza el Sistema Nerviós per transmetre informació. És un fenomen molt breu (succeeix en milisegons) en el qual, la membrana de la cèl·lula es despolaritza (l'interior de la cèl·lula es fa menys negatiu que en repòs fent-se positiu). Es produeix mitjançant la Bomba de sodi-potassi.

⁶ **Transducció:** transformació de les diferents formes d'energia dels estímuls en energia dels impulsos nerviosos que són conduïts fins al Sistema Nerviós Central per les neurones sensibles.



incorporen sensors capaços de funcionar com a receptors sensorials. Però l'individu que porta una pròtesi mioelèctrica, necessita estar veient en tot moment allò que realitza, ja que la pròtesi no li aporta cap tipus d'informació.

6.2.2.1 Tipus de receptors sensorials

Podem classificar els receptors segons dos criteris diferents:

- Segons la naturalesa dels senyals que reben:

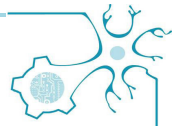
Els **fotoreceptors** detecten la llum i estan lligats a la vista; els **quimiorceptors** reben senyals químics i estan lligats al sentit del gust i l'olfacte; els **mecanoreceptors** detecten les deformacions físiques (pressió) i estan lligats al sentit del tacte i l'oïda i els **receptors tèrmics** detecten la calor o la pèrdua d'aquesta. Aquests dos últims receptors (mecanoreceptors i tèrmics) s'inclouen dins del grup dels **receptors cutanis**.

- Segons l'origen dels estímuls:

Els **exteroceptors** detecten estímuls de la part externa del cos i es troben a la pell i a les mucoses; els **telereceptors** detecten estímuls allunyats del cos com per exemple, l'olfacte, el tacte i la vista. Els **propioceptors** capten informació sobre la posició de les articulacions, de l'activitat muscular i de l'orientació del cos a l'espai. Els **interceptors** responen a estímuls interns.

Els **nociceptors** detecten el dolor. Són uns receptors diferents als altres, ja que són polimodals; responen a qualsevol estímul (mecànic, tèrmic, químic o lumínic) quan aquest és molt intens.

Ens centrarem a explicar els receptors que es localitzen a la mà, ja que, el nostre treball tracta sobre una pròtesi de mà.



Els **receptors tàctils** (mecanoreceptors) produeixen sensacions com el tacte, pressió i vibració. La sensació de tacte és deguda a la deformació de mecanoreceptors cutanis per contacte d'objectes amb la pell. La sensació de pressió es deu a deformacions més intenses de la pell. Per últim, la sensació de vibració es produeix quan els estímuls de contacte es repeteixen a elevada freqüència.

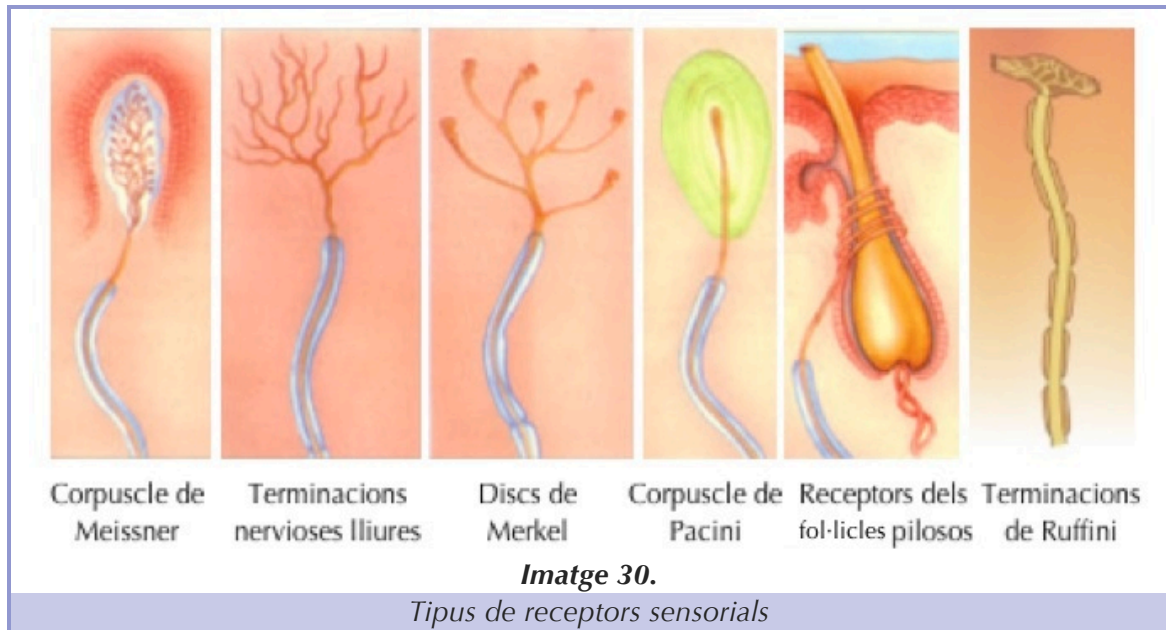
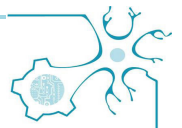


Imatge 29.
Secció de pell humana d'un dit

Hi ha diferents tipus de receptors tàctils, se'n coneixen sis:

- *Terminacions nervioses lliures*: són ramificacions finals de fibres nervioses. Es localitzen a qualsevol zona de la pell i acaben a l'epidermis. Són un dels encarregats de detectar el tacte i la pressió.
- *Corpuscles de Meissner*: són receptors encapsulats que tenen al seu interior terminacions d'una fibra nerviosa. Es localitzen a zones de la pell sense pèl (com mans, llavis, etc.). Detecten el tacte fi i vibracions de baixa freqüència.
- *Discs de Merkel*: són terminacions nervioses amb extrems dilatats. Es troben per tota la pell. Detecten contactes de llarga durada.
- *Receptors dels fol·licles pilosos*: es troben a la base de cada pèl. Són molt sensibles al moviment dels pèls i detecten el moviment d'objectes sobre la pell.
- *Terminacions de Ruffini*: són terminacions ramificades amb una càpsula ampla. Es troben a tota la pell, a capes profundes de la dermis. Detecten tectes duradors i pressió.
- *Corpuscles de Pacini*: terminacions amb una càpsula en forma de ceba situades a les capes profundes i subcutànies. Detecten canvis mecànics ràpids i vibracions d'elevada freqüència.

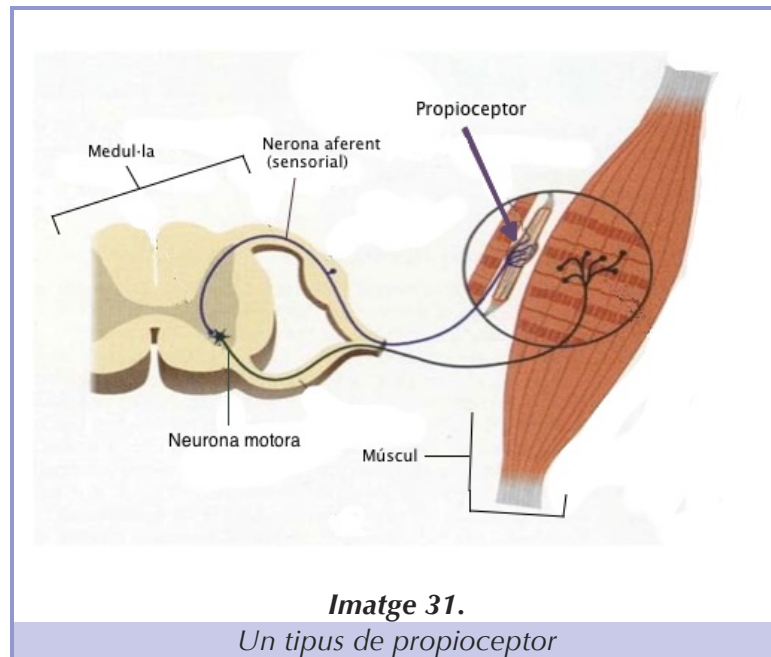
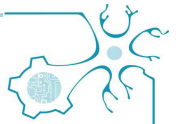
En la següent pàgina es mostra una imatge amb cada un dels receptors esmentats.



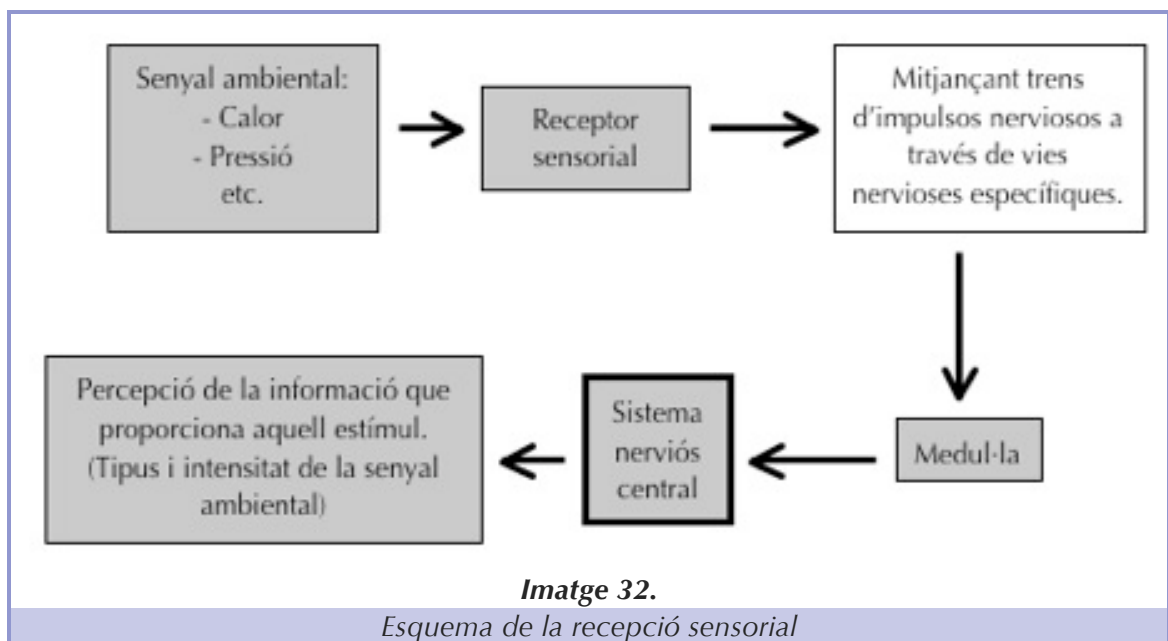
De tots els receptors sensorials que podem trobar en el cos, els **propioceptors** són uns dels més importants. Aquests receptors ens permeten saber en quina posició estem i on tenim la col·locació dels nostres membres a l'espai. Així doncs, per exemple, gràcies a aquest sensors podem aixecar el braç i, amb els ulls tancats, saber que l'hem aixecat. O podem moure el braç per a agafar un got, i mantenir-lo agafat amb la força necessària perquè no caigui sense necessitat de mirar en tot moment el que estem fent.

La informació que reben els sensors, l'envien a la medul·la i al cervell perquè la processi. Després de processar-la, s'envia als músculs perquè realitzin els ajustos necessaris, respecte la tensió, per exemple, i així aconseguir el moviment desitjat.

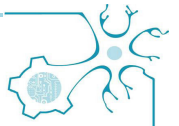
Els podem trobar en diverses localitzacions com en els músculs, en les articulacions i en els tendons. Els receptors encarregats de la propiocepció són, principalment, els dels *fusos musculars*, els *òrgans tendinosos de Golgi* i els de la *càpsula articular i lligaments*. Els receptors dels fusos musculars estan situats dintre dels músculs i mesuren la longitud i rapidesa en què s'estira el múscul. Els òrgans tendinosos de Golgi es localitzen al tendons i mesuren la tensió que efectua el múscul. Els receptors de la càpsula articular i els lligaments se situen en els lligaments, com el seu nom indica, i complementen la informació obtinguda pels altres receptors a fi d'informar sobre la posició d'un membre.



En general, el funcionament de qualsevol receptor sensorial es pot simplificar en aquest esquema:



L'estímul extern o ambiental activa el receptor sensorial. Aquest efectua la transducció, procés amb el què s'aconsegueix una senyal entenedora pel sistema nerviós. Aquest senyal entenedor es basa en impulsos nerviosos. Aquests es desplacen per les vies

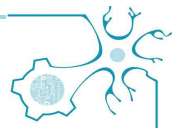


nervioses aferents⁷, passant per la medul·la, i arribant al sistema nerviós central. Allà es processa la informació obtinguda i es percep el tipus d'estímul i la intensitat.

La mà està formada per un sistema molt complex que permet rebre multitud d'estímuls del medi i ser processats al cervell. Així doncs, és una eina molt important per a conèixer el medi i l'entorn en el qual vivim. Un dels reptes més grans en el camp de la biònica⁸ és aconseguir reproduir la mà humana, no només en la seva complexitat mecànica, sinó també en la seva complexitat sensorial; arribar a connectar màquina i persona de tal manera que no només la persona enviés informació a la màquina, així com transmetre ordres d'obrir i tancar, sinó que la màquina també pogués rebre informació de l'entorn i enviar-la al cervell de l'humà per tal que la persona sentís el que la màquina rep. Però per assolir aquest gran objectiu, abans s'han de descobrir els misteris de la gran xarxa de transmissió d'informació de l'ésser humà: el sistema nerviós.

⁷ Les vies nervioses aferents són aquelles que porten informació dels receptors sensorials al sistema nerviós central

⁸ Per a ampliar informació veure, pàgina 86



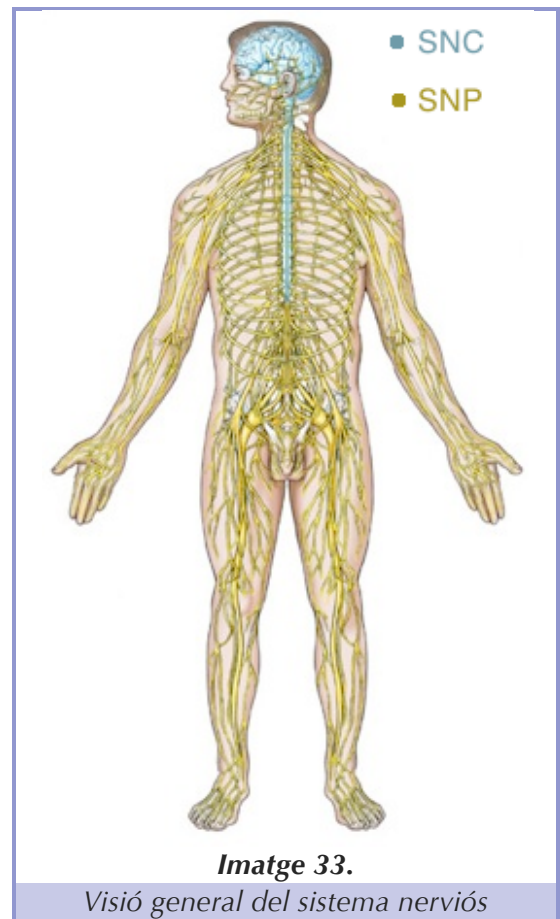
6. Transmissió d'impulsos nerviosos

6.1 Introducció al Sistema Nerviós

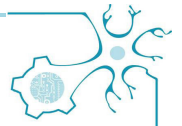
El sistema nerviós (SN) és el responsable de la majoria de les funcions que caracteritzen els organismes superiors. És una xarxa de comunicació que permet a un organisme interaccionar de la forma més apropiada amb l'ambient. Aquest sistema disposa de **components sensitius**⁹ que detecten els esdeveniments del medi, **components integradors** que processen les dades sensibles i la informació emmagatzemada a la memòria i **components motors**, que generen moviments i altres activitats.

A causa que el nostre treball tracta sobre la implantació d'una pròtesi mioelèctrica ens centrarem a desenvolupar els components motors del sistema nerviós: la connexió entre sistema nerviós i l'extrem efector, la mà en el nostre cas.

El sistema nerviós consisteix en l'agrupació d'unes cèl·lules molt complexes les quals formen una xarxa de comunicació que interactua amb la resta de l'organisme. Aquestes cèl·lules s'anomenen neurones. Aquest sistema es subdivideix en una porció central, anomenada Sistema Nerviós Central (SNC), i en una porció perifèrica, anomenada Sistema Nerviós Perifèric (SNP), que funciona com a nexse entre el SNC i la resta dels òrgans.



⁹ Veure "funcions sensorials", pàgina 40

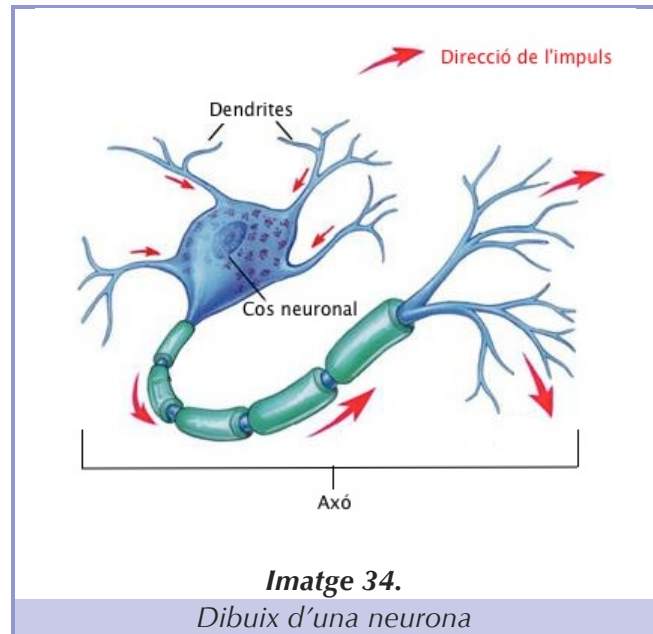


6.1.1 El teixit nerviós

Les neurones són les unitats funcionals del sistema nerviós, formen el teixit nerviós. El cervell humà conté aproximadament un bilió (10^{12}) neurones. Aquestes cèl·lules estan especialitzades a rebre informació, prendre decisions al respecte i transmetre senyals a altres neurones.

Les neurones es componen per un **cos neuronal**, format pel soma que conté el nucli i les dendrites. La segona secció de la neurona és l'**axó**.

Les **dendrites** són prolongacions que recullen informació d'altres neurones i la transmeten fins als cossos neuronals. A diferència d'aquestes, els **axons** transmeten els impulsos des dels cossos cel·lulars fins la perifèria.



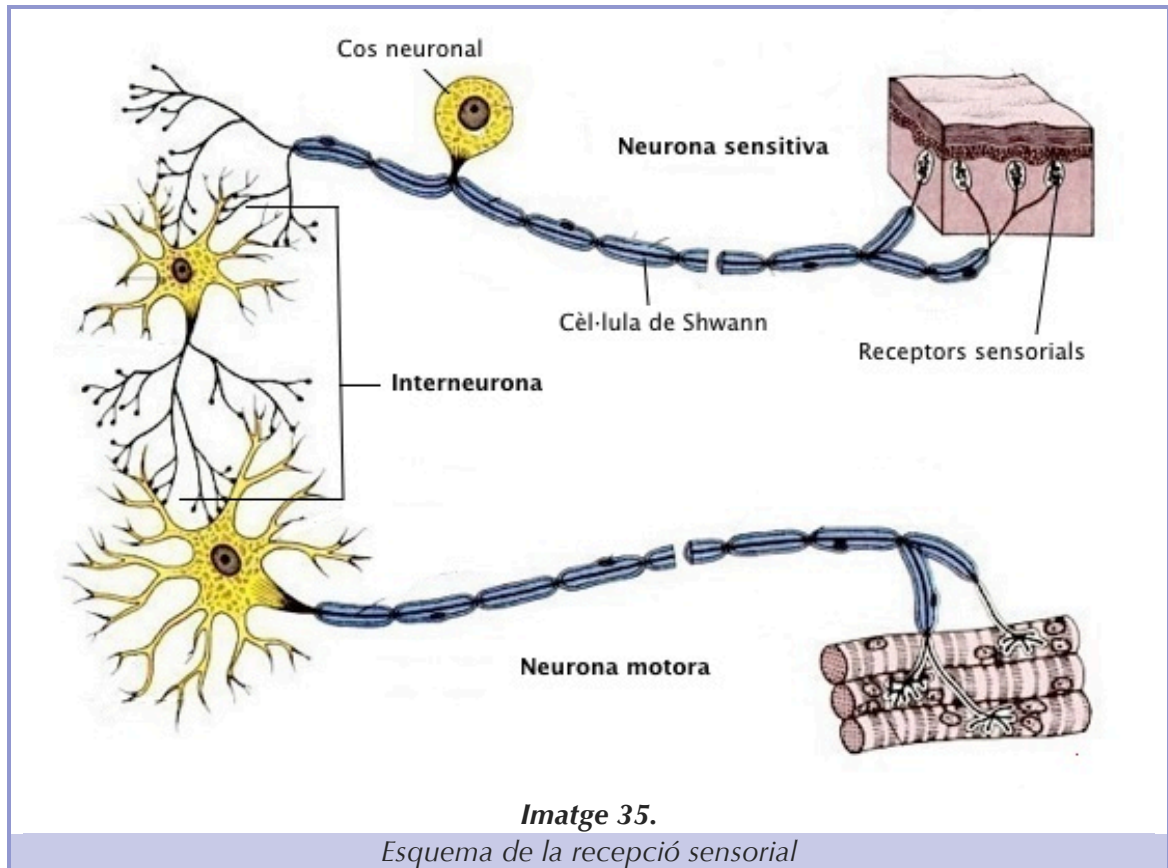
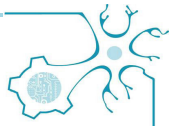
Imatge 34.
Dibuix d'una neurona

El **soma** és la regió del cos cel·lular on se situa el nucli i el citoplasma.

Les neurones poden ser de tres tipus depenent de la direcció en què transmeten els impulsos.

- **Neurones sensitives o aferents.** Transmeten impulsos fins la medul·la espinal i l'encèfal des de totes les parts del cos.
- **Neurones motores o eferents.** Transmeten impulsos en direcció oposada a les sensitives, des de l'encèfal i la medul·la espinal fins la perifèria. Els seus impulsos van fins als teixits del múscul i l'epiteli glandular¹⁰.
- **Interneurones o centrals o connectores.** Conduïxen impulsos des de les neurones sensitives fins a les motores.

¹⁰ **Epiteli glandular:** teixit que forma les glàndules secretores i té una gran capacitat de produir substàncies.



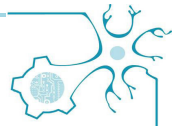
Els axons d'algunes neurones es troben envoltats per una substància anomenada **mielina**. La mielina és un material gras i blanc format per cèl·lules de Schwann. Aquesta substància impedeix que les senyals elèctriques perdin força a mesura que s'allunen del cos neuronal.

Els axons de les neurones s'agrupen en conjunts de fibres nervioses. A la vegada, les fibres nervioses formen els nervis que envien la informació de la perifèria fins a l'encèfal o al revés.

El teixit nerviós pot prendre dos colors. El teixit gris (matèria grisa) és aquell que conté els cossos cel·lulars i les dendrites. El teixit blanc (o matèria blanca) és aquell que conté els axons. Es mostra de color blanc, ja que conté molts greixos que els envolten, així com la beina de mielina.

6.1.2 Sistema Nerviós Central (SNC)

El SNC dóna origen als nervis motors que acaben als efectors i rep les fibres sensibles relacionades amb els receptors generals i especials. És l'encarregat de les funcions



superiors de l'ésser humà, tant cognitives com emocionals: de rebre la informació, processar-la i emetre ordres. Està protegit pel crani en la part superior (encèfal) i per la columna vertebral per la part inferior (medul·la espinal).

Les seves funcions principals són les de rebre impulsos aferents que provenen de les neurones sensibles i la de dirigir l'activitat de les neurones motores que innerven els músculs. El SNC conté dues parts diferenciades pel seu color.

El SNC està constituït per la medul·la espinal i l'encèfal.

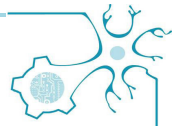
- L'encèfal es pot dividir en cinc regions en un adult:
 - Milencèfal: correspon al **bulb raquidi**.
 - Metencèfal: correspon al **cervell**.
 - Mesencèfal. Correspon a l'extensió del cervell encarregada de la vista.
 - Diencèfal: correspon al **tàlem** i a l'**hipotàlem**.
 - Telencèfal: correspon als **ganglis basals** i diversos **lòbuls** de l'escorça cerebral.

El **bulb raquidi** és la continuació de la medul·la, que es fa més gruixuda en entrar al crani. Les seves funcions principals són les de regular el funcionament del cor i dels músculs respiratoris, a més dels moviments de la masticació, la tos, l'esternut, el vòmit... Per això, la lesió del bulb raquidi, causa la mort instantània de l'individu.

El **cervell** és la part més important. Està format per la substància grisa per fora i la blanca per dins. La seva superfície no és llisa sinó que té unes arrugues anomenades circumvolucions i uns solcs anomenats cissures. Està dividit incompletament, per una esquerra, en dues parts, anomenades hemisferis cerebrals. Als hemisferis es distingeixen zones denominades lòbuls que porten el nom de l'os amb el qual es troben en contacte.

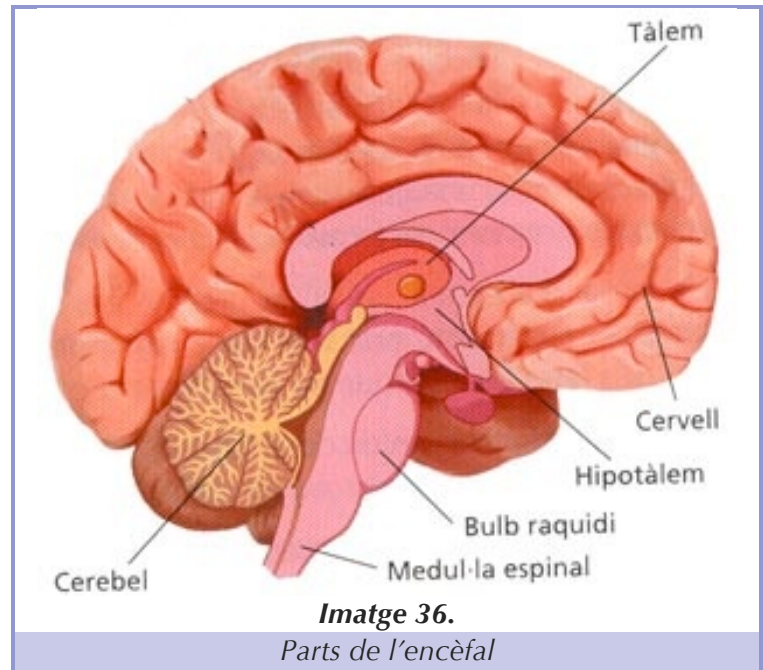
Les seves funcions són les de controlar i regular el funcionament de la resta de centres nerviosos, també rep sensacions i elabora les respostes a aquestes. És l'òrgan que duu a terme les facultats intel·lectuals així com la memòria.

El **tàlem** és una massa ovoide formada principalment per substància grisa. Està situat al centre del cervell i actua com a centre sensitiu. Al tàlem arriben les vies aferents que van fins al cervell, excepte les olfactivas que ho fan directament.



Del tàlem naixen altres vies que condueixen els impulsos fins a l'escorça cerebral i altres centres. Propaga els impulsos i en el seu nivell (nivell talàmic) es fan conscients els estímuls dolorosos.

L'**hipotàlem** comprèn diferents nuclis que es troben en connexió amb el tàlem, el tronc cerebral, la hipòfisi i l'escorça. Les seves funcions principals són: controlar la hipòfisi, activar el mecanisme de l'expressió emocional, excitar les reaccions viscerales i somàtiques de l'emoció, control i vigilància de la son, actua com a centre de regulació tèrmica del cos,

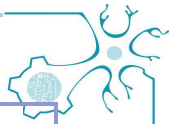


controla el metabolisme dels greixos i regula la gana i la set.

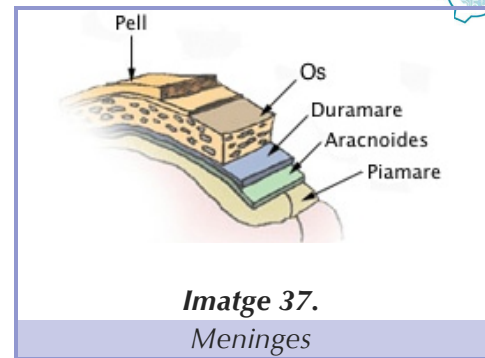
Els **ganglis basals** són masses de substància grisa formades per cossos neuronals situats en zones profundes de la substància blanca del cervell. Els ganglis i el cerebel influeixen en el moviment mitjançant la regulació de l'activitat de les neurones motores superiors. La seva funció principal és la de regular els moviments principals i l'aprenentatge de les habilitats motores.

- La medul·la espinal consta de dues parts: el conducte central i la substància nerviosa que el recobreix. La regió central és un ventricle medul·lar que té el seu naixement a l'encèfal, arribant amb la seva extremitat inferior fins a la regió coccigeal (terminació de la columna vertebral). Els fascicles de les vies medul·lars tenen directa relació amb les sensibilitats doloroses, tàctils...

La medul·la espinal és una via de doble direcció; de la perifèria als centres vertebrals, realitza funcions sensibles i dels centres cerebrals a la perifèria realitza funcions motores.



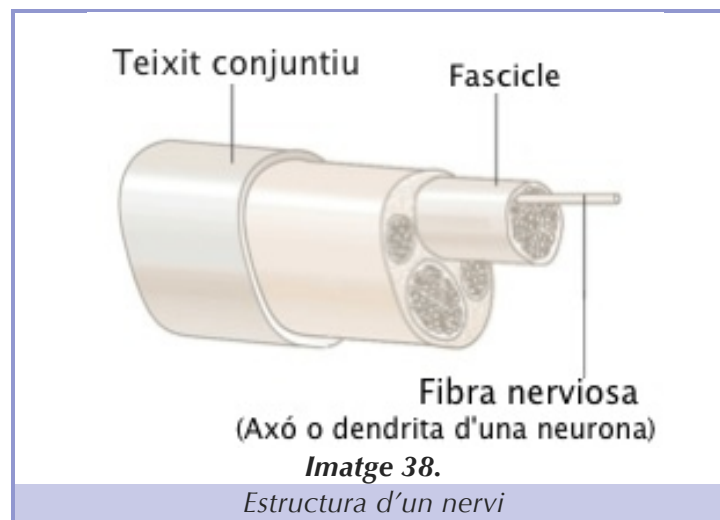
L'encèfal i la medul·la espinal estan envoltats per tres capes: les meninges. S'anomenen duramare (capa externa), aracnoides (capa mitja) i piamare (capa interna).



6.1.3 Sistema Nerviós Perifèric (SNP)

El Sistema Nerviós Perifèric (SNP) està format pels nervis i els ganglis nerviosos.

Els nervis són agrupacions de fibres nervioses envoltades per teixit conjuntiu.

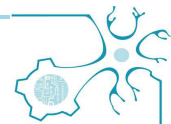


Els ganglis nerviosos són agrupacions de cossos cel·lulars de neurones situats fora del SNC.

Podem distingir el tipus de nervis segons dos criteris; segons el sentit en que porten els impulsos i segons el lloc on s'originen.

Segons el sentit dels impulsos que porten distingim:

- Nervis sensitius o aferents: envien la informació rebuda pels receptors sensorials fins al SNC.
- Nervis motors o eferents: envien informació des del SNC fins als músculs efectors.
- Nervis mixtes: aquest tipus de nervis té fibres tan aferents com eferents i per tant pot enviar informació en ambdós sentits.



Segons el lloc on s'originen distingim:

- Nervis cranials: s'originen en diferents parts de l'encèfal. Dins d'aquest grup de nervis n'hi ha de sensitius, de motors i de mixtes.
- Nervis raquidis: s'originen a la medul·la espinal. Aquests nervis són exclusivament mixtes i les seves fibres aferents (sensitives) penetren a la medul·la, mentre que els eferents (motors) surten de la medul·la.

El SNP està format a la vegada per dues unitats; el Sistema Nerviós Somàtic (SNS) i el Sistema Nerviós Autònom (SNA).

El SNS està format per les fibres nervioses que innerven el teixit muscular esquelètic, és a dir els músculs que movem voluntàriament. El SNS no pot inhibir el seu efector, simplement pot estimular-lo per a provocar la seva contracció o no estimular-lo i mantenir-lo relaxat.

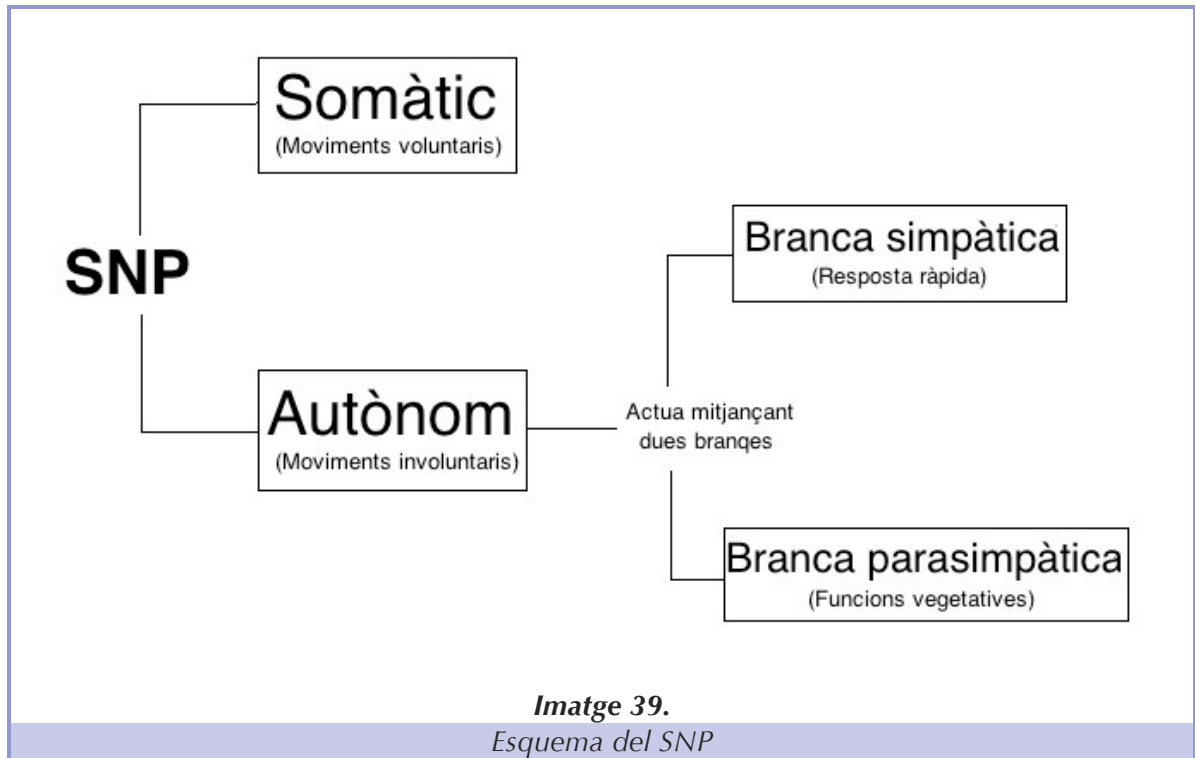
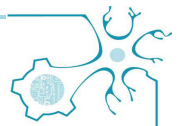
El SNA està constituït per fibres nervioses que controlen el múscul cardíac, les glàndules i el teixit muscular llis, és a dir, els òrgans que realitzen accions involuntàries. En les accions desenvolupades pel SNA, l'individu no és conscient que l'acció reflexa ha tingut lloc. El SNA pot estimular o inhibir l'activitat dels seus efectors.

Cada òrgan intern del cos rep innervació de les branques simpàtica i parasimpàtica del SNA, les quals, normalment, duen a terme accions antagòniques, el que assegura una precisa regulació de la seva activitat.

- La branca simpàtica prepara el cos per l'acció i promou respostes de "lluita o fugida¹¹" i inhibeix les funcions vegetatives.
- La branca parasimpàtica està relacionada amb el repòs i la digestió. Promou funcions vegetatives i reparadores.

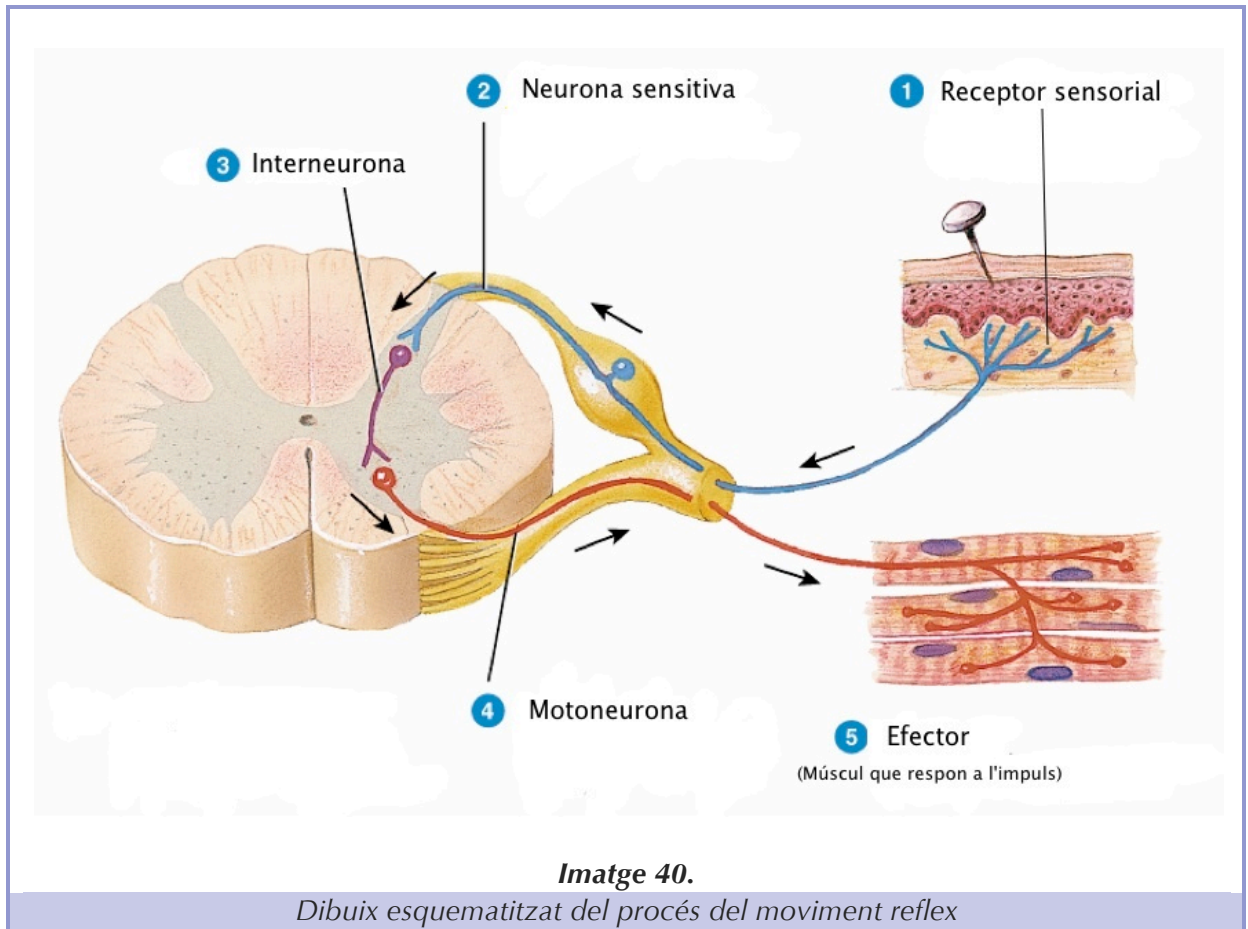
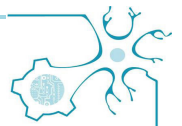
Per tant, l'estructura del sistema nerviós perifèric segueix aquest esquema:

¹¹ Les **respostes de "lluita i fugida"** alerten a l'organisme de la possible existència de perill mitjançant, per exemple, l'increment de la velocitat i la profunditat de la respiració o bé, l'increment de la suor.



Els actes reflexes són respostes involuntàries que produeixen estímuls determinats. Constitueixen el mecanisme bàsic del Sistema Nerviós. El conjunt d'estructures que intervenen en un reflex i la seva disposició és el que coneixem com a arc reflex. L'arc reflex consta de:

- ❶ Un receptor que respon a un estímulo produint un impuls nerviós.
- ❷ Una neurona aferent o sensitiva que condueix l'impuls al SNC
- ❸ Una interneurona (que pot no intervenir-ne cap o bé més d'una) situada en el SNC i és la responsable de la selecció dels estímuls i de transmetre l'impuls de la neurona sensitiva a la motora.
- ❹ Una neurona eferent o motora que porta l'impuls des del SNC fins a l'efector.
- ❺ Un efector que executa l'ordre determinada pel SNC.



6.2 Mecanismes de conducció de la informació

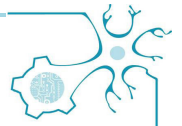
El sistema nerviós es basa en la transmissió d'informació. La conducció de la informació es produeix mitjançant descàrregues elèctriques que fan variar el potencial de membrana¹², aquestes descàrregues s'anomenen impulsos nerviosos. Quan l'impuls s'ha de transmetre d'una neurona a una altra té lloc la sinapsis¹³.

6.2.1 Els impulsos nerviosos

El mètode pel qual les neurones són capaces de transmetre la informació llargues distàncies és l'impuls nerviós. L'impuls nerviós és una onada d'alteracions elèctriques que

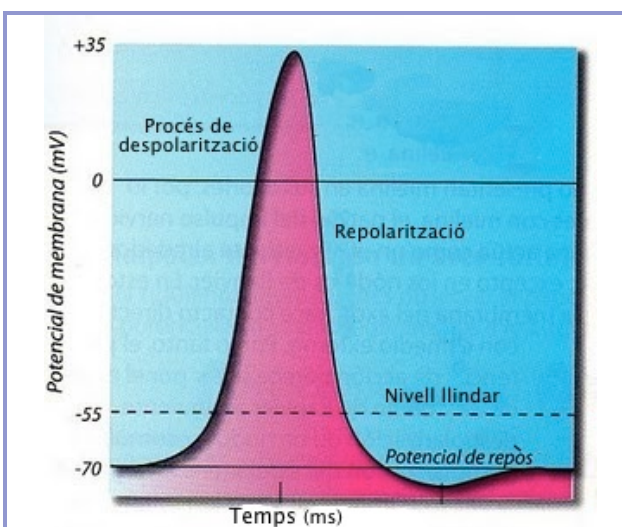
¹² **Potencial de membrana:** Diferència de potencial o tensió elèctrica en la membrana plasmàtica causada per la diferència de càrregues elèctriques (ions) dintre i fora de la cèl·lula.

¹³ Explicada a la pàgina 59



viatja al llarg de la membrana plasmàtica de la neurona. Es podria exemplificar com una espurna molt petita i lleu que viatja a través d'un cable elèctric. Per tant, la conducció d'informació del sistema nerviós es produeix mitjançant descàrregues elèctriques.

Aquests impulsos han de ser iniciats en algun lloc i d'alguna manera. Són iniciats per mitjà d'un estímul. Aquest estímul pot ser la variació de pressió, un canvi de temperatura o un canvi químic en el medi ambient, per exemple. Per a generar un impuls nerviós o potencial d'acció, l'estímul ha de superar una potència mínima o llindar. Un estímul menor que l'estímul llindar no desencadenarà cap potencial d'acció.



Imatge 41.

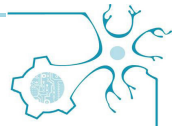
Gràfic del procés de despolarització que desencadena l'impuls. Si l'estímul no supera el nivell llindar no es produeix.

Quan l'estímul supera el llindar, independentment de la potència d'aquest, el potencial d'acció o impuls nerviós tindrà la mateixa magnitud i duració. Això es coneix com la "Llei de tot o res".

Quan el potencial d'acció ja s'ha desencadenat, si es genera un altre estímul que supera el llindar, no es produirà un altre impuls elèctric fins que l'anterior no hagi transcorregut. Aquest període en què és impossible generar un altre potencial d'acció s'anomena **període refractari**

absolut. A continuació d'aquest període, es produeix el **període refractari relatiu** en què el llindar per a desencadenar un impuls nerviós és major, però és possible generar-lo.

Com es produeix aquest potencial d'acció? En un estat de repòs, l'interior de la neurona té una càrrega lleugerament negativa (concretament de -70 mV) i l'exterior, és a dir, el medi que l'envolta, és lleugerament positiu (aproximadament de +50mV). Això es deu pel fet que a l'exterior es localitzen, en excés, cations de sodi (Na^+) i a l'interior es localitzen en menor quantitat cations de potassi (K^+) i proteïnes amb càrrega negativa. Aquesta diferència de càrregues determina que la neurona es troba **polaritzada**, aquest estat s'anomena **potencial de repòs**. Quan la membrana plasmàtica d'una neurona és

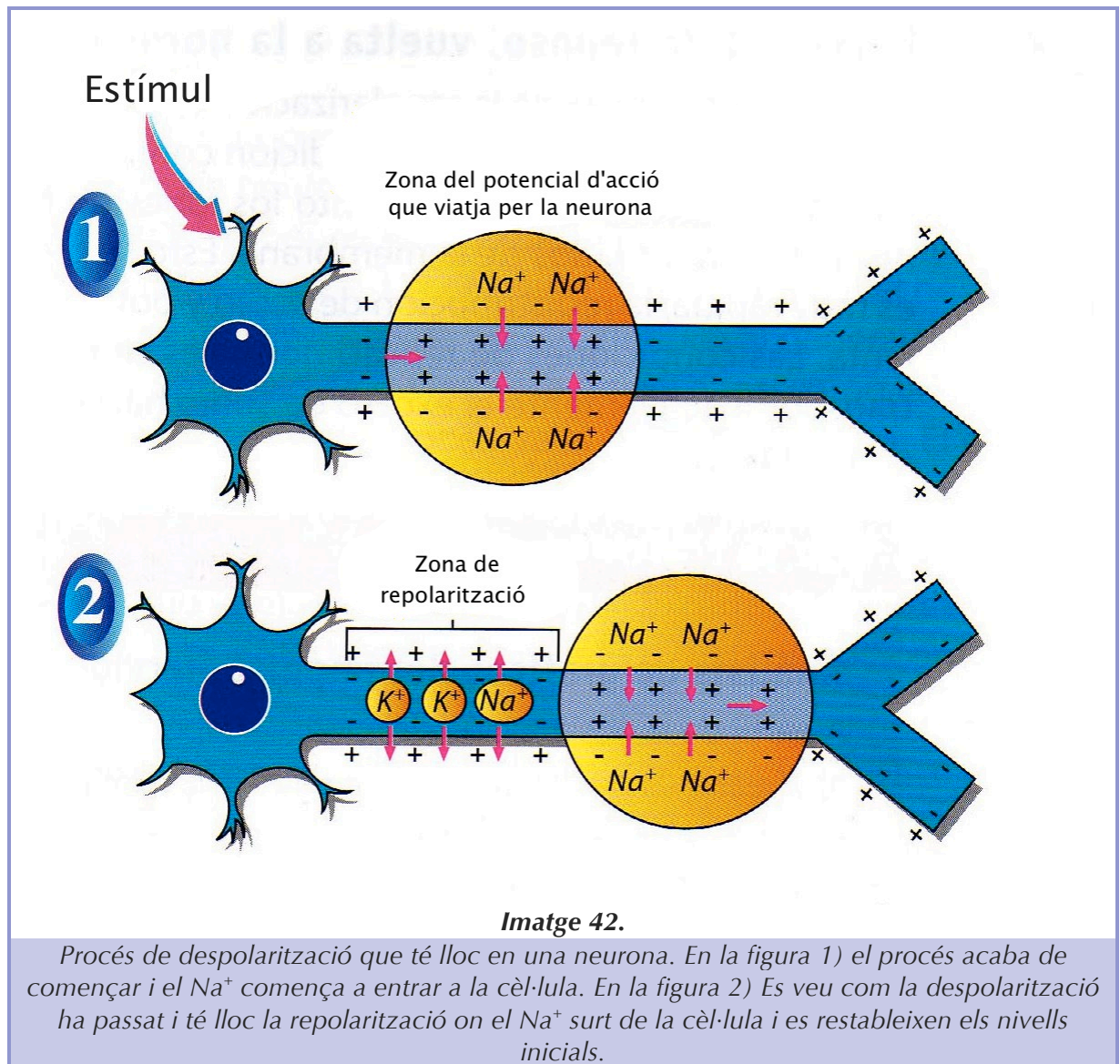
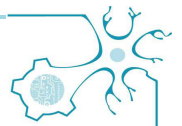


estimulada per una part, els canals que permeten l'entrada de Na^+ a l'interior de la cèl·lula s'obren, aquests entren transformant l'interior de la cèl·lula en positiu, i deixant l'exterior de la cèl·lula negatiu.

Quan el potencial de membrana es troba invertit, es diu que la neurona s'ha **despolaritzat**. Aquesta despolarització genera una descàrrega elèctrica que es propaga a través de la neurona. Quan els canals d'intercanvi de ions s'obren en una regió, provoquen un efecte en cadena dels següents canals. Aquests es van obrint consecutivament i van generant l'impuls elèctric que es va propagant automàticament.

La membrana cel·lular, en general, no deixa passar els ions com el sodi o el potassi. A fi que puguin traspasar-la existeixen uns canals, que són proteïnes inserides a la membrana. En les neurones, que són cèl·lules excitable (com les cèl·lules musculars), apareixen un tipus de canals especials que depenen del voltatge. Aquests canals s'obren quan l'interior de la membrana està positivament carregada. La majoria dels canals dependents de voltatge estan oberts durant un temps molt curt, ja que de seguida són aturats per l'augment de càrregues contràries.

L'activació de canals iònics es produeix bàsicament amb els canals de sodi i potassi (bomba de sodi-potassi). El procés comença amb la despolarització, on els canals de sodi s'obren i la membrana es fa molt permeable al Na^+ . En aquest moment, l'interior de la membrana de la cèl·lula és positiu i el medi negatiu. Els canals de K^+ , que depenen del voltatge, són més lents en obrir-se i quan aquests s'obren, els ions K^+ comencen a sortir de la cèl·lula i inhabilita els canals de sodi. Conseqüentment, el medi es torna positiu de nou i l'interior de la cèl·lula es torna negatiu. El potencial de la membrana torna a l'inicial.

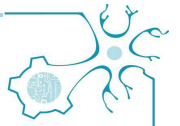


Durant tot el procés explicat, la neurona passa per tres fases:

1. Despolarització
2. Repolarització
3. Potencial de repòs

En la despolarització, els canals de sodi s'obren i l'interior de la cèl·lula es torna positiu i l'exterior negatiu.

En la repolarització, els canals de potassi s'obren i els de sodi es tanquen. La cèl·lula es torna negativa a l'interior i positiva a l'exterior.



Finalment, la neurona torna al seu estat inicial, és a dir, en el potencial de repòs.

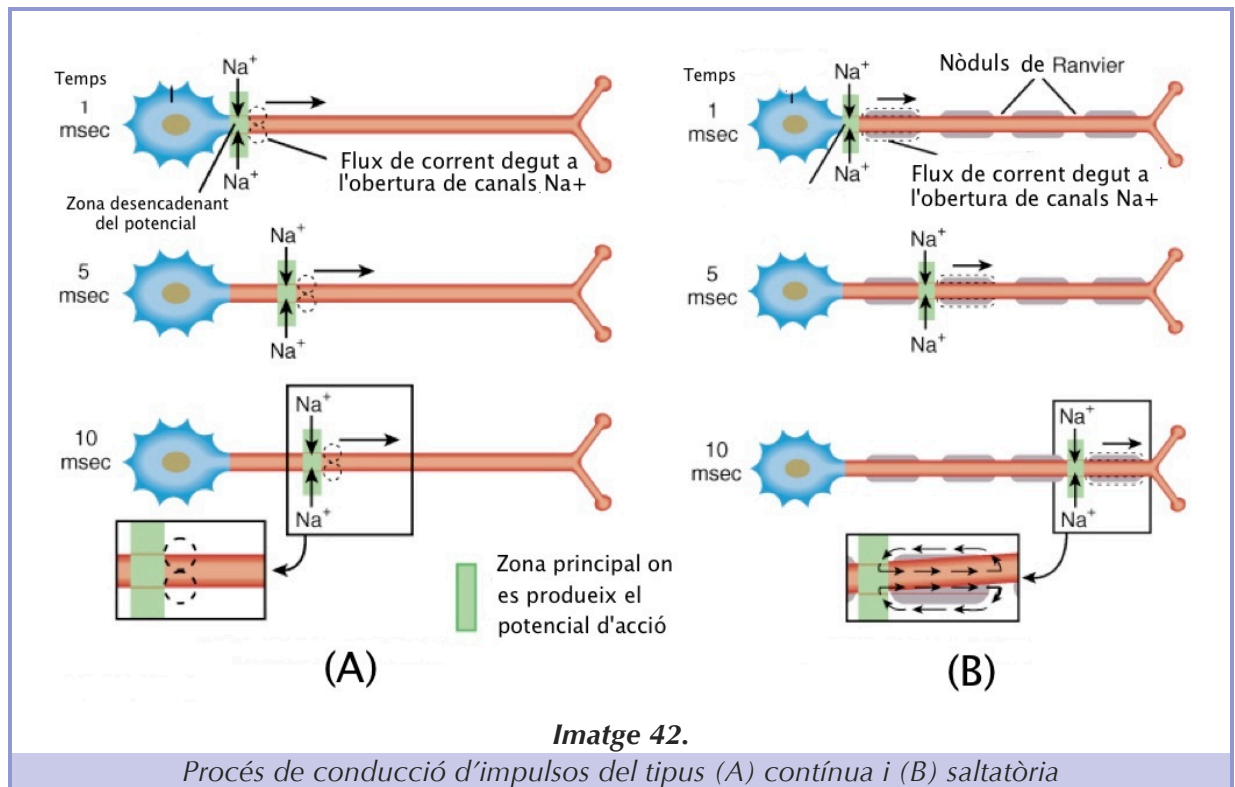
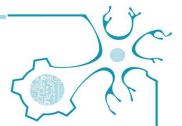
La importància del fenomen dels impulsos nerviosos és que constitueixen una forma de transmetre la informació molt ràpida i dirigida, ja que un cop generat un impuls en un punt de la membrana de la neurona, aquest es va reproduint i viatjant per la membrana de les prolongacions axonals. Cal tenir en compte que els axons de les neurones perifèriques, com les motores i les sensorials, tenen axons de longitud molt llarga (considerem molt llarga a distàncies de bastants centímetres en aquest àmbit) des de la medul·la espinal fins als músculs o la pell de les extremitats, per tant, aquest mètode de transmissió és molt útil.

La conducció dels impulsos elèctrics es pot distingir en dos tipus:

- Conducció contínua.
- Conducció saltatòria.

La **conducció contínua** es dona en neurones sense beina de mielina. Es produeix una despolarització contínua de cada zona adjacent de la membrana. S'anomena una ona de despolarització.

La **conducció saltatòria** es dona en neurones amb beina de mielina. Aquestes neurones presenten unes cèl·lules que envolten l'axó. Entre cèl·lula i cèl·lula es localitza un espai de membrana d'axó que s'anomena *nòdul de Ranvier*. L'impuls en aquest tipus de cèl·lules "salta", perquè la despolarització es produeix de nòdul en nòdul, ja que és en aquestes parts on l'axó té contacte directament amb el medi extern. La conducció és molt més ràpida.



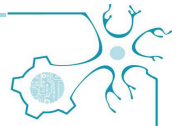
Quan el potencial d'acció arriba a l'extrem de la fibra, ha de passar a la següent neurona. Com que les neurones entre elles no es toquen, cal un mètode que transmeti l'impuls d'una a una altra. Aquesta transmissió es produeix a partir de senyals químiques i el procés pel qual es produeix és la sinapsis.

6.2.2 La transmissió sinàptica

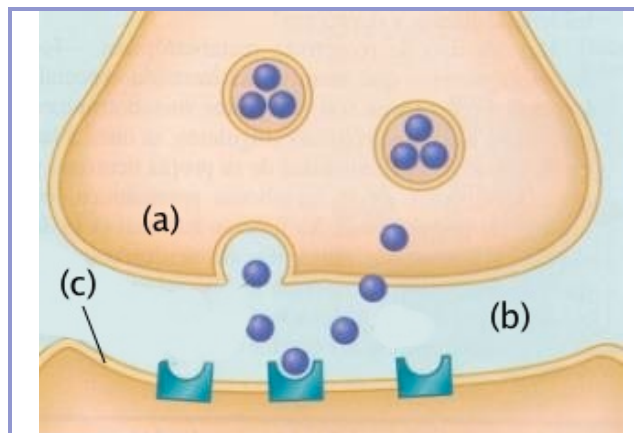
La transmissió sinàptica (també anomenada sinapsis) és el procés pel qual una neurona transmet l'impuls nerviós (la informació) a una altra. Aquest procés es basa en l'alliberació d'unes substàncies químiques anomenades neurotransmissors (tot i que no sempre ha de ser així). Aquests neurotransmissors s'uneixen a la membrana de la següent neurona i fan que es produeixi un potencial d'acció que viatja per a aquesta neurona fins a transmetre's a una altra.

Els impulsos sempre viatgen d'una neurona anomenada *presinàptica*, fins a la següent, anomenada *postsinàptica*.

La sinapsis, pròpiament dita, és l'espai on es transmet l'impuls. Consta de tres estructures:



- El **botó terminal o sinàptic**. És l'extrem arrodonit de l'axó de la neurona presinàptica.
- L'**escletxa sinàptica**. És l'espai entre el botó terminal i la membrana plasmàtica de la neurona postsinàptica. Es tracta d'un espai molt estret.
- La **membrana plasmàtica** de la neurona postsinàptica. Aquesta membrana conté molècules de caràcter proteic que actuen com a receptors de les substàncies que són alliberades pel botó terminal, majoritàriament són neurotransmissors.



Imatge 43.

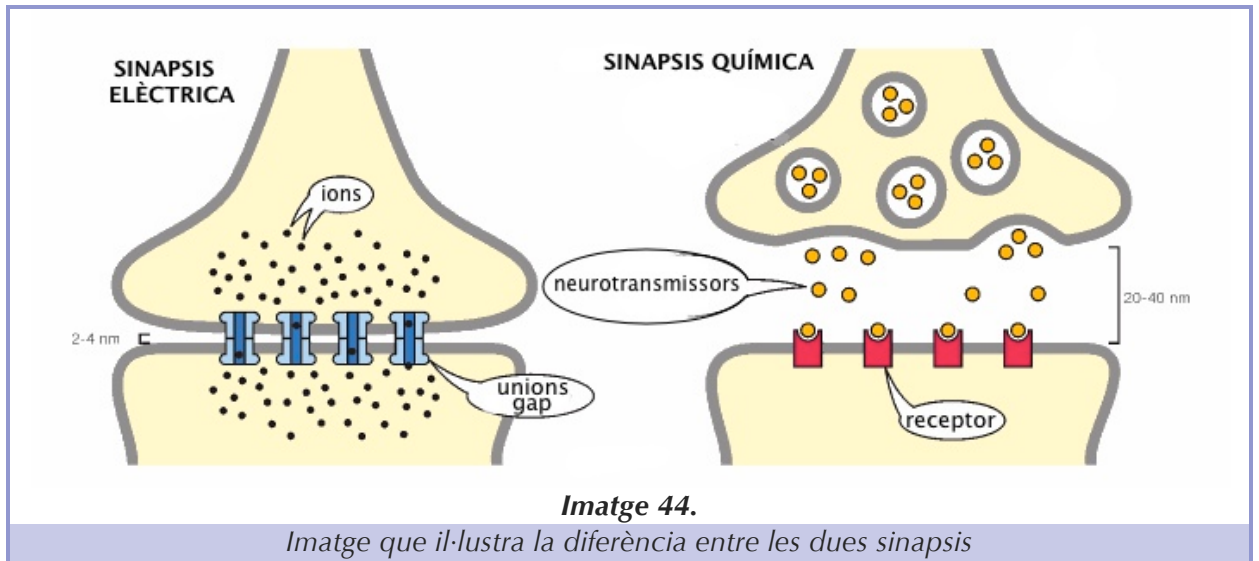
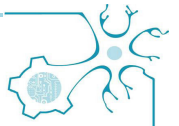
Espai on té lloc la sinapsi. (a) Botó terminal, (b) escletxa sinàptica, (c) membrana plasmàtica de la neurona postsinàptica.

Existeixen dos tipus de sinapsis: la sinapsi elèctrica i la sinapsi química.

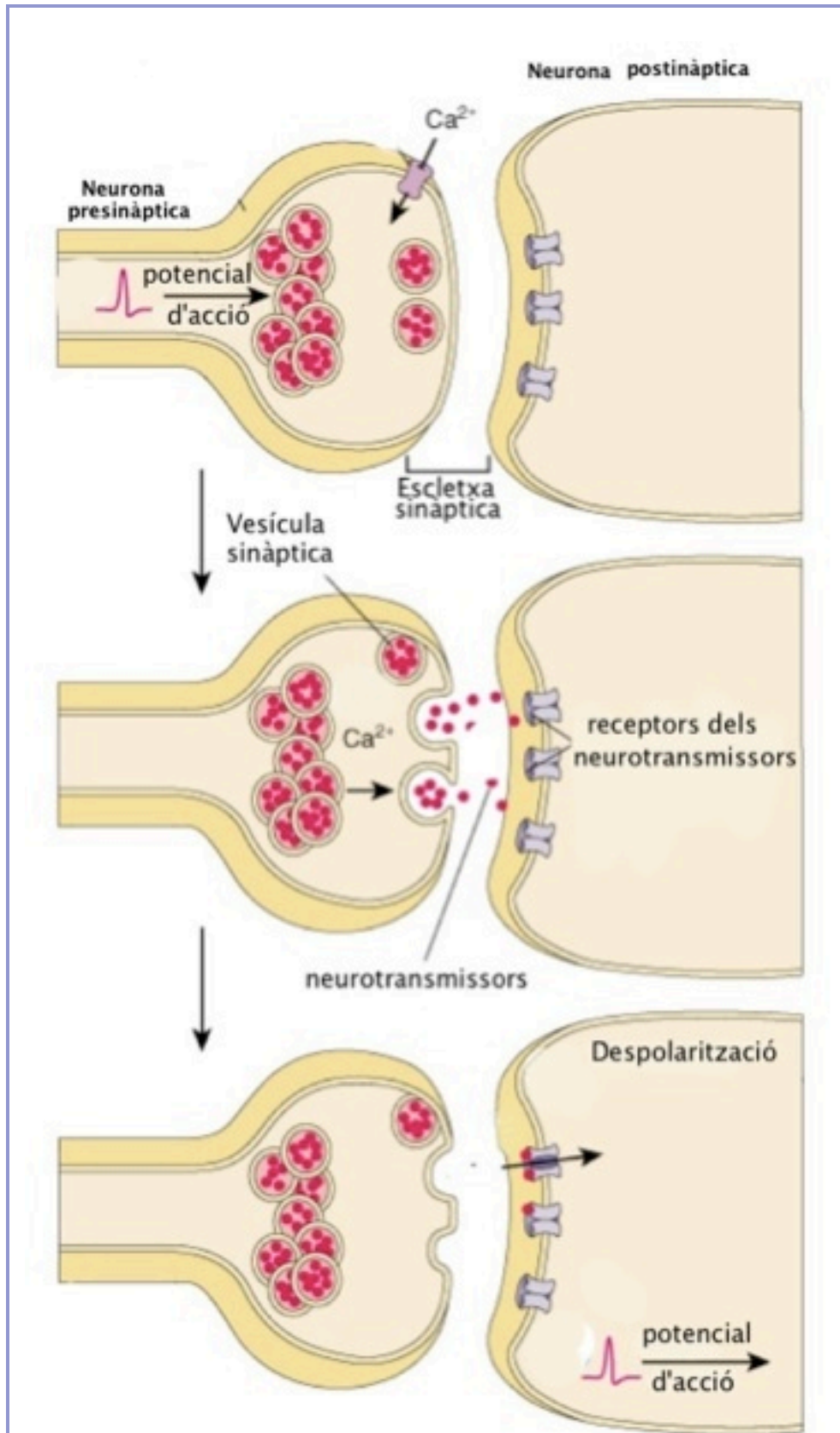
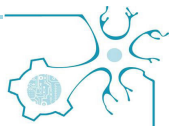
En la **sinapsi elèctrica**, la neurona presinàptica envia directament els ions, per tant podem dir que transmet l'impuls elèctric directament. L'espai sinàptic entre neurones és molt estret i les dues cèl·lules es troben unides per unions de tipus gap¹⁴.

En la **sinapsi química**, el que es transmet són neurotransmissors. Aquest neurotransmissors són rebuts per la neurona postsinàptica i es transforma en senyal elèctric de nou. Aquesta segona sinapsi és més lenta, ja que el senyal ha de passar d'elèctric a químic i un altre cop a elèctric, però fa augmentar la intensitat del senyal. Detallarem més la sinapsi química ja que és la més usual.

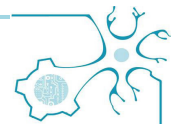
¹⁴ Unions gap: unions entre cèl·lules que deixen un petit espai intercel·lular. Estan constituïdes per dos tubs proteics que travessen cada una de les membranes plasmàtiques de cada cèl·lula i s'uneixen entre sí.



La sinapsi química funciona d'aquesta manera: el botó terminal conté moltes vesícules on s'acumulen els neurotransmissors. Quan el potencial d'acció arriba al botó terminal, s'activen els canals de Ca^{+2} . L'obertura d'aquests canals produeix l'entrada de cations de calci. L'increment d'aquesta concentració produeix la unió de la membrana de les vesícules amb la membrana plasmàtica de la neurona presinàptica. D'aquesta manera s'alliberen els neurotransmissors. Aquests neurotransmissors viatgen per l'espai sinàptic i s'uneixen als receptors que conté la membrana plasmàtica de la neurona postsinàptica. Aquests receptors són específics per a cada tipus de neurotransmissor. La unió de les substàncies químiques causa una despolarització de la membrana de la cèl·lula postsinàptica que produeix un potencial d'acció que es condueix a través de la neurona postsinàptica fins a arribar a una altra neurona. Llavors, aquesta es convertirà en presinàptica i la següent en postsinàptica i el procés es repetirà. Un cop iniciat l'impuls nerviós després que es produeixi la recepció de neurotransmissors, aquests ja no tenen cap funció a la cèl·lula i són metabolitzats.



Imatge 45.
Sinapsis química



Segons l'efecte que es produeixi en la neurona postsinàptica, podem distingir altres dues sinapsis: La sinapsis excitatòria i la sinapsis inhibidòria. La **sinapsis excitatòria** produeix un augment de càrregues positives a l'interior de la cèl·lula i, per tant, una despolarització. Aquesta sinapsis fa augmentar l'excitabilitat de la cèl·lula. La **sinapsis inhibidòria** produeix un augment de càrregues negatives a l'interior de la neurona. Això és anomenat *hiperpolarització*. Aquesta fa disminuir la seva activitat.

6.3 Connexió entre la mà i el SNC

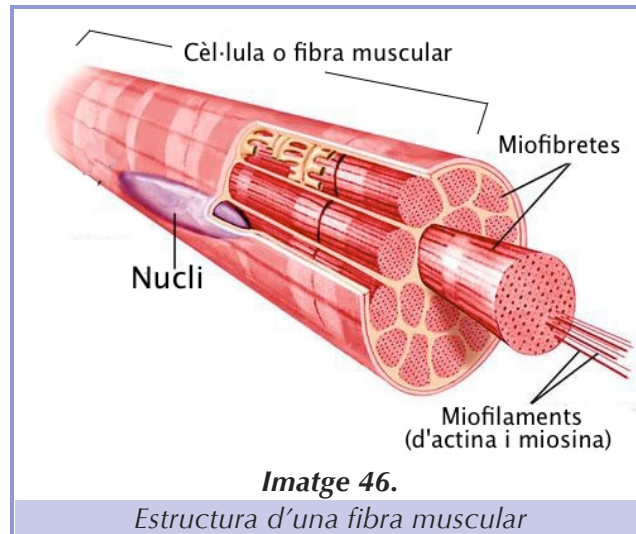
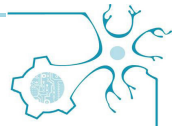
Per a estudiar el mecanisme de contracció muscular que controla la mà, el primer que ens plantegem és qui dóna l'ordre perquè es realitzi i com aquesta ordre arriba fins al múscul. La resposta a la primera pregunta és el sistema nerviós, capaç de decidir quan s'ha de realitzar una contracció muscular, com hem explicat en l'apartat anterior (5.1). Però la resposta a la segona pregunta ens la dóna el sistema neuromuscular.

6.3.1 Sistema neuromuscular

El sistema neuromuscular és el nexa entre el Sistema Nerviós i el Sistema Locomotor. Aquest sistema inclou les vies nervioses que controlen la seqüència i les pautes de contracció de la musculatura esquelètica.

Abans de seguir, hem de fer un incís en el sistema muscular per tal de conèixer de què es componen els músculs i quins tipus hi ha. Bàsicament ens centrarem en el múscul esquelètic que és aquell que cobreix l'esquelet i permet els moviments voluntaris, tanmateix, també existeixen dos altres tipus de músculs. Un d'ells és el cardíac que compon el teixit del cor i l'altre és el llis, que permet els moviments involuntaris.

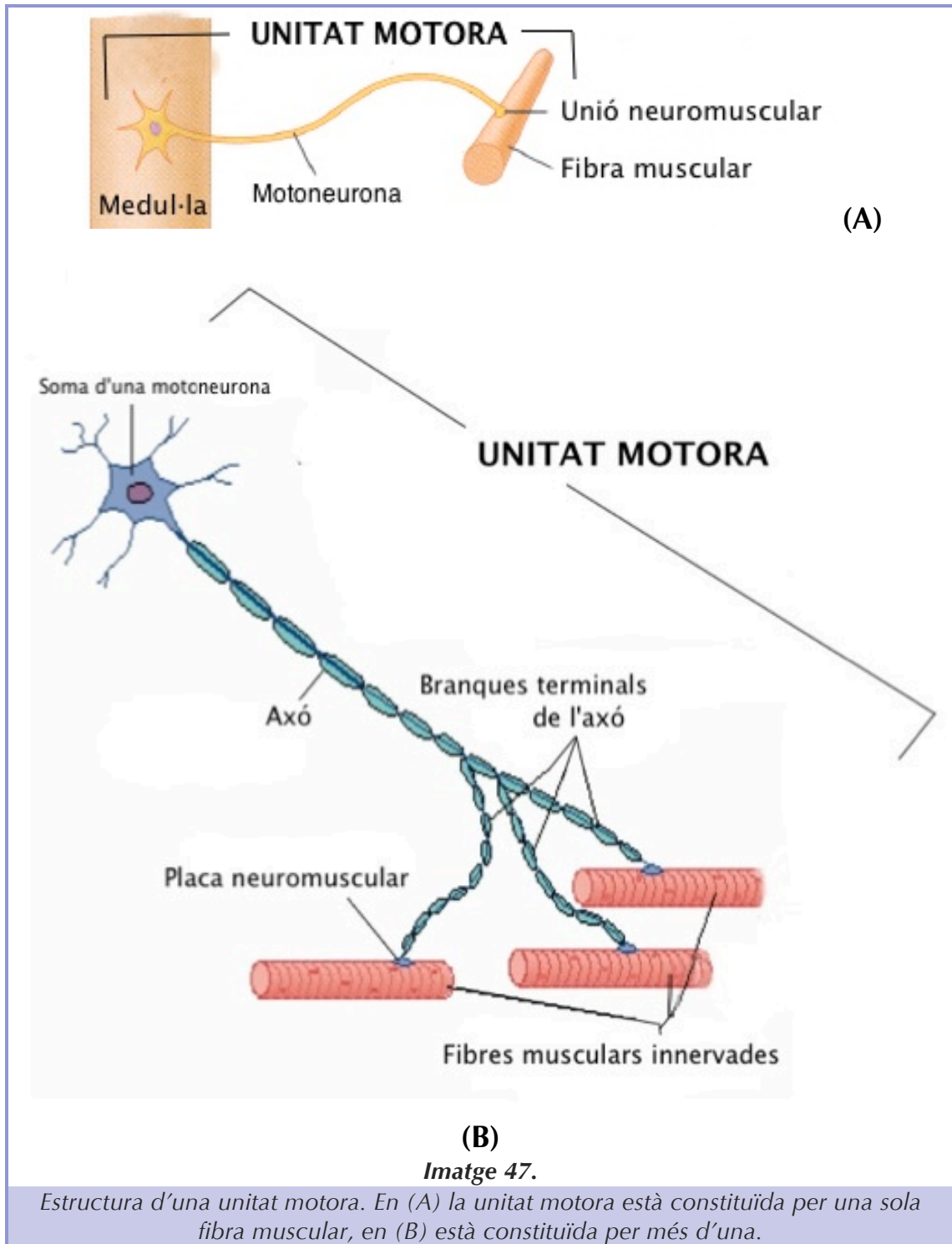
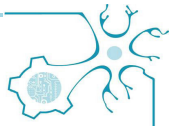
La musculatura esquelètica està formada per fibres musculars. Cada una d'aquestes és una cèl·lula polinucleada que té doble funció: contracció i relaxació. Aquestes dues funcions es produeixen gràcies a les miofibretes que són el conjunt de miofilaments gruixuts i prims que componen el citoesquelet d'aquest tipus de cèl·lules. Hi ha dos tipus de miofilaments; els de miosina i els d'actina. Aquests es troben intercalats a cada miofibreta; es desplacen uns sobre els altres produint la contracció muscular i es mantenen estirats quan el múscul està relaxat.



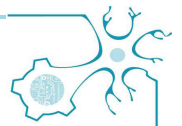
En els músculs esquelètics trobem dues classes de fibres. Les fibres vermelles contenen poques miofibrilles que s'agrupen en determinades zones. La contracció d'aquest tipus de fibres és més lenta ja que la relació de miofibrilles (massa dinàmica) és baixa en comparació amb la massa que és estàtica. Per contra, els músculs on predomina aquest tipus de fibres no es fatiguen fàcilment i ofereixen més resistència. Les fibres blanques contenen gran quantitat de miofibrilles. En aquest cas els elements contràctils superen als estàtics i permeten una ràpida contracció però una fatiga més immediata. Un múscul esquelètic ha de contenir els dos tipus de fibres però depèn de la funció d'aquest predominarà un tipus o un altre.

El control motor depèn de les senyals sensibles dels receptors propioceptius ja que aquests ens aporten informació de la posició del múscul a l'espai (postura). Per a controlar els músculs el primer pas és conèixer la seva localització inicial.

Aquest sistema es basa en unitats motores (UM). Cada UM consta d'una motoneurona, el seu axó motor i totes les fibres musculars esquelètiques que innerva. Una motoneurona pot innervar un petit nombre de fibres musculars o a milers d'elles. En músculs que exerceixen poca força i requereixen moviments molt precisos com els de la cara o els dels dits, el nombre de fibres que innerva és molt petit, fins i tot d'una sola fibra; en altres músculs més grans i que exerceixen menys força i menys precisió, el nombre de fibres augmenta podent arribar fins a les 1500.



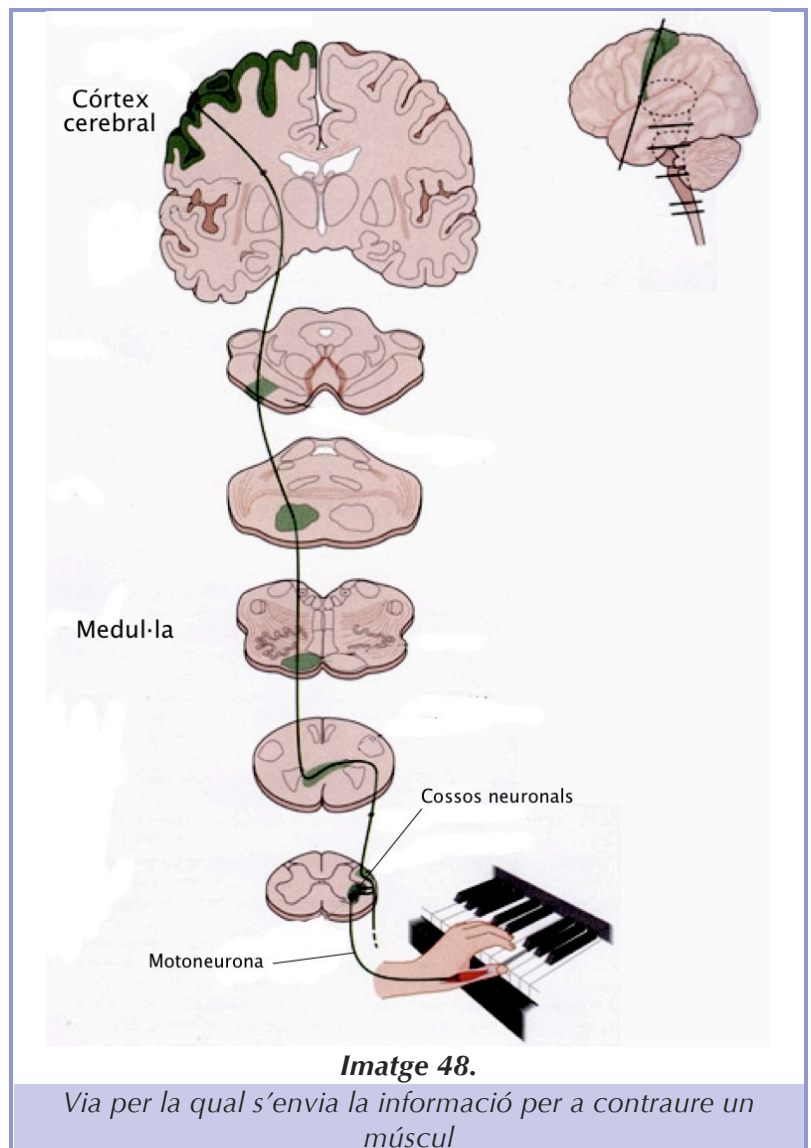
Les encarregades de transmetre els impulsos nerviosos i portar-los fins al múscul són les motoneurons, controlades, a la vegada, per centres nerviosos superiors que regulen la resposta motriu, és a dir pel SNC. Els axons de les motoneurons parteixen des de la medul·la espinal arribant fins a les fibres musculars. Cada axó, abans de connectar amb aquestes fibres es ramifica en molts terminals cada un dels quals connecta amb una



fibra a través d'una estructura anomenada placa motora. La placa motora també és coneguda com a unió neuromuscular i consisteix en una sinapsi entre els axons de les motoneurons i les fibres musculars esquelètiques.

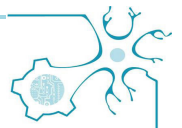
Les fibres musculars d'una UM estan àmpliament repartides per tot el múscul, per tant l'estimulació d'una única UM origina una dèbil contracció de tot el múscul.

A grans trets, l'esquema bàsic que segueix el procés de contracció és el que es mostra en la imatge 48. En aquesta figura s'il·lustra esquemàticament els elements fonamentals del control motor: els senyals parteixen de les neurones de l'escorça cerebral motora, baixen pels seus axons que s'agrupen formant els fascicles cortico-espinals, fins a la medul·la espinal. En aquest punt, als diferents segments, mitjançant la transmissió sinàptica, es transmet l'impuls sobre les motoneurons espinals, que s'exciten i envien impulsos pels seus axons, que al llarg dels nervis perifèrics viatgen fins als corresponents músculs, provocant la contracció d'aquests.

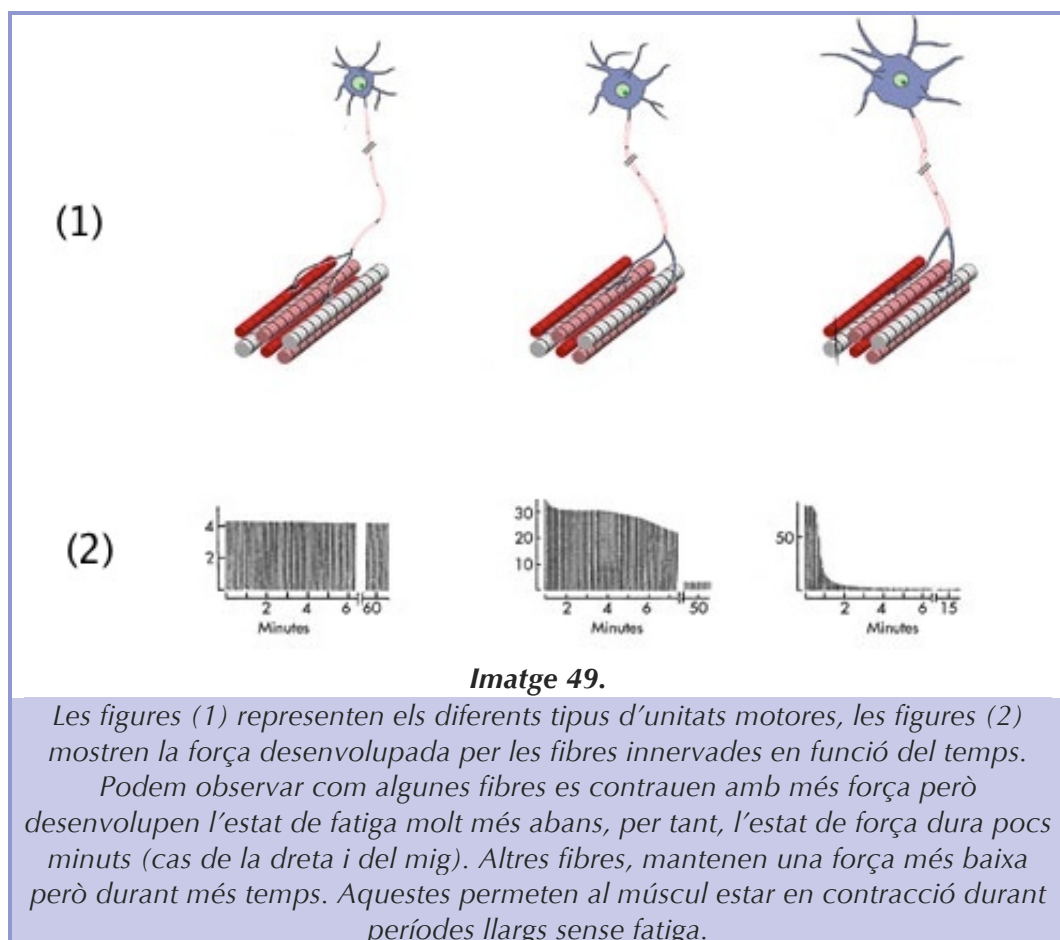


La contracció segueix la "llei del tot o res"¹⁵, quan la neurona motora envia l'impuls nerviós, totes les fibres musculars que són innervades per

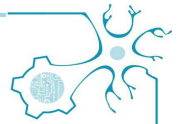
¹⁵ Veure apartat 5.2.1, pàgina 51



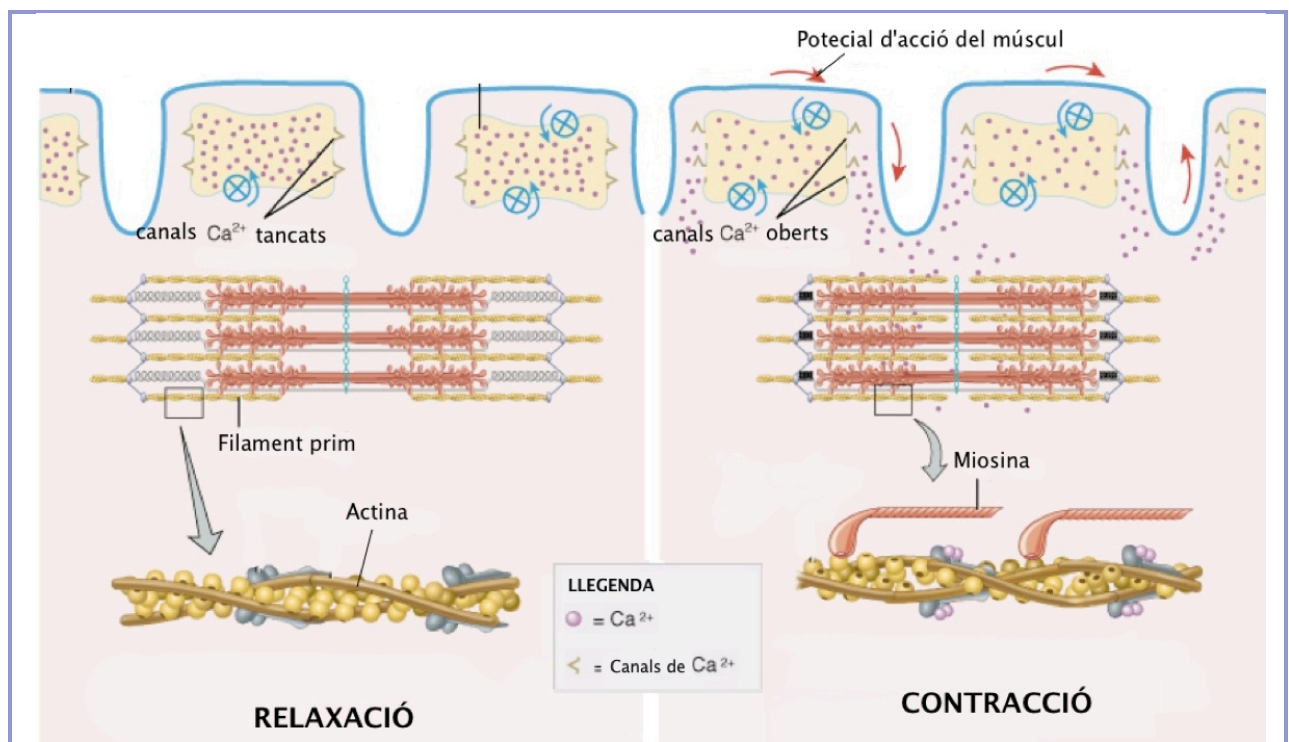
aquella neurona es contrauen; les altres que no estan innervades per aquella neurona, resten en repòs. Però aquesta contracció es produeix únicament si la intensitat de l'impuls (estímul en aquest cas) és superior a un llindar d'excitabilitat de les fibres, aleshores la contracció es produeix amb la màxima intensitat, és a dir, no hi ha graus de tensió. Tanmateix, la tensió del múscul, és a dir, la força, sí que es pot controlar. Això és gràcies al nombre d'unitats motores activades. Si s'activen més fibres, el múscul podrà exercir més força. Un altre factor que intervé és el tipus de fibra que s'activi. Si s'activen fibres amb més resistència, la fatiga serà menor que si s'actives fibres amb menor resistència.



A prop de la unió neuromuscular, el nervi perd la seva beina de mielina i es ramifica en fines branques terminals on a l'extrem se situa el botó sinàptic o terminal. Aquest se situa sobre la superfície de la membrana muscular, concretament en les fosses sinàptiques. En aquesta sinapsis, el neurotransmissor és una molècula anomenada Acetilcolina (ACh), que és alliberada pel botó terminal mitjançant exocitosis i rebuda per uns receptors, anomenats nicotínics, que hi ha a la membrana plasmàtica muscular,



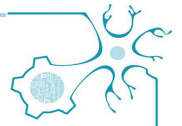
anomenada sarcolema. Aquesta unió provoca la despolarització de la membrana que es transmet fins el citoplasma a través del reticle endoplasmàtic. Els canals iònics dels receptors d'Ach s'obren; entren cations Na^+ i surten cations K^+ aquest procés és el que produeix el potencial de placa motora (ppm). El ppm és el potencial d'acció que es produeix en les fibres musculars. La magnitud d'aquest ppm depèn de la quantitat d'Ach alliberada. La despolarització produïda fa que el catió calci (Ca^{+2}), que està dins el reticle endoplasmàtic, s'alliberi al citoplasma. Aquest calci s'uneix als filaments d'actina i permet la unió de la miosina dels miofilaments gruixuts amb l'actina dels miofilaments prims. Aquesta unió provoca que els filaments d'actina es desplacin per sobre dels de miosina. Això produeix l'escurçament de les miofibretes i, per tant, l'escurçament de tot el múscul, ja que totes les miofibretes de cada fibra muscular fan el mateix procés. Aquest procés requereix el consum d'energia mitjançant la molècula d'ATP (Adenosin Trifosfat).



Imatge 50.

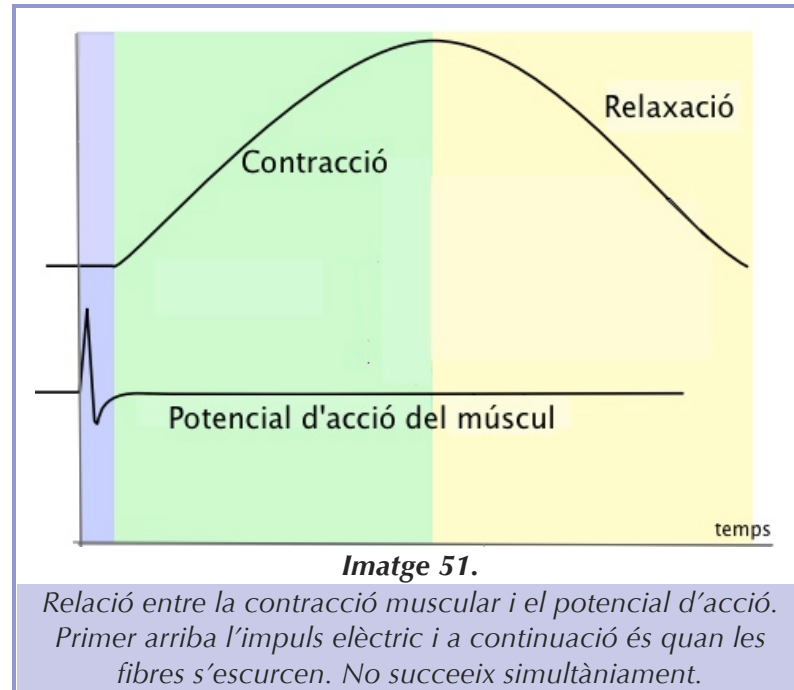
Dibuix que il·lustra el procés de contracció. Quan s'allibera el Ca^{+2} els filaments de miosina es desplacen per sobre dels d'actina escurçant les fibres.

Quan els impulsos nerviosos deixen de transmetre's, el Ca^{+2} torna a introduir-se al reticle endoplasmàtic, aquest transport és un transport actiu, és a dir, en contra del gradient de concentració i, per tant, requereix energia (ATP).



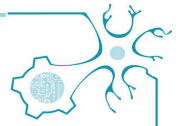
En la contracció del múscul, l'energia química es transforma en energia mecànica. Així doncs gràcies a l'impuls nerviós, s'allibera Ca^{+2} (procés químic) i aquest provoca l'escurçament de les fibres (procés mecànic).

La relació entre el temps del potencial d'acció i de la contracció és aquesta:

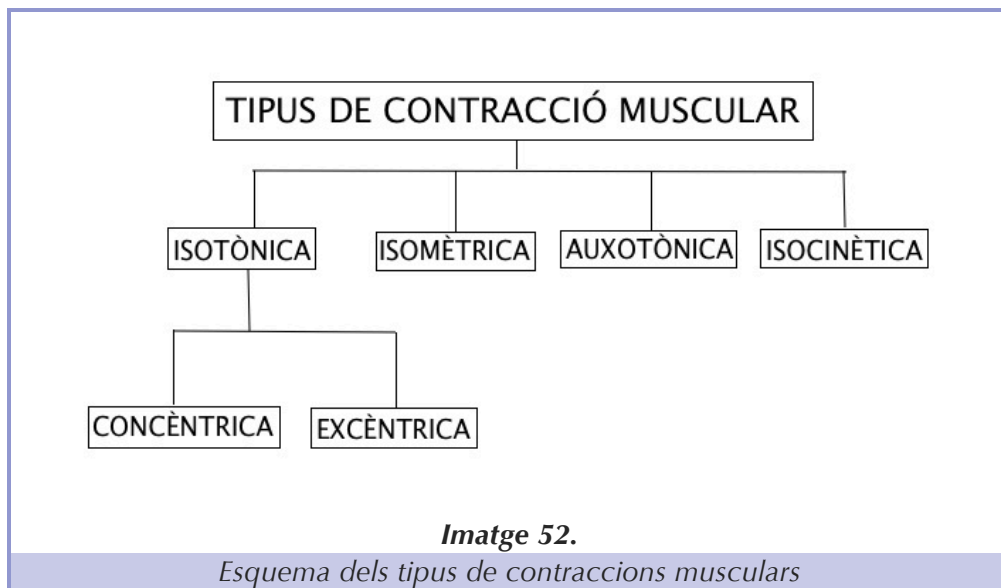


La mecànica de la contracció muscular la podem resumir amb el següent procés:

1. Inici de la contracció. L'impuls nerviós arriba al final de la motoneurona i s'allibera acetilcolina. Entra Na^+ a la cèl·lula i es produeix un potencial d'acció.
2. Alliberació de calci. El potencial d'acció que viatja per la fibra provoca l'alliberament de Ca^+ . El calci s'uneix als filaments prims deixant lliures els punts actius, llocs on s'uneixen els filaments prims, d'actina.
3. Formació de punts creuats. Els punts actius de l'actina i la miosina formen unions mitjançant punts creuats.
4. Escurçament de les fibres. La miosina arrossega el filament d'actina provocant que els dos llisquin un per sobre de l'altre. Aquesta acció requereix energia.
5. Fi de l'acció muscular. El múscul es relaxa quan l'impuls elèctric deixa d'arribar, el calci torna al reticle endoplasmàtic i es torna a emmagatzemar.



Hi ha diferents tipus de contraccions. En la figura 50 es mostra un esquema de tots els tipus. A continuació expliquem cada una:

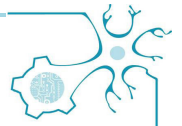


La **contracció isotònica** és aquella en que les fibres musculars pateixen un escurçament. Les fibres, a més de contraure's, modifiquen la seva longitud. La majoria de contraccions que realitzem són d'aquest tipus. Podem diferenciar les contraccions isotòniques en concèntriques i excèntriques. Les concèntriques són aquelles en què els músculs realitzen tal pressió que superen una resistència, de tal manera que s'aconsegueix moure una part del cos. Les excèntriques es produeixen quan els músculs no exerceixen la força suficient per a vèncer la resistència. Llavors, el múscul, que inicialment es troba en contracció, s'allarga.

La **contracció isomètrica** és aquella en la qual els músculs no s'allarguen ni s'escurcen però generen tensió, per exemple, a l'aguantar algun objecte entre els braços.

La **contracció auxotònica** és una barreja entre la contracció isotònica i la isomètrica. Inicialment es produeix una isotònica i al final acaba sent isomètrica.

Les **contraccions isocinètiques** són aquelles que ens permeten controlar la velocitat. Es pot definir com una contracció màxima a velocitat constant, és a dir, durant tot el temps es manté una tensió màxima del múscul i es pot controlar la velocitat de moviment.

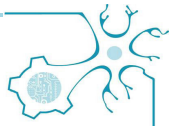


7. Captació i registre de senyals electromiogràfics

Igual que les cèl·lules nervioses, les cèl·lules musculars o fibres mantenen, en repòs, una diferència de potencial elèctric (voltatge) a través de la membrana cel·lular. Quan l'impuls nerviós que baixa per una ramificació terminal de l'axó d'una motoneurona arriba a la placa terminal motora, s'allibera un neurotransmissor, acetilcolina, que excita la membrana de la cèl·lula muscular i, si l'estímul és adequat per arribar al llindar, es produeix un potencial d'acció que es desplaça per la fibra muscular fins als tendons. Totes les fibres musculars de la unitat motora s'activen de forma sincronitzada. La suma resultant dels potencials d'acció individuals es denomina Potencial d'Acció de la Unitat Motora (PAUM). Tot aquest procés està explicat detalladament en l'apartat anterior (*Connexió entre la mà i el SNC*). El que ara ens interessa és el registre d'aquest potencial d'acció de les unitats motores, no d'una sola, sinó del conjunt que formen el múscul. Aquest registre l'anomenem electromiograma (EMG) i anomenem senyal mioelèctric a la integració temporal i espacial de tots els potencials d'acció de la unitat motora detectada mitjançant els elèctrodes.

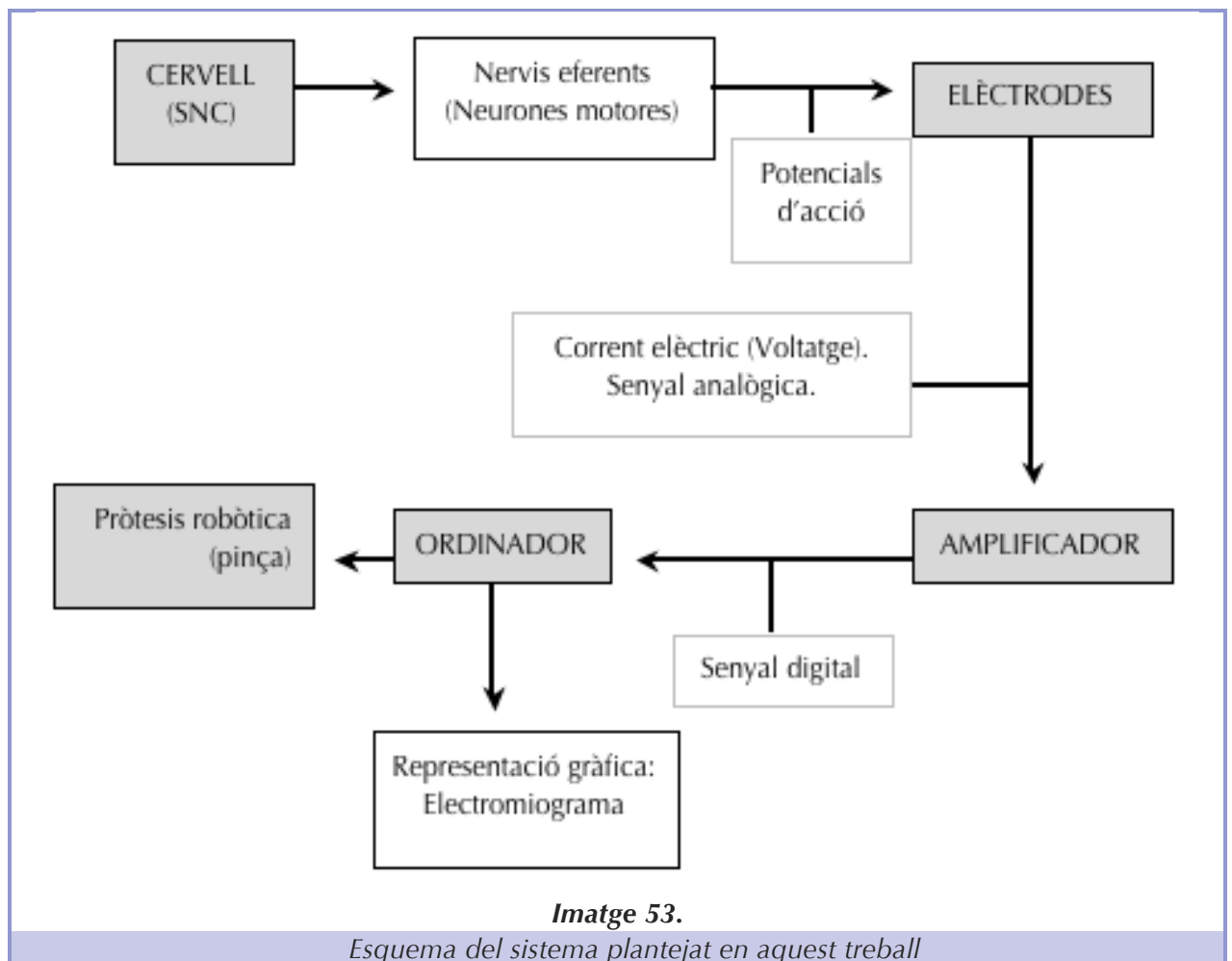
Els potencials d'acció són simplement corrents elèctrics, i com a tals, es mesuren amb voltatges. En aquest capítol s'explica quins instruments i com s'utilitzen per detectar aquests voltatges. És a dir, la forma de passar d'una senyal biològica a una senyal digital. Aquesta senyal és perfectament interpretada per l'ordinador mitjançant un programa especialitzat amb el qual podem representar gràfiques amb els senyals al llarg del temps i podem tractar-les per a aconseguir el que desitgem.

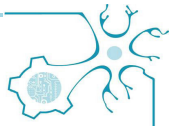
La captació de senyals biològics té moltes utilitats. En el nostre cas, l'àmbit d'aplicació seria el del control neuromotor a través d'un exosquelet robòtic del membre superior per a l'assistència d'alguna discapacitat. Igualment, pot servir com a eina d'estudi de diferents trastorns del moviment. Així doncs, en l'àmbit de la neurociència es permet identificar els mecanismes usats en l'execució del moviment. En l'àmbit de neuro-rehabilitació es permet usar teràpies específiques i analitzar la recuperació de les funcions motores durant la teràpia. En l'àmbit de la neurofisiologia es permet estudiar el



funcionament de l'activitat bioelèctrica del sistema nerviós pel registre electromiogràfic i examinar la funció de vàries àrees sensorials i motores del cervell. De fet, hi ha tres tipus de registre de senyals bioelèctrics: l'electromiograma (EMG), que detecta els senyals elèctrics quan es produeix la contracció del múscul; l'electroencefalograma (EEG), que detecta les senyals elèctriques directament des de l'encèfal; i l'electrocardiograma (ECG), que detecta l'activitat elèctrica exclusivament del cor. L'EEG i l'ECG no tenen relació amb el nostre treball, per tant, només tractarem amb senyals EMG.

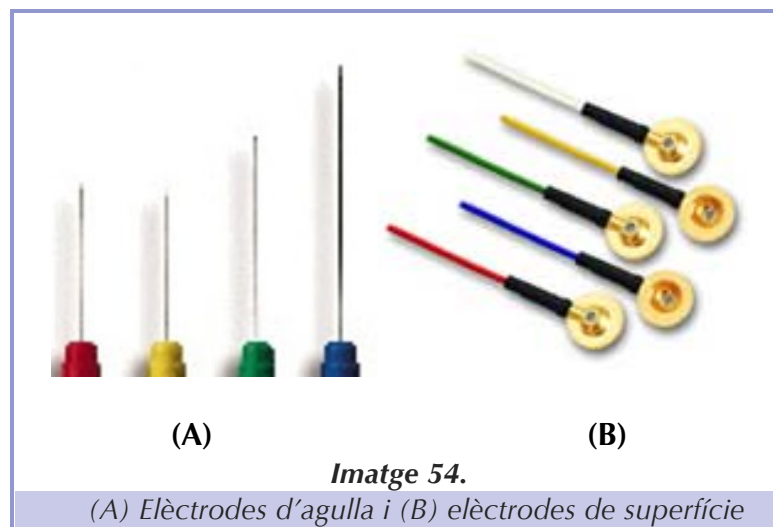
Aquest treball té una finalitat pràctica en l'àmbit tecnològic. La part tecnològica requereix de la part científica per al coneixement de les senyals biològiques que controlaran la pròtesi. L'esquema del funcionament del sistema complet, seria aquest:





8.1 Els elèctrodes

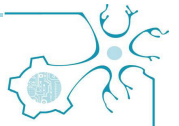
Els elèctrodes són transductors. Els transductors registren un canvi en el paràmetre que s'està mesurant. En aquest cas, es mesura el senyal elèctric produït per un procés fisiològic: la despolarització de les fibres musculars previ a la contracció. Aquest senyal pot ser mesurat per elèctrodes de superfície o intramusculars. L'electromiografia intramuscular utilitza elèctrodes d'agulla, aquests són inserits en el múscul. Permeten detectar potencials d'un grup reduït de fibres musculars i, per tant, obtenir uns senyals més precisos. Si els detalls no són importants, s'utilitzen elèctrodes de superfície. Aquests detecten els potencials de tot un conjunt de fibres o de tot el múscul sencer.



Els **elèctrodes de superfície** van units a la pell sobre el segment muscular que s'està estudiant. Els senyals detectats per aquest tipus d'elèctrodes estan més contaminats per altres voltatges del voltant. Aquesta contaminació s'anomena soroll. A part del soroll ambiental que es pugui detectar, el múscul del qual es volen estudiar els senyals elèctrics es troba envoltat d'altres teixits, com la pell, que disminueixen la intensitat de la senyal. Aquest problema no es manifesta

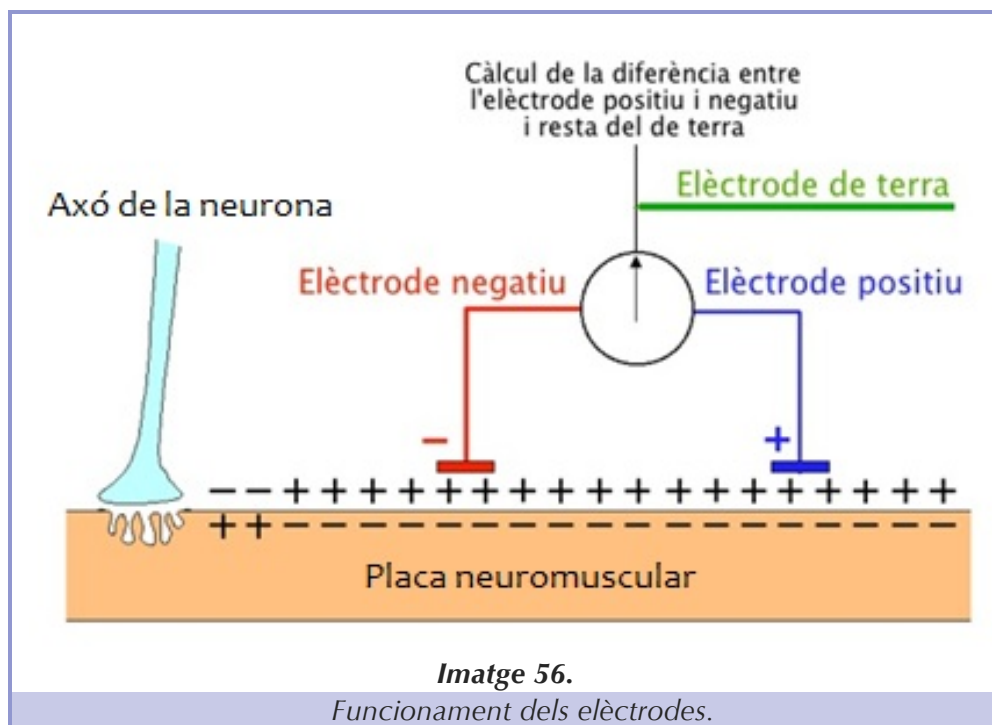


Imatge 55.
Diferents tipus d'elèctrodes de superfície



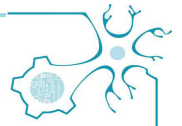
quan l'enregistrament es fa per mitjà d'elèctrodes d'agulla, però aquests són molt més incòmodes pel pacient.

Per a adquirir senyals biomèdics s'utilitza l'amplificació diferencial, és a dir, es registra la diferència de potencial entre dos punts del cos respecte a una referència i s'elimina la part comuna del senyal. Aquesta part comuna s'elimina ja que es considera soroll. El que ens interessa és aconseguir enregistrar un senyal mioelèctric el més pur possible. Per tant, per a enregistrar senyals són necessaris tres elèctrodes, dos d'ells s'apliquen sobre el múscul i el tercer s'aplica sobre un teixit que no intervingui. Aquest tercer és l'anomenat elèctrode de terra. Aquests elèctrodes superficials utilitzen una configuració bipolar, és a dir, dos punts de senyal més un de referència (terra).



El soroll que distorsiona el senyal pot ser de dos tipus, segons d'on provingui:

- **Soroll ambiental:** és produït per dispositius electromagnètics com els ordinadors, les emissions de ràdio i televisió o les línies elèctriques (que acostumen a estar en una freqüència d'entre 50 o 60 Hz).



- **Soroll de la transducció:** es produeix en la connexió elèctrode-pell. Els elèctrodes serveixen per a convertir els corrents iònics generats als músculs, és a dir, els potencials d'acció, en corrents digitals que poden ser manipulats amb circuits elèctrics i emmagatzemats en forma analògica o digital com a potencial de voltatge.

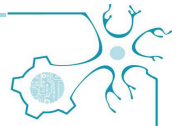
Un dels avenços més importants pel que fa a l'eliminació de soroll és la implementació d'elèctrodes bipolars. Això ha permès suprimir les senyals en comú dels dos elèctrodes principals, i després amplificar la diferència de potencial d'un i de l'altre.

Els elèctrodes de superfície es poden dividir en dos tipus:

- **Elèctrodes secs:** mantenen un contacte directe entre la pell i l'elèctrode.
- **Elèctrodes de gel:** requereixen l'ús d'un gel. Aquest gel és usat per a afavorir a la conducció del corrent elèctric entre la pell i la part metàl·lica de l'elèctrode.

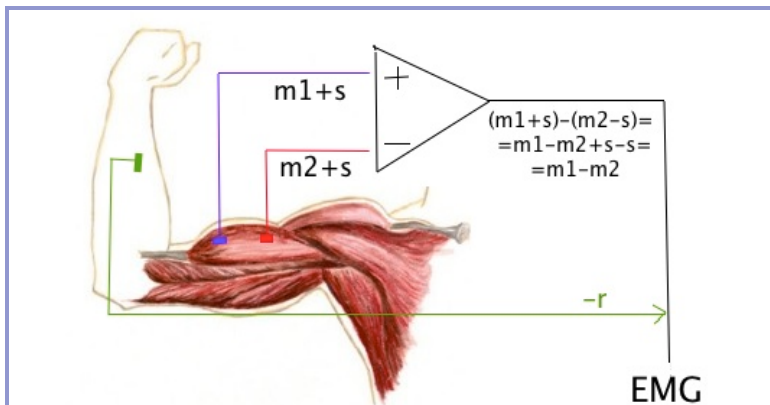
A continuació definirem les característiques que pot tenir un elèctrode de superfície:

- **Forma:** definida per la forma de l'àrea que condueix el corrent, és a dir, la part metàl·lica. Pot ser arrodonida o quadrada. L'únic requisit és que la forma de cada parell d'elèctrodes sigui la mateixa per a garantir uns bons senyals.
- **Distància entre elèctrodes:** aquesta distància és la longitud entre els centres de les àrees de conductivitat, és a dir, les parts metàl·liques dels elèctrodes. Separant els elèctrodes s'augmenta l'amplitud del senyal, en canvi, hi ha més probabilitat de captar interferències causades per la captació de potencials d'altres músculs.
- **Material:** normalment estan fets de plata i/o clorur argèntic (AgCl). El material dels elèctrodes ha de garantir una bona conductivitat, que disminueixi les interferències si és possible i que mantingui un enregistrament estable al llarg del temps.
- **Construcció:** es defineix com la construcció del mecanisme en el qual s'integren els cables i els elèctrodes. Ha de ser lleugera però ha de ser bastant estable per tal que en moviment no alteri el registre. Tanmateix, la massa no varia directament l'electromiograma.
- **Posicionament:** hi ha dues estratègies per a posicionar els elèctrodes. Una és de forma longitudinal, amb la qual la direcció dels elèctrodes segueix a la de les



fibres musculars. L'altra és transversal, amb la qual la direcció és perpendicular a les fibres. La més usada és la longitudinal

A l'hora de col·locar els elèctrodes en el seu lloc precís, la situació del múscul és molt important. Si el múscul es troba més profund, els senyals arribaran a la superfície menys intensos i es podran detectar des d'una zona més petita. L'altre aspecte a tenir en compte és l'anomenat *Cross-Talk*. Els elèctrodes de superfície no són sempre selectius per al potencial d'un sol múscul, sinó que detecten tots els potencials que arriben en aquella regió. El *Cross-Talk* és l'enregistrament de senyals d'altres músculs localitzats molt a prop del que ens interessa. Aquests senyals modifiquen les del múscul principal.



Imatge 57.

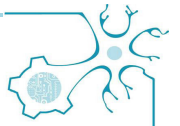
Obtenció d'un EMG del bíceps. **M1** és la senyal registrada per l'elèctrode positiu, **M2** és la senyal registrada per l'elèctrode negatiu, **s** és el soroll que cal eliminar i **r** és la senyal de l'elèctrode terra que fa de referència.

L'elèctrode de referència, que és el de terra, proporciona el nivell de corrent detectat que serà zero. En la imatge 55, les lletres *m* corresponen als senyals EMG enregistrats del múscul. La lletra *s* correspon al valor del soroll. Per tant, quan es detecta el senyal mioelèctric, aquest no és pur, sinó que s'enregistra junt amb un soroll de base que hem explicat

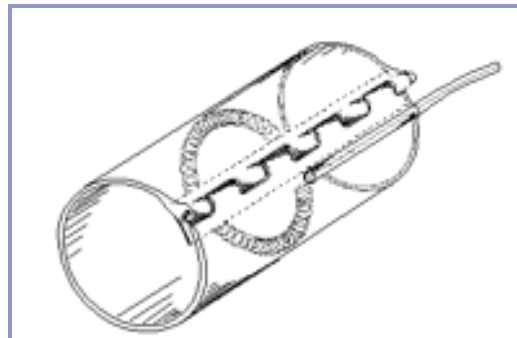
anteriorment. Aquest soroll és comú en la posició 1 com en la 2, per tant, quan s'obtenen els valors de *m1* i *m2* es resten i s'elimina el soroll (*s*). Finalment, els senyals EMG d'aquell múscul seran la diferència entre el primer punt i el segon.

A part dels elèctrodes de superfície, també existeixen els elèctrodes d'agulla que són invasius i serveixen per a mesurar els mateixos senyals (EMG) però de manera més selectiva, com hem dit abans. Ara bé, si el que es vol és enregistrar senyals directament provinents del nervi, es necessiten elèctrodes del tipus invasius que connectin amb el nervi, tant sigui amb tot ell, amb certs fascicles, o amb axons individualment.

Trobem diferents tipus d'elèctrodes invasius:



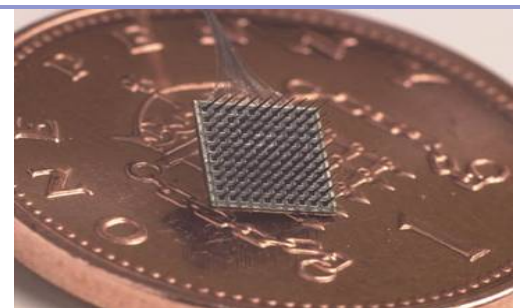
- Els **elèctrodes extraneurals**, o anomenats en anglès *cuff electrodes*, són tubs molt petits que envolten tot el nervi. La cara interna del tub conté les petites peces de metall que capten els potencials d'acció. Si aquests elèctrodes es volen utilitzar per excitar, la intensitat de l'estímul haurà de ser molt menor ja que no hi ha interferències com la pell o altres estructures que no són pròpies del nervi, com la sang o els músculs. En comparació amb altres tipus d'elèctrodes neurals aquests són poc selectius ja que registren informació o estimulen el nervi sencer.



Imatge 58.

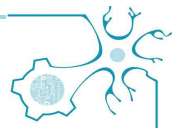
Elèctrodes extraneurals o 'cuff electrode'

- Els **elèctrodes intraneurals** són aquells que se situen dins del nervi. Ofereixen un registre molt més selectiu, ja que poden detectar potencials de certes parts concretes del nervi. Dintre d'aquest grup d'elèctrodes trobem diferents tipus, per exemple, els elèctrodes intrafasciculars longitudinals que s'instal·len longitudinalment dintre del nervi o els multielèctrodes matricials (MEA, que en anglès significa *Multielectrode Arrays*) que estan compostos per desenes de petites agulles que s'instal·len transversalment en el sistema nerviós. Aquest últim tipus s'usa sobretot en el sistema nerviós central, inserint-lo a l'escorça cerebral.

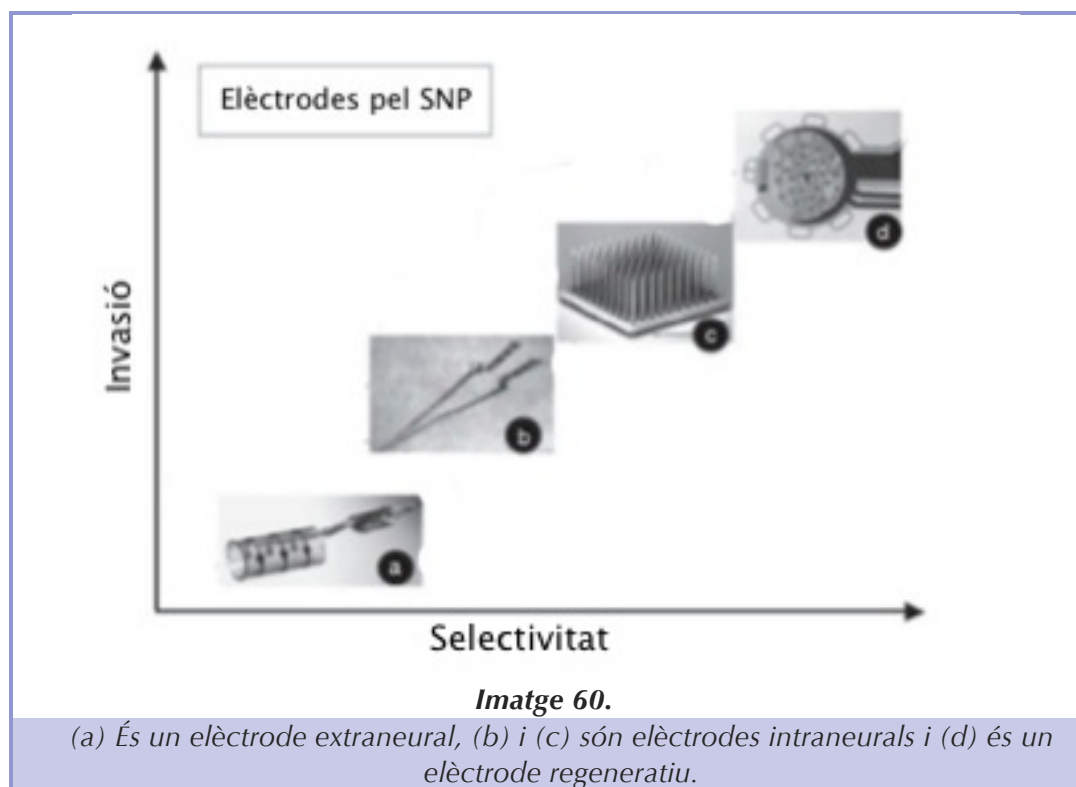


Imatge 59.

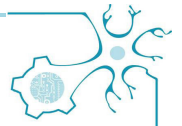
*Elèctrodes MEA sobre una moneda de £
Es pot observar la seva reduïda dimensió*



- Per últim, trobem els **elèctrodes regeneratius**. Aquests elèctrodes són dissenyats per a connectar amb un alt nombre de fibres nervioses utilitzant un seguit de forats amb elèctrodes al seu voltant. Són introduïts en les terminacions dels nervis de l'extremitat amputada. Els axons es regeneren a través dels forats, fent possible enregistrar potencials d'acció o estimular petits grups d'axons. Aquests tipus d'elèctrodes són molt útils per a un sistema bidireccional, ja que al rebre informació dels petits grups d'axons es poden connectar amb un moviment específic de la mà, com si el grup d'axons connectés amb un múscul en concret. L'inconvenient és que es necessita suficient temps per què els axons es regenerin.



En la imatge 58 es pot observar el nivell d'invasió i de selectivitat que tenen els diversos tipus d'elèctrodes. El més idoni per a una connexió amb una pròtesi és aquell que ofereixi més especificitat, ja que podrà detectar informació que va dirigida a una funció concreta o podrà estimular produint la sensació que condueix aquell grup d'axons. Per contra, a més selectivitat, més invasió i això no afavoreix al pacient ja que pot originar danys al sistema nerviós.



Els elèctrodes anteriorment esmentats es poden usar per estimular fibres nervioses o per enregistrar els impulsos nerviosos o potencials d'acció. Per tant, el que es pot constituir és una interfície bidireccional amb el sistema nerviós.

7.2 Els senyals electromiogràfics

Els senyals electromiogràfics (EMG) són petits corrents elèctrics generats per les fibres musculars abans que es produeixi la força muscular (contracció). Aquests corrents es generen per l'intercanvi d'ions a través de les membranes de la fibra muscular¹⁶ en una part del procés de senyalització perquè les fibres musculars es contreguin.

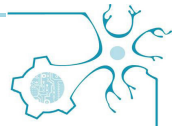
L'electromiografia consisteix bàsicament en l'adquisició, el registre i l'anàlisi de l'activitat elèctrica generada pels nervis i els músculs a través de la utilització d'elèctrodes, siguin del tipus que siguin. Les mesures extretes de les electromiografies proporcionen informació sobre la fisiologia i els patrons de l'activació muscular. Aquesta informació reflexa les forces generades pels músculs. A més pot utilitzar-se en el diagnòstic de patologies que afecten el SNP, les alteracions funcionals de les arrels nervioses, dels plexes i els troncs nerviosos perifèrics, així com patologies del múscul i de la unió neuromuscular.

A l'EMG es registren les diferències de potencial elèctric, sent senyals molt petits de l'ordre de 50 μ V fins a 5 mV, que requereixen ser amplificats per poder ser observables. Generalment el guany de l'amplificació és major a 1000mV. Per reduir la interferència del senyal s'intenta que la impedància (distància entre el múscul analitzat i la pell on se situa l'elèctrode) sigui baixa.

Les EMG poden ser mesurades mitjançant l'aplicació d'elements conductors o elèctrodes a la superfície de la pell: electromiografia superficial (sEMG) o directament al múscul: electromiografia invasiva (iEMG).

En el cas del nostre treball, hem realitzat registres de senyals electromiogràfics superficials (sEMG), és a dir, senyals que han estat captats des de l'exterior (mitjançant

¹⁶ Veure pàgina 54



elèctrodes de superfície). La sEMG és àmpliament utilitzada per a avaluar l'activitat muscular. En aquests registres, s'ubiquen elèctrodes sobre la superfície de la pell que revesteix un múscul o un grup muscular per tal de mesurar l'activitat elèctrica que es produeix a les fibres musculars quan aquestes es contrauen. Mitjançant la sEMG es pot determinar quins músculs estan actius i els seus graus d'activitat.

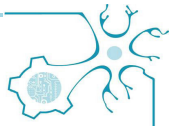
La sEMG és el mètode de mesura més comú, ja que no cal tenir contacte directe amb el múscul.

L'amplitud i les propietats de domini de les freqüències dels senyals sEMG depenen de factors com ara:

- El moment i la intensitat de la contracció muscular.
- La distància de l'elèctrode a la zona dels músculs actius.
- Les propietats del teixit que cobreix el múscul, per exemple, el gruix de la pell o la quantitat de teixit adipós (teixit que conté cèl·lules que acumulen el greix) que hi ha.
- Les propietats de l'elèctrode i l'amplificador.
- La qualitat del contacte entre l'elèctrode i la pell.
- Les propietats dels elèctrodes i de la seva interacció amb la pell.
- El disseny de l'amplificador i de l'emmagatzematge dels senyals en aquest.
- La conversió A/D¹⁷ (analògic/digital) de el senyal electromiogràfic.
- La relació senyal-soroll, determinada gairebé pels 4 elèctrodes.

El soroll ambiental és generat per dispositius electromagnètics, com ara ordinadors o línies d'energia. Les freqüències del soroll poden ser molt diferents, tot i que les més dominants són les de 50Hz o 60Hz, corresponents a les fonts d'alimentació dels aparells que produeixen el soroll.

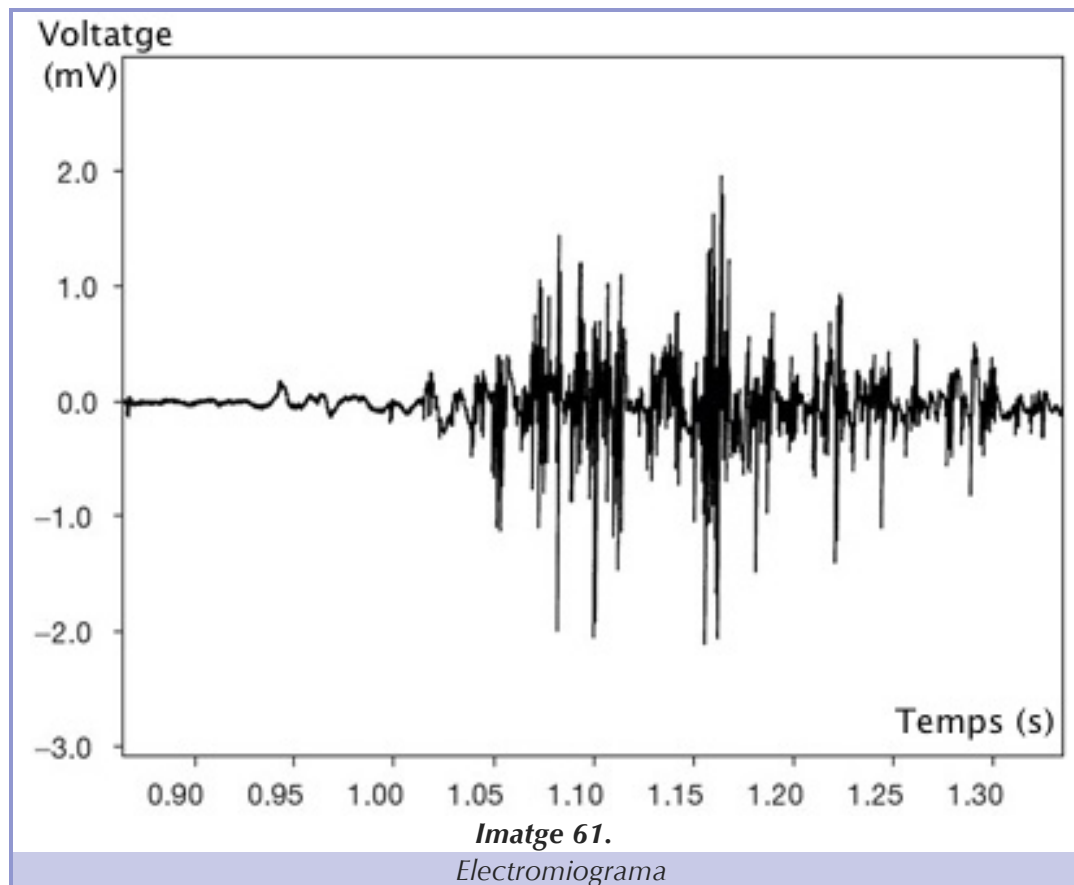
¹⁷ **Conversió A/D:** els senyals electromiogràfics abans d'entrar a l'amplificador són senyals de tipus analògic i un cop entren a l'amplificador per ser enviades a l'ordinador, es digitalitzen.

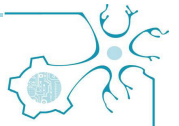


Per tal de realitzar registres en les mateixes condicions, en diferents vegades o en diferents individus, la variabilitat en el senyal sEMG es pot minimitzar de la següent manera:

- Utilitzant els mateixos elèctrodes i amplificador (mateixos paràmetres de condicionament de senyal).
- Garantint la qualitat de contacte entre els elèctrodes i la pell dels individus.
- Intentant col·locar els elèctrodes en les mateixes posicions anteriors.

A més d'aquests, hi ha altres mètodes de normalització dels senyals EMG per tal de reduir la variabilitat entre els registres, ja siguin dels mateixos subjectes en diferents registres o de registres entre diferents subjectes. La següent imatge, mostra un sEMG:





8. La mioelectricitat

8.1 Concepte de mioelectricitat

La mioelectricitat es defineix com els impulsos bioelèctrics d'amplitud compresa entre 10 i 1000 microvolts produïts per l'activitat muscular i detectable mitjançant l'aplicació d'elèctrodes a la **superfície de la pell**.

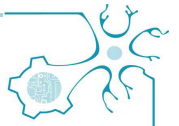


Imatge 62.
Pròtesi mioelèctrica

L'aparell que s'utilitza per a captar les senyals recollides pels elèctrodes s'anomena **electromiògraf**, i es defineix com l'instrument que mesura la tensió produïda per l'activitat muscular. Cal esmentar que s'utilitza en l'electromedicina, branca de la medicina que utilitza aplicacions electròniques.

8.2 Característiques de la mà mioelèctrica

Es caracteritza per ser utilitzada fonamentalment en les pròtesis, concretament en les anomenades **pròtesis actives de força aliena**. Aquestes pròtesis utilitzen els anomenats potencials d'acció, que és com s'anomena als impulsos anteriorment esmentats, per a funcionar. Aquests potencials, recollits pels elèctrodes, són també amplificats i enviats com a senyals de control dels elements que controlin.



Cal destacar dos tipus de pròtesis que són majoritàries: les de braç i les d'avantbraç. Mentre que en les primeres, els elèctrodes van col·locats de tal manera que el tríceps obre la mà i el bíceps la tanca, en les d'avantbraç aquestes funcions les fan els músculs extensor i flexor del carp respectivament.

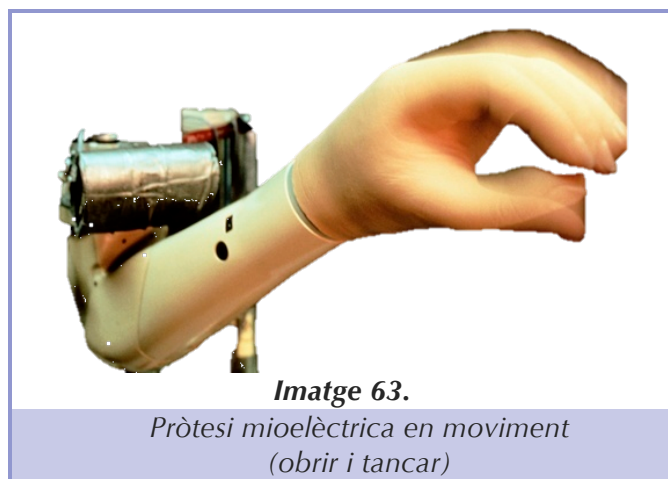
Com a font d'energia, utilitzen una font d'alimentació a una tensió de 6 volts (o 4.8 volts en nens), que està incorporada en l'encaix prostètic d'aquestes.

Cal destacar que, per a analitzar tots aquests conceptes exposats en el treball, hem utilitzat la pròtesi mioelèctrica **Otto Bock** per a analitzar les diferents característiques d'aquest tipus de sistema.

8.3 Graus de llibertat i principals moviments

Les pròtesis mioelèctriques modernes tenen diferents graus de llibertat que donen ordres a un complex sistema de control que proporciona un ús fiable al pacient. Fins ara, el moviment de les pròtesis mioelèctriques de braç es produeix mitjançant dos elèctrodes col·locats a través de la pell que es controlen mitjançant dos grups de músculs accionats de forma separada.

Els diferents nivells de control se seleccionen mitjançant les contraccions d'aquests músculs, i el seu nivell corresponent es controla mitjançant aquests mateixos músculs. No és possible el moviment corresponent al patró natural de moviment humà, ja que parlem d'una pròtesi, tot i que aquesta milloraria de forma notable si els nivells de moviment individual de cada part fossin controlats per senyals que corresponen al patró de moviment d'una mà humana.



Imatge 63.

*Pròtesi mioelèctrica en moviment
(obrir i tancar)*



L'objectiu, separar els principals nervis del braç i transferir-los a les branques nervioses pròximes al monyó, per a crear unes anomenades **unitats neuromusculars** que es puguin utilitzar com a generadors de potencials d'acció per a pròtesis mioelèctriques. Després del procés de reanimar els nervis seccionats, el pacient cal que s'acostumi al seu nou "braç".

Actualment, una de les aplicacions mèdiques en amputats amb necessitat d'implantació de pròtesis és la reinnervació muscular dirigida. En aquesta tècnica, els nervis amputats que originalment proveïen innervació al membre perdut són quirúrgicament transferits per a innervar altres músculs que romanen després de la amputació però no tenen funcionalitat biomecànica. Un cop realitzada la reinnervació, aquests músculs produeixen senyals electromiogràfics que corresponen a les ordres motores del membre original i poden ser usades per a controlar graus de llibertat de les pròtesis. Aquest procediment és molt útil a l'hora d'implantar una pròtesi mioelèctrica.

Els diferents moviments específics com obrir i tancar la mà, flexionar el colze, o la pronació o supinació del braç causen contraccions de músculs diferents. Aquests músculs actuen llavors com a **bioamplificadors** de les senyals que poden activar la regió de la pròtesi encarregada del moviment que faria la mà humana en utilitzar aquell múscul.

Aquests senyals s'integren mitjançant una programació molt més complexa del que hem creat en aquest treball de recerca, tot i que el principi és el mateix. La principal diferència és que nosaltres hem creat un únic grau de llibertat, la obertura i tancament de la mà, mentre en una pròtesi actual de mercat caldria programar cadascun dels diferents graus que pot assolir la pròtesi mioelèctrica.

Aquests senyals creats pel *software* funcionen basant-se en un motor intuïtiu, de manera que reconegui el moviment que el pacient vol fer i el realitzi de la manera més natural possible.

Després de tot això, un pacient ha de sotmetre's a un procés de rehabilitació dels nervis amb un control estricte que el permeti familiaritzar-se amb la pròtesi que se li ha implantat.



8.4 Curiositats sobre mioelèctrica

Com a curiositats sobre les pròtesi mioelèctriques, cal destacar que, el maig de 2010, es va presentar a la fira de gran prestigi **ISP World Congress** celebrada a Alemanya una nova mà mioelèctrica, que tenia característiques tan atractives com:

- Personalitzar la força de la mà
- Modificar l'angle d'obertura d'aquesta
- Regular la velocitat del control
- Afegir nous algorismes de control
- Capacitat de ser calibrada **sense cables**

Cal destacar que aquest sistema és pioner en l'àmbit, ja que fins ara en una pròtesi calibrada i ja instal·lada no es podia modificar cap paràmetre, ni tampoc afegir cap tipus d'algoritme nou per a reconèixer els diferents patrons. I si a això li sumem el fet que tot es pot realitzar sense cables, la veritat és que sona a un invent realment avançat.



9. Pròtesis biòniques

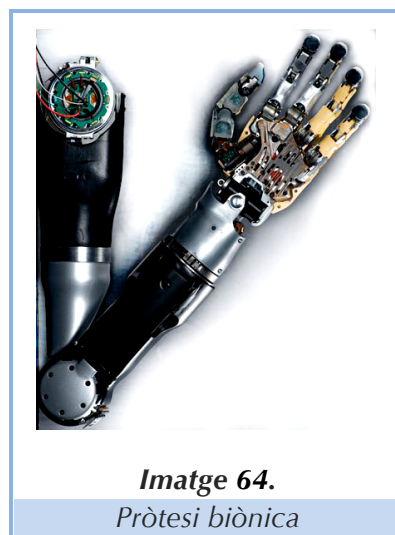
Biònica: Etimologia: *bio-*, «vida», i *electrònica*; és l'estudi dels sistemes mecànics que funcionen com organismes vius o com a parts dels mateixos.

Un dels camps més intrigants en la medicina actual és la implantació de la robòtica en la salut humana. En particular, l'habilitat de connectar un dispositiu robòtic amb el cervell humà, per tal de substituir una funció perduda. En el nostre cas, parlem de substituir la mà humana per una de robòtica connectada directament amb el sistema nerviós.

Els amputats de membres superiors compensen per estètica i funcionalitat els dèficits amb pròtesis que, actualment, presenten molt poca destresa pel que fa el control i l'eficàcia en la interfase humà-pròtesi. Actualment en el mercat trobem pròtesis amb forma de pinça que operen mitjançant senyals electromiogràfics i requereixen control visual, aquestes són les pròtesis mioelèctriques, sobre les quals hem desenvolupat el nostre treball. Aquestes són controlades per elèctrodes de superfície i senyals mioelèctrics procedents de músculs localitzats en el monyó o en regions properes. Permeten realitzar només un moviment, o dos com a màxim. A més, no incorporen un mecanisme *feedback*, per tant, és necessari el control visual.

Les investigacions actuals se centren en pròtesis biòniques connectades directament al sistema nerviós perifèric (SNP) mitjançant vies bidireccionals, és a dir, que ofereixin un sistema de *feedback*, pel qual els pacients puguin enviar informació a la pròtesi per tal de moure-la i aquesta pugui retornar informació com el tacte o la propiocepció¹⁸.

La interfase amb el SNP té l'objectiu de detectar l'activitat elèctrica de les



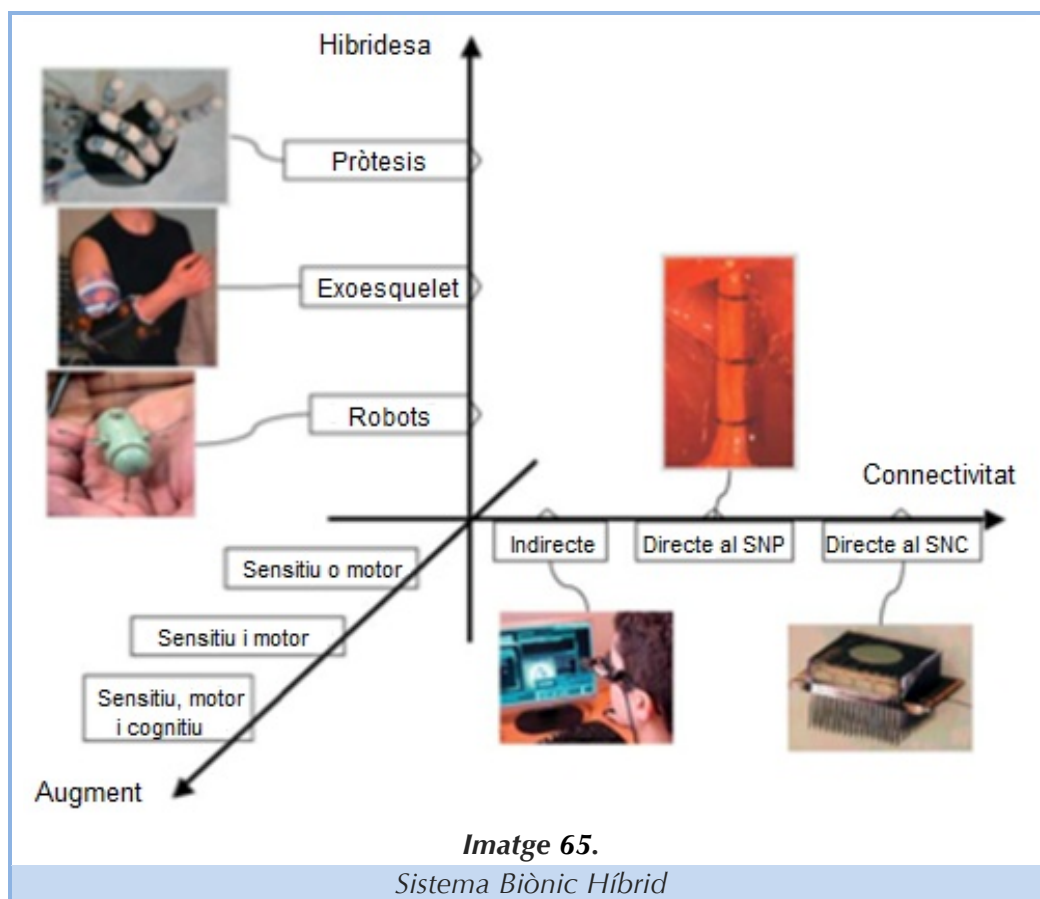
¹⁸ Veure pàgina 41



fibres nervioses i estimular-les el màxim selectivament possible.

La combinació de sistemes artificials amb connexions humà-màquina s'anomena *Sistema Biònic Híbrid* (HBS: sigles en anglès de *Hybrid Bionic System*) i és caracteritzat per tres aspectes:

- El **nivell d'hibridesa o de contacte**: és la relació entre l'individu i el robot. El dispositiu pot ser una pròtesi, un ordinador, un robot, etc. En el nostre cas, en tot moment parlem de pròtesis.
- El **nivell d'augment de la funció**: és el nivell de semblança del dispositiu amb les funcions del cos humà. El sistema pot tenir només un canal motor sensorial, o tenir-ne més d'un.
- El **nivell de connexió** entre humà-dispositiu. El sistema pot connectar-se mitjançant mètodes invasius o no invasius amb el sistema nerviós.



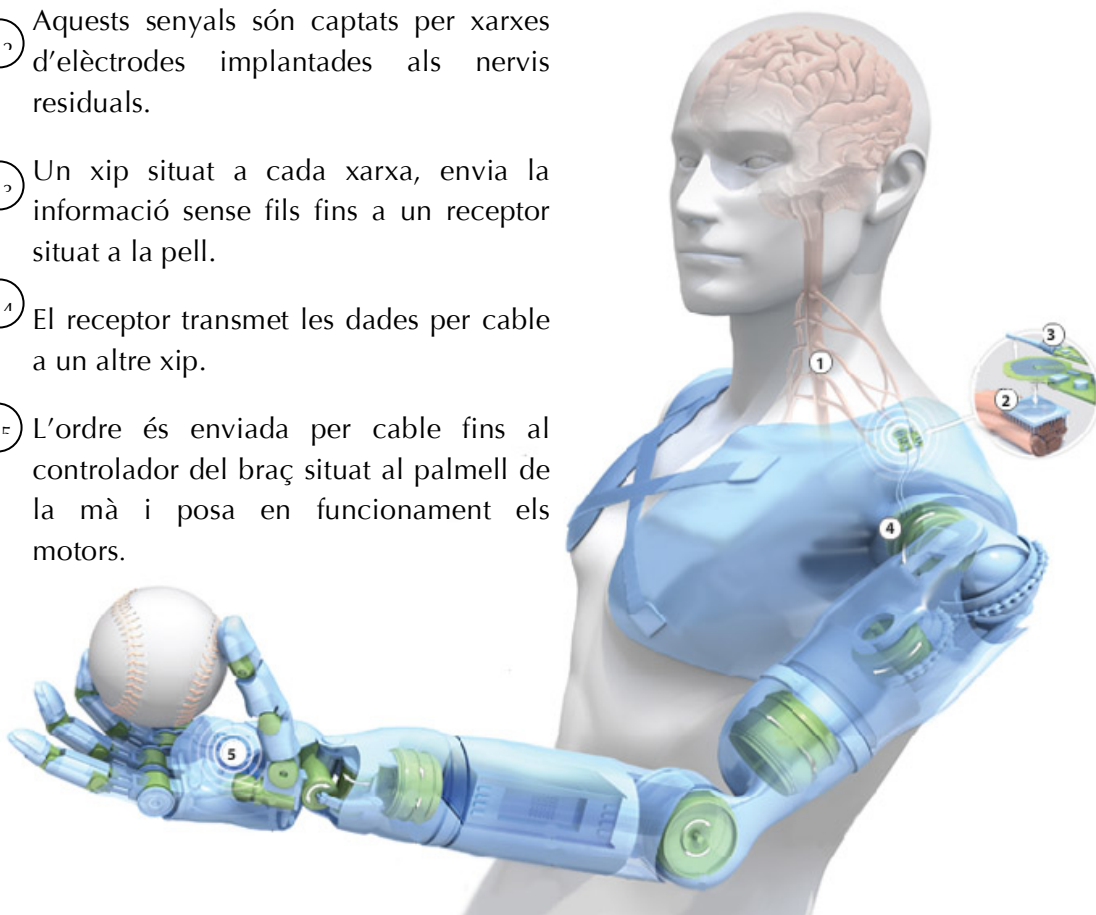
Per a la construcció i connexió d'un sistema el màxim fidel a la realitat i el màxim funcional, és necessària una connexió ràpida, fiable i de flux d'informació bidireccional entre el sistema nerviós i el dispositiu.



En el cas de les pròtesis biòniques, la connexió ha de ser capaç de poder estimular diferents nervis aferents per a proporcionar sensacions originades a partir dels sensors instal·lats a la pròtesi (mecanisme que s'anomena *feedback*), i alhora poder enregistrar senyals dels nervis eferents que porten informació al múscul per a poder implantar un control motor de la pròtesi.

Les pròtesis comercials no són capaces d'aconseguir una funcionalitat suficient ni de remetre un *feedback* sensorial adequat per tal de substituir el membre perdut de manera completa.

- 1 Els nervis transmeten la informació.
- 2 Aquests senyals són captats per xarxes d'elèctrodes implantades als nervis residuals.
- 3 Un xip situat a cada xarxa, envia la informació sense fils fins a un receptor situat a la pell.
- 4 El receptor transmet les dades per cable a un altre xip.
- 5 L'ordre és enviada per cable fins al controlador del braç situat al palmell de la mà i posa en funcionament els motors.



Imatge 66.

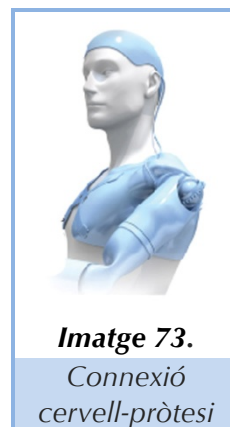
Esquema general del sistema de transmissió de la informació per fer moure la pròtesi biònica.

Actualment s'està investigant i ocasionalment s'ha estat provant implantar elèctrodes intrafasciculars longitudinals dins del nervi medial o cubital propers al monyó. Els resultats indiquen que els senyals motors enregistrats poden ser usats



pel control de pròtesis. De fet, es va realitzar un experiment amb un home amputat i va donar bons resultats¹⁹. Aquest experiment es va fer amb la pròtesi biònica més avançada que existeix actualment, la *Cyberhand*, que permet el moviment de tots els cinc dits independentment i un sistema autoregulator de la força.

Pels amputats amb nervis residuals amb danys severos, les xarxes d'elèctrodes podrien ser implantades directament al cervell. Les ordres serien captades per uns sensors situats en un casc i transmesos per un cable al braç biònic tal i com es representa a la imatge 63.



9.1 Característiques de la mà biònica

És evident que apareixen múltiples variables i paràmetres que intervenen en el disseny d'una mà prostètica: paràmetres biomecànics, forma de controlar i de realimentar les sensacions, manipulació de la pròtesi... És per això que procedim a explicar els requeriments més rellevants d'una pròtesi biònica.

- El Pes similar o aproximat a la mà humana.
- Mida en relació 1:1 amb la mà humana.
- Forma i aparença d'una mà humana.
- Sistema sensorial i *subsistemes*.
- Graus de mobilitat (actius i passius).
- Manipulació de la pròtesi.

¹⁹ Veure Annex *Notícia*, pàgina 149.



9.1.1 Pes

Començant pel pes de la pròtesi, aquesta es desitja que sigui el més aproximat possible al de la nostra mà (400-500 grams), per tant, l'estructura ha de ser lleugera i s'ha de tenir en compte que en aquest pes s'han d'incloure, també, els actuadors.

9.1.2 Mida i forma

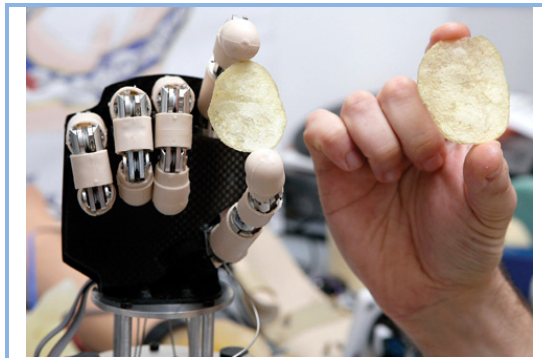
Pel que fa a la mida, tant en nens com en adults, ha de guardar una relació no només amb l'edat, sinó també amb la corpulència de la persona. En quant a l'aparença, l'objectiu és aconseguir una configuració antropomòrfica, és a dir, cinc dits dividits en falanges articulables, el polze oposat al dit índex i formant 90° amb aquest en repòs i, evidentment, un palmell amb els cinc dits situats de forma perimetral. A més, per tal de millorar la funcionalitat d'agafament i la seva aparença de mà humana, les falanges dels dits obtenen una forma cilíndrica amb unes dimensions molt semblants a les nostres (el diàmetre proximal dels dits és 16mm).

9.2.3 Sistema sensorial

El sistema sensorial permet un millor control de les pròtesis i una realització de diferents tipus d'agafament de forma més precisa. Aquest sistema està configurat en dos "subsistemes". El sistema que permet regular la força d'agafament és l'imitador del *sistema sensorial exteroceptiu*. Aquest està constituït per un guant que incorpora múltiples sensors de força, que permeten determinar la força de contacte i el lliscament dels objectes subjectats. A més, aquest sistema transmet les senyals sensorials per mitjà d'elèctrodes subcutanis, que recullen senyals neuronals dels nervis que activen la musculatura dels dits i es converteixen en ordres per a la pròtesi.



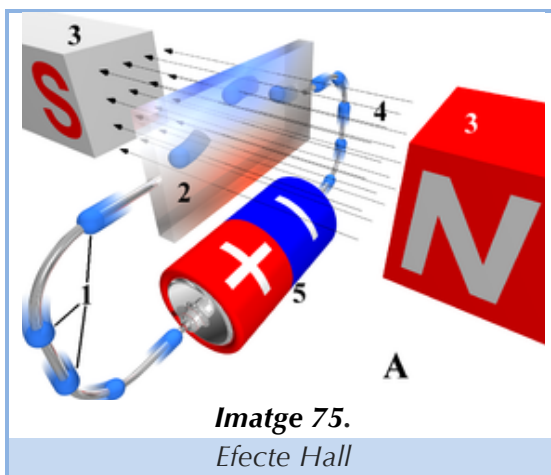
El segon subsistema imita la funció del *sistema sensorial propioceptiu* de la mà humana. Aquesta és capaç d'identificar els paràmetres propis de la mà (velocitat, posició, distribució...) mitjançant la incorporació de petits sensors *d'efecte Hall* en cadascuna de les articulacions.



Imatge 74.

La pròtesi bionica és capaç d'agafar una patata sense trencar-la gràcies al complex sistema sensorial

9.1.2.1 Efecte Hall



Imatge 75.
Efecte Hall

Quan per una placa metàl·lica circula un corrent elèctric i aquesta placa es troba situada en un camp magnètic perpendicular a aquest corrent, es dona a terme un camp elèctric transversal. Aquest camp, denominat Camp de Hall, és el resultat d'exercir forces magnètiques sobre un corrent elèctric.

Aquest fenomen té dues conseqüències principals:

- La primera és que l'acumulació de càrregues positives a un costat de la placa metàl·lica implica la mateixa quantitat en signe oposat a l'altre, creant així una diferència de potencial.
- La segona conseqüència és que la càrrega positiva adquireix un potencial major al de la càrrega negativa i, per tant, el càlcul del potencial permet determinar si es tracta d'un camp positiu o negatiu.

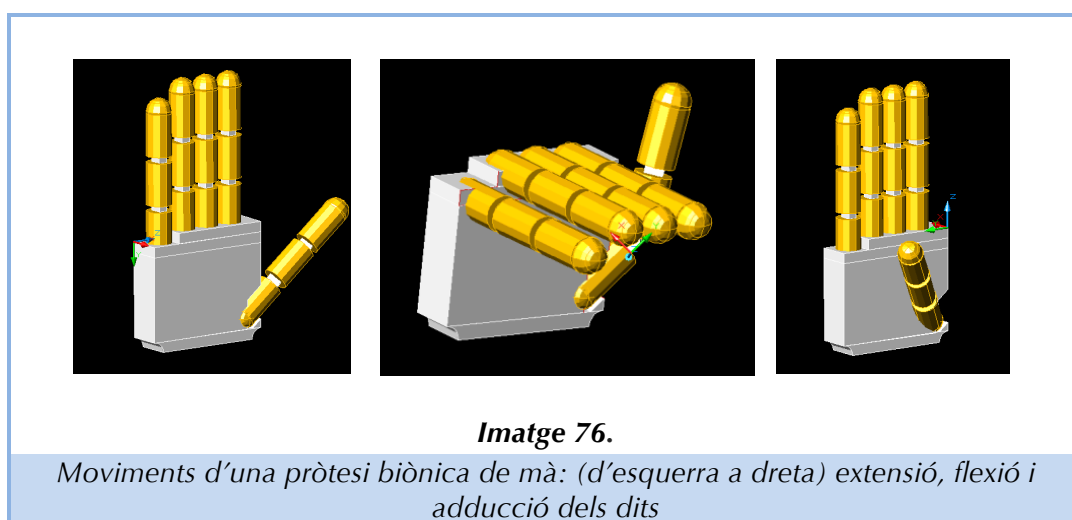
En definitiva, els sensors basats en *l'efecte Hall* acostumen a constar d'un element conductor (o semiconductor) i un imant ja que, quan un objecte



ferromagnètic s'aproxima al sensor, el camp que provoca l'ímant en l'objecte es debilita i podem determinar la proximitat de l'objecte.

9.2 Graus de llibertat

El nombre de graus de llibertat en una neuropròtesi augmenten gràcies a les falanges articulables, obtenint 16 graus de mobilitat dels quals 6 són actius o voluntaris i 10 passius o involuntaris.



Els actius es duen a terme gràcies a 6 motors DC, on 5 d'ells creen la flexió i extensió de tots els dits i el sisè motor crea l'abducció i adducció del polze.

Pel que fa els graus 10 graus passius, corresponen a la flexió de les falanges de tots els dits.

10.3 Manipulació de la pròtesi

Aquestes innovadores pròtesis en investigació presenten una nova forma de control mitjançant el sistema nerviós perifèric (ENG), que tot i que ja existeixi mostra limitacions en la seva implementació en l'ésser humà. Malgrat aquestes limitacions, el control via ENG constitueix la forma més natural del control de les pròtesis del futur ja que aquest aprofita les senyals del cervell de l'usuari, fet que permet moure i sentir la mà com si fos la seva pròpia.



MARC PRÀCTIC



10. Registre dels senyals electromiogràfics

La part pràctica d'aquest treball ha estat realitzada durant el Programa ARGÓ. El Programa ARGÓ és un projecte que ofereix la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB) als alumnes de 1r de Batxillerat per tal de realitzar el Treball de Recerca amb l'ajuda d'un tutor especialitzat en el tema.

En el nostre cas, vam realitzar les estades a la Unitat de Fisiologia de la Facultat de Medicina. El nostre tutor durant les estades va ser el Dr. Xavier Navarro Acebes.

Al llarg d'aquest treball, una de les tasques més importants, ha estat la captació i el registre de Senyals Electromiogràfics (EMG). Aquest procés ha estat indispensable per l'elaboració de la part més tecnològica feina que els ha permès crear un programa el qual tracta aquests senyals i dona les instruccions necessàries per moure la pinça.

El laboratori en el qual vam realitzar aquests registres oferia els materials necessaris per a realitzar-los: un ordinador amb un programa que tractava els senyals, un amplificador de senyals i uns elèctrodes de superfície.

En l'esquema de la imatge 65, situat a la següent pàgina, podem diferenciar dos camins diferents: el camí bidireccional (fletxes de color blau fosc) fa referència al mecanisme de relació amb l'entorn d'un individu sa. Els efectors interactuen amb l'entorn i els sensors reben informació del medi i l'envien al SNC. El segon esquema és unidireccional (fletxes de color blau clar) i fa referència al mecanisme de relació d'un individu postètic, en aquest cas d'un amputat que porta una pròtesi mioelèctrica. Sabem que es tracta d'una pròtesi mioelèctrica perquè aquest tipus de

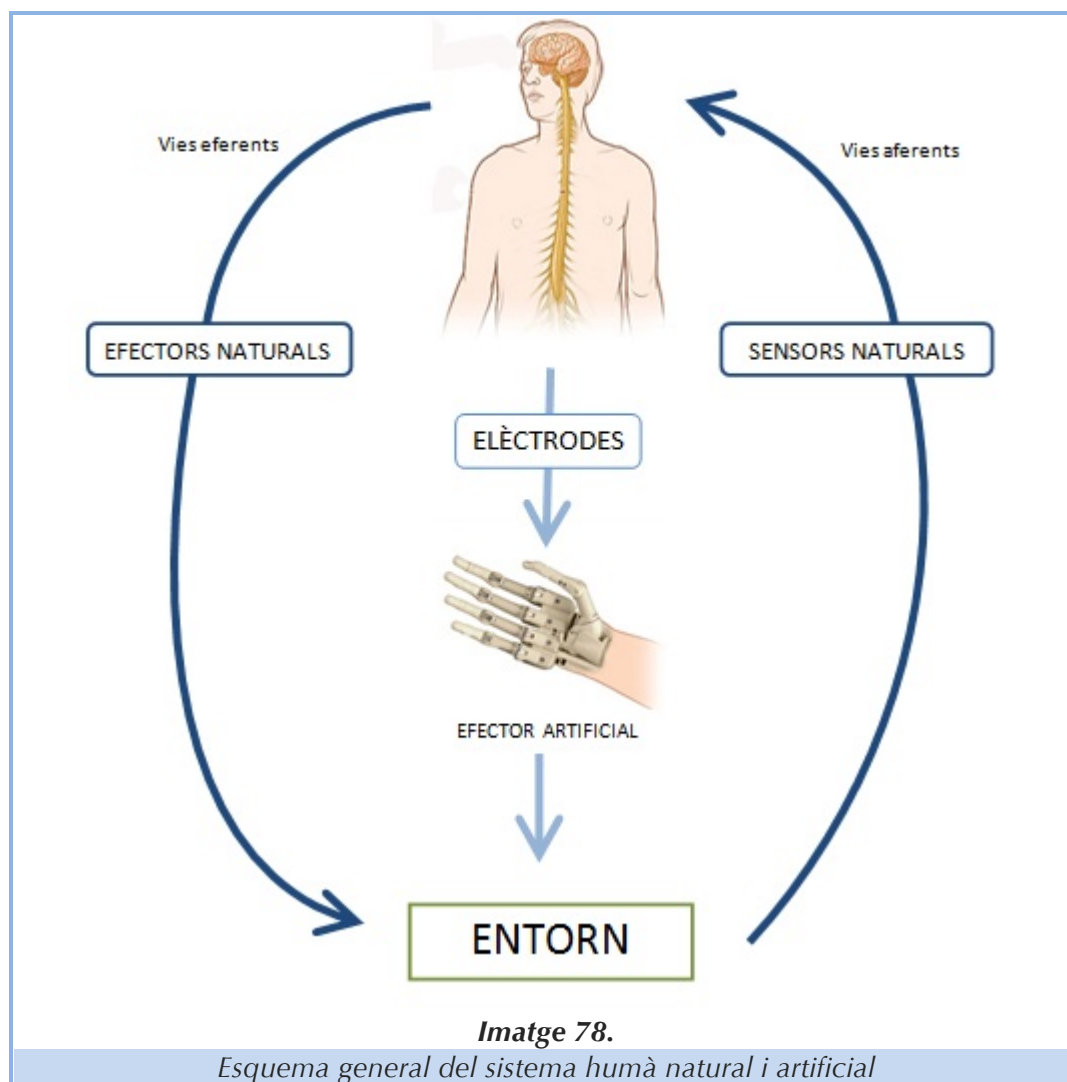


Imatge 77.

Foto enregistrant senyals mioelèctriques als laboratoris de la UAB



pròtesis només actuen efectuant el moviment desitjat però no reben informació del medi, per tant, l'única via que utilitzen és la via eferent.



Aquest mecanisme funciona gràcies a la presència dels elèctrodes. Aquests capten els senyals mioelèctrics i la pròtesi (*efector artificial*) actua sobre el medi realitzant la funció ordenada per l'individu.

Aquest últim procés, l'unidireccional, és en el qual hem basat el nostre treball.



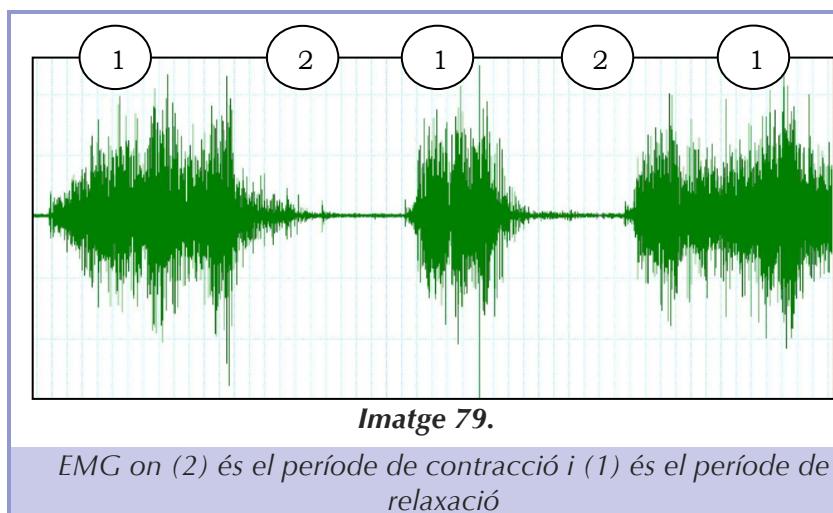
10.1 Electromiografia

Per a realitzar tot el marc experimental de la part científica d'aquest treball ens hem basat en el registre de senyals musculars, coneguts com a senyals electromiogràfics (EMG). El registre d'aquests senyals va ser possible gràcies a que la Universitat ens va facilitar uns laboratoris on poder dur a terme aquesta tasca.

La nostra feina es basava fonamentalment en col·locar uns elèctrodes de superfície als músculs flexor i extensor del braç de qualsevol dels components del grup. Aquests elèctrodes estaven connectats a un amplificador que amplificava els senyals mioelèctrics que quedaven visualment plasmades a la pantalla de l'ordinador gràcies al programa informàtic especial per a aquesta tasca.

Per tal de crear un programa, el qual tenia com a funció principal ordenar a una pinça robòtica dues funcions: obrir i tancar, vam realitzar registres de dos músculs antagonics; el flexor i l'extensor, però a la pràctica, s'ha utilitzat un sol canal (registre d'un sol múscul) que s'ha tractat imposant un llindar per sobre del qual la pinça s'activa realitzant la funció d'obrir i per sota del qual es desactiva aquesta funció.

Els registres es van realitzar en un interval de temps d'un minut aproximadament, en el qual es realitzaven tres contraccions musculars iniciades i finalitzades amb una relaxació, de la següent manera:





10.2 Procediment per a realitzar un sEMG

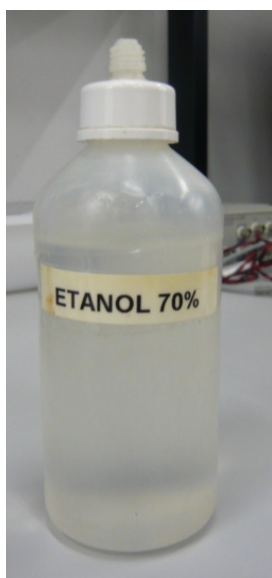
10.2.1 Senyals emeses pel múscul en contracció

- **Objectius de la pràctica:**

- Conèixer els instruments i mètodes d'estudi de la conducció d'impulsos en nervis perifèrics i de l'activitat elèctrica muscular.
- Efectuar un registre electromiogràfic durant la contracció muscular.
- Observar el patró d'activació de les unitats motores durant la contracció muscular.
- Aprendre el significat funcional i interpretar els paràmetres bàsics dels registres electrofisiològics del SNP.
- Obtenir senyals biològiques per tal de controlar una pròtesi robòtica.

- **Material:**

- Sistema de registre electrofisiològic
 - Bioamplificador diferencial (*Powerlab*®)
 - Ordinador (programa *Chart*®)
- Elèctrodes de superfície
- Gel conductor
- Cinta adhesiva, alcohol i cotó

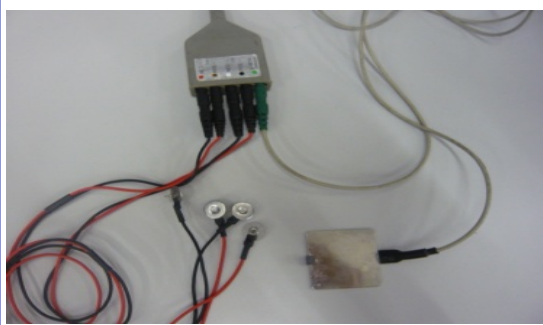


Imatge 80.

Cinta adhesiva, alcohol i cotó

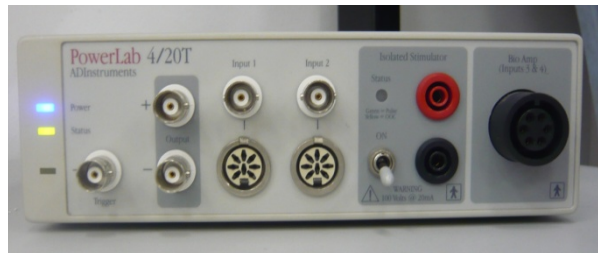
Imatge 81.

Gel conductor



Imatge 82.

Elèctrodes de superfície i placa de terra



Imatge 83.

Bioamplificador diferencial (Powerlab®)

- **Procediment:**

L'electromiografia consisteix en l'estudi de l'activitat elèctrica del múscul mitjançant el registre extracel·lular dels potencials d'acció de les unitats motores. Per realitzar un bon registre, és necessari examinar el múscul primerament en repòs per tal d'observar la possible presència d'activitat espontània. A continuació, s'enregistren les característiques dels potencials d'acció de les unitats motores (PAUM), és a dir, els potencials d'acció realitzats per les fibres musculars activades en la contracció d'un determinat múscul.

Els nostres registres captaven l'activitat de dos músculs antagònics; el flexor i l'extensor del carp. A continuació explicarem pas per pas la realització d'un registre.

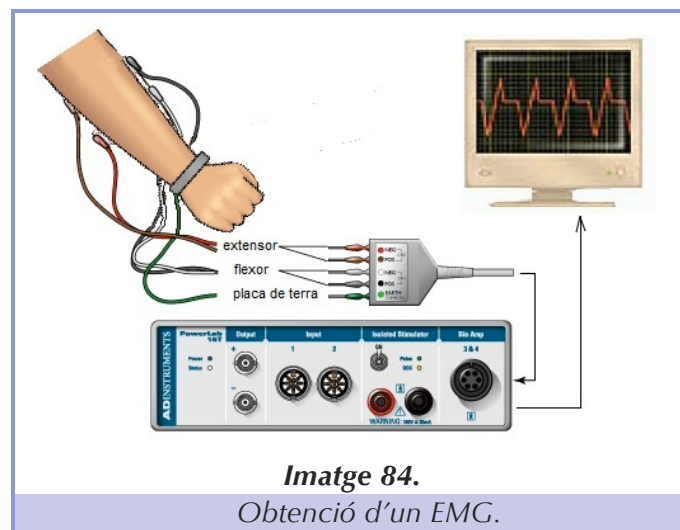
- Pas 1:

Abans de disposar els elèctrodes sobre la pell del subjecte, era necessari netejar la pell amb alcohol i posar gel conductor en cada elèctrode. La funció d'aquest gel és la d'evitar la impedància (espai entre la pell i l'elèctrode) i millorar la connectivitat.

Col·locàvem els elèctrodes al subjecte de tal manera que; el canal 1 corresponia a l'activitat del flexor i el canal 2 corresponia a la del extensor. Per detectar el lloc on havíem de situar l'elèctrode, palpàvem la superfície de l'avantbraç. Per a trobar el múscul flexor, flexionàvem el canell i notàvem com el flexor del carp augmentava el seu volum. Per a l'extensor seguïem el mateix



procés. Cada canal correspon a un cable que acaba en dos elèctrodes; un de positiu i un de negatiu. L'elèctrode positiu (de color negre) se situava just a sobre del múscul el qual estàvem enregistrant i l'elèctrode negatiu (de color vermell) se situava a prop del múscul examinat. Col·locàvem també la placa de terra. Aquesta placa es disposava al canell i era l'encarregada de normalitzar el *soroll ambiental*. Per mantenir els elèctrodes subjectes a la pell, utilitzàvem cinta adhesiva.



Un cop disposats tots els elèctrodes, els connectàvem a l'amplificador i enceníem el programa *Chart*®.

◦ Pas 2:

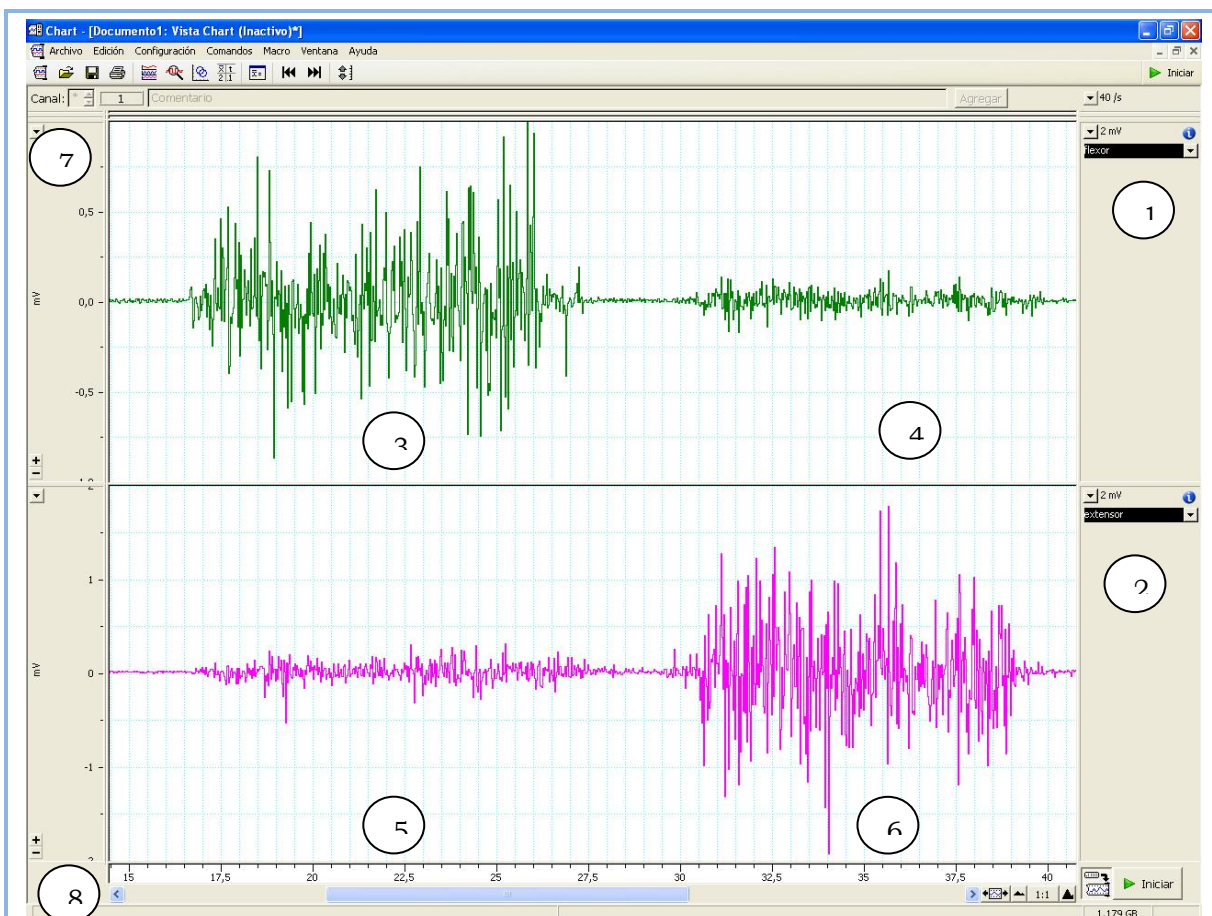
Com hem dit anteriorment, per a realitzar aquests registres era necessari obtenir l'activitat muscular de: els dos músculs en repòs, la contracció de cada múscul i del múscul antagònic durant aquesta contracció. Amb la qual cosa, al programa, obríem dos canals, un per a cada múscul i la seqüència de contraccions corresponia a la següent:

1. Relaxació d'ambdós músculs
 2. Contracció del flexor
 3. Contracció de l'extensor
 4. Contracció del flexor
 5. Contracció de l'extensor
- } Força normal
- } Força màxima



- 6. Contracció del flexor
 - 7. Contracció de l'extensor
- } Força amb obstacle
- 8. Relaxació d'ambdós músculs

Entre contracció i contracció fèiem uns segons de relaxació. Al contraure per exemple, el flexor, l'extensor també produïa activitat, que hem anomenat co-flexió, de la mateixa manera que succeïa amb la co-extensió produïda per el flexor al contraure l'extensor.



Imatge 85.

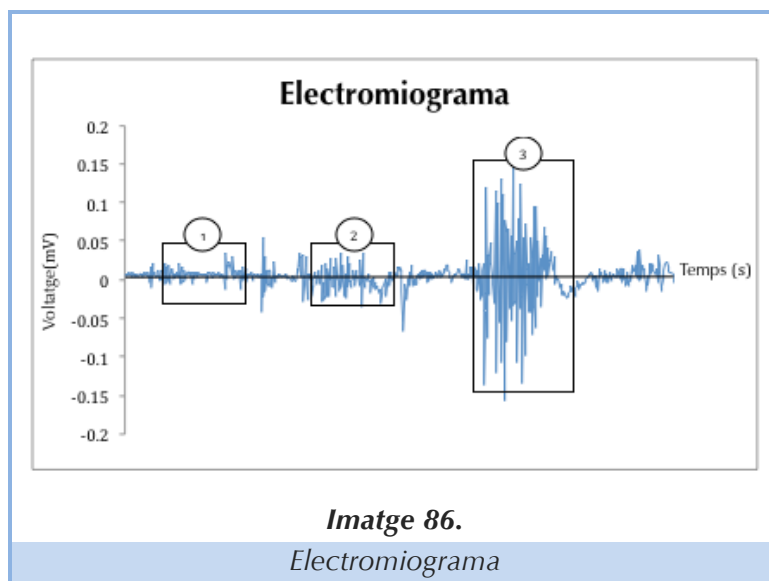
Electromiograma autèntic (1)Canal 1: múscul flexor, (2)Canal 2: múscul extensor, (3)Contracció del flexor, (4)Activitat del flexor en l'extensió, (5)Activitat de l'extensor en la flexió, (6)Contracció de l'extensor, (7)Escala de potencial elèctric (Voltatge), (8)Escala de temps

La imatge 72 reproduïx un moment determinat d'un registre vist des del programa que vam utilitzar durant les estades al laboratori. Aquest programa, el



Chart®, ens oferia la possibilitat d'encendre tants canals com volguéssim. Cada canal corresponia a un múscul. Us mostrem l'aspecte d'un electromiograma real:

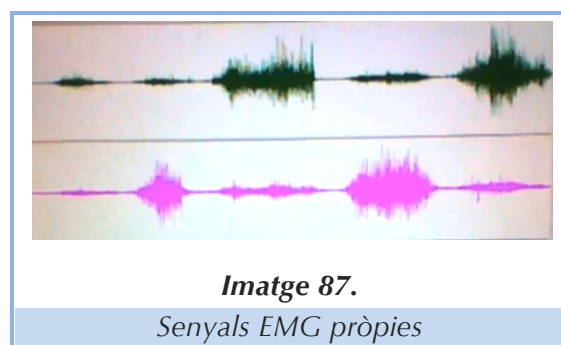
La imatge 73 mostra un dels primers registres EMG que vam realitzar durant l'experiència a la Universitat. Es tracta d'un registre de la contracció del flexor del carp. Podem observar que les contraccions no són gaire precises ja que, a mida que preniem experiència amb l'experimentació, millors eren els registres.



En la imatge, es poden diferenciar tres nivells de força, de menor a major, que estan enquadrats; (1) força normal, (2) força màxima sense obstacle i (3) força màxima amb obstacle. La diferència entre els nivells de força i les relaxacions és quasi nul·la degut al poc entrenament i a les distorsions causades pel moviment, el soroll ambiental i el mal contacte pell-elèctrode. A més, la correcta col·locació dels elèctrodes va comportar un temps d'aprenentatge.

• Resultat:

Durant l'Estada a la Universitat, també vam realitzar una sèrie de taules les quals, la seva finalitat era la de calcular un llindar que establís un valor per sobre del qual, mitjançant el programa informàtic de, s'activés la funció d'obrir la pinça i per sota del qual, es desactivés aquesta funció. Els registres pertanyen a les dues





components del grup. Trobem dos blocs principals; el corresponent a la flexió i el de l'extensió. Dins de cada bloc, s'hi diferencien els diferents tipus de força (els tres nivells esmentats anteriorment) i finalment es diferencien els músculs ja sigui en el moviment de contracció del múscul principal o el moviment antagònic.

Cada un dels valors que apareixen a la taula corresponen als valors més alts del moment de contracció. Com ja sabem, quan realitzem la flexió, el múscul que es contrau és el flexor, però a la vegada, l'extensor també realitza activitat. El mateix succeeix durant l'extensió amb el flexor, aleshores es pot observar que en el bloc de *flexió* l'activitat de l'extensor és l'activitat secundària, és a dir, aquella que s'ha produït durant la contracció del múscul antagònic.

Al final de les columnes del múscul en contracció, trobem una mitjana de tots els valors més alts corresponents a diferents registres. Aquesta mitjana és la que ens dona una idea del valor que hauríem d'establir com a llindar.

En negreta, trobem els valors màxims de l'activitat del múscul antagònic.

Tots els valors de les taules corresponen a valors registrats amb els elèctrodes, per tant, potencials d'acció de les fibres musculars. Les unitats d'aquests són mV.

Les taules són les que es mostren a les següents pàgines:



Subjecte 1 Dia 1		FLEXIÓ					
		Força normal		Força màxima		Força amb obstacle	
		Flexor	Extensor	Flexor	Extensor	Flexor	Extensor
Registre 1	0,02	0,02	0,08	0,02	0,25	0,05	
Registre 2	0,01	0,02	0,26	0,05	0,4	0,08	
Registre 3	0,08	0,03	0,16	0,06	0,35	0,07	
Registre 4	0,07	→ 0,06	0,16	0,06	0,26	0,1	
Registre 5	0,08	0,03	0,15	0,04	0,19	0,08	
MITJANA	0,052		0,162		0,29		

Valor màxim del múscul antagonic, en aquesta força

Subjecte 1 Dia 1		EXTENSIÓ					
		Força normal		Força màxima		Força amb obstacle	
		Extensor	Flexor	Extensor	Flexor	Extensor	Flexor
Registre 1	0,05	0,02	0,13	0,03	0,1	0,08	
Registre 2	0,1	0,02	0,11	0,09	0,09	0,05	
Registre 3	0,08	0,04	0,1	0,05	0,07	0,13	
Registre 4	0,1	0,03	0,13	0,03	0,1	0,18	
Registre 5	0,06	0,05	0,12	0,1	0,21	0,1	
MITJANA	0,078		0,118		0,114		

Subjecte 2 Dia 1		FLEXIÓ					
		Força normal		Força màxima		Força amb obstacle	
		Flexor	Extensor	Flexor	Extensor	Flexor	Extensor
Registre 1	0,1	0,03	0,21	0,04	0,23	0,09	
Registre 2	0,3	0,05	0,28	0,06	0,35	0,05	
Registre 3	0,14	0,03	0,26	0,1	0,45	0,08	
Registre 4	0,12	0,03	0,2	0,06	0,36	0,06	
Registre 5	0,09	0,02	0,22	0,04	0,21	0,06	
MITJANA	0,15		0,234		0,32		

Subjecte 2 Dia 1		EXTENSIÓ					
		Força normal		Força màxima		Força amb obstacle	
		Extensor	Flexor	Extensor	Flexor	Extensor	Flexor
Registre 1	0,13	0,06	0,15	0,06	0,19	0,07	
Registre 2	0,16	0,04	0,2	0,07	0,2	0,08	
Registre 3	0,15	0,05	0,08	0,2	0,2	0,07	
Registre 4	0,17	0,04	0,17	0,05	0,22	0,1	
Registre 5	0,12	0,03	0,18	0,06	0,17	0,07	
MITJANA	0,146		0,156		0,196		



Subjecte 1 Dia 2		FLEXIÓ					
		Força normal		Força màxima		Força amb obstacle	
		Flexor	Extensor	Flexor	Extensor	Flexor	Extensor
Registre 1	0,13	0,02	0,28	0,04	0,81	0,09	
Registre 2	0,1	0,02	0,19	0,03	0,63	0,12	
Registre 3	0,16	0,02	0,4	0,04	0,71	0,11	
Registre 4	0,05	0,02	0,3	0,02	0,83	0,09	
Registre 5	0,08	0,02	0,11	0,02	0,5	0,1	
MITJANA	0,104		0,256		0,696		

Subjecte 1 Dia 2		EXTENSIÓ					
		Força normal		Força màxima		Força amb obstacle	
		Extensor	Flexor	Extensor	Flexor	Extensor	Flexor
Registre 1	0,17	0,06	0,19	0,09	0,21	0,1	
Registre 2	0,2	0,05	0,33	0,07	0,17	0,08	
Registre 3	0,13	0,08	0,2	0,07	0,28	0,08	
Registre 4	0,1	0,03	0,15	0,06	0,11	0,07	
Registre 5	0,12	0,08	0,11	0,08	0,15	0,09	
MITJANA	0,144		0,196		0,184		

Subjecte 2 Dia 2		FLEXIÓ					
		Força normal		Força màxima		Força amb obstacle	
		Flexor	Extensor	Flexor	Extensor	Flexor	Extensor
Registre 1	0,1	0,04	0,22	0,06	0,37	0,06	
Registre 2	0,12	0,04	0,28	0,06	0,36	0,08	
Registre 3	0,09	0,02	0,17	0,03	0,41	0,1	
Registre 4	0,08	0,04	0,21	0,06	0,45	0,15	
Registre 5	0,09	0,03	0,28	0,08	0,38	0,08	
MITJANA	0,096		0,232		0,394		

Subjecte 2 Dia 2		EXTENSIÓ					
		Força normal		Força màxima		Força amb obstacle	
		Extensor	Flexor	Extensor	Flexor	Extensor	Flexor
Registre 1	0,11	0,02	0,21	0,05	0,2	0,04	
Registre 2	0,11	0,02	0,24	0,05	0,14	0,06	
Registre 3	0,07	0,01	0,14	0,03	0,2	0,07	
Registre 4	0,1	0,02	0,2	0,03	0,15	0,05	
Registre 5	0,08	0,02	0,13	0,04	0,25	0,05	
MITJANA	0,094		0,184		0,188		



Subjecte 1 Dia 3		En flexió					
		Força normal		Força màxima		Força amb obstacle	
		Flexor	Extensor	Flexor	Extensor	Flexor	Extensor
Registre 1	0,08	0,02	0,27	0,02	0,35	0,16	
Registre 2	0,06	0,03	0,19	0,03	0,57	0,14	
Registre 3	0,07	0,02	0,17	0,04	0,43	0,15	
Registre 4	0,11	0,02	0,14	0,04	0,47	0,15	
Registre 5	0,08	0,01	0,1	0,02	0,56	0,15	
MITJANA	0,08		0,174		0,476		

Subjecte 1 Dia 3		En extensió					
		Força normal		Força màxima		Força amb obstacle	
		Extensor	Flexor	Extensor	Flexor	Extensor	Flexor
Registre 1	0,11	0,03	0,15	0,04	0,16	0,03	
Registre 2	0,12	0,02	0,15	0,03	0,15	0,03	
Registre 3	0,05	0,03	0,17	0,03	0,2	0,05	
Registre 4	0,11	0,02	0,12	0,03	0,19	0,05	
Registre 5	0,09	0,03	0,12	0,03	0,17	0,05	
MITJANA	0,096		0,142		0,174		

Subjecte 2 Dia 3		En flexió					
		Força normal		Força màxima		Força amb obstacle	
		Flexor	Extensor	Flexor	Extensor	Flexor	Extensor
Registre 1	0,08	0,02	0,2	0,08	0,46	0,06	
Registre 2	0,1	0,02	0,3	0,09	0,32	0,06	
Registre 3	0,09	0,02	0,27	0,03	0,47	0,09	
Registre 4	0,12	0,02	0,2	0,05	0,44	0,05	
Registre 5	0,14	0,01	0,29	0,1	0,43	0,09	
MITJANA	0,106		0,252		0,424		

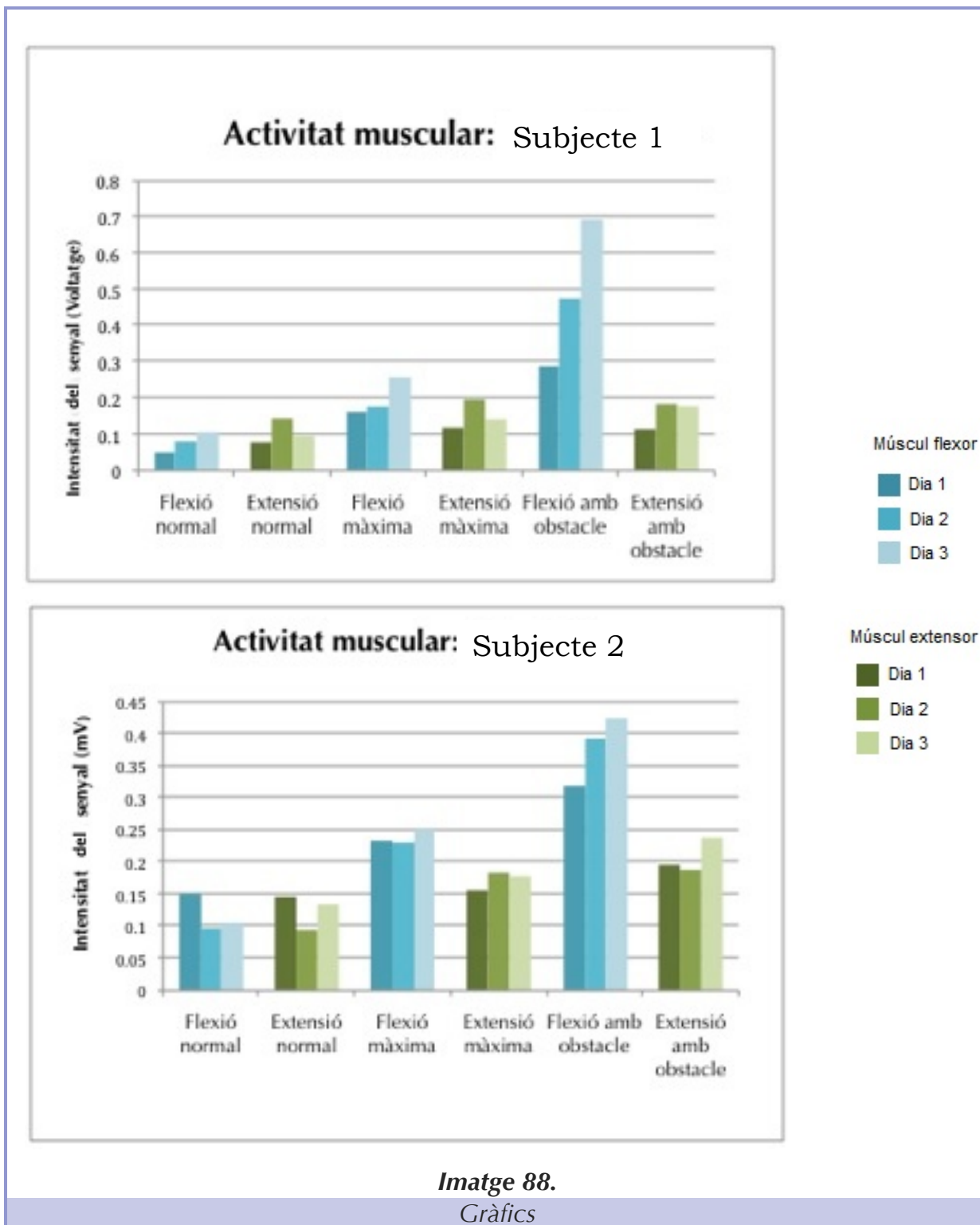
Subjecte 2 Dia 3		En extensió					
		Força normal		Força màxima		Força amb obstacle	
		Extensor	Flexor	Extensor	Flexor	Extensor	Flexor
Registre 1	0,11	0,02	0,22	0,03	0,27	0,04	
Registre 2	0,14	0,07	0,16	0,03	0,24	0,05	
Registre 3	0,14	0,02	0,18	0,03	0,22	0,03	
Registre 4	0,11	0,01	0,13	0,02	0,22	0,04	
Registre 5	0,17	0,03	0,2	0,05	0,24	0,07	
MITJANA	0,134		0,178		0,238		

Un cop enllestides les tres taules que vam realitzar, vam fer gràfics amb el progrés dels registres al llarg dels dies. En els gràfics de barres es mostren els valors mitjans per a cada múscul, dia i persona. El que volem comprovar és si l'entrenament fa augmentar la força, i per tant, els senyals musculars registrats.



L'augment de força és directament proporcional a l'augment de la intensitat de la senyal.

Els gràfics són els següents:





En aquests gràfics es vol posar de manifest la millora dels registres quan hi ha entrenament. En el cas del subjecte 1, els valors del primer dia són més baixos que els altres. És veu clarament com ha millorat al realitzar més registres. En canvi, pel que fa els altres dos dies, no hi ha hagut millora, ja que hi han valors més alts en el segon dia que en el tercer. També observem, que amb el flexor el registre ha millorat mentre que amb l'extensor ha passat el que acabem de comentar.

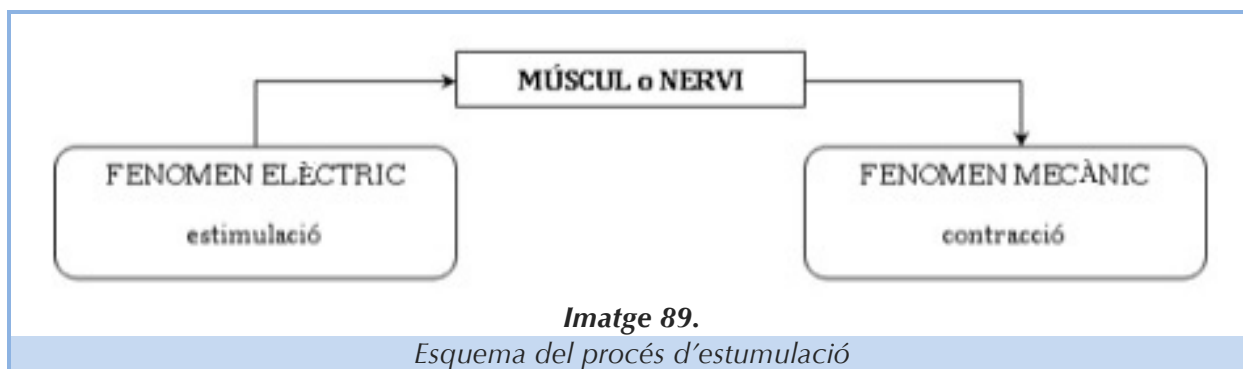
En el cas del subjecte 2, els resultats són més irregulars. Quasi no hi ha hagut millora. Això, segurament es deu a què el poc entrenament no ha donat resultats. Per a veure una millora considerable l'entrenament ha de ser constant i llarg, nosaltres només vam disposar d'uns quants dies al llarg d'un mes.

Finalment, el llindar escollit ha sigut 0,39mV. Aquest, s'ha establert a partir d'aquests gràfics tenint en compte només la força amb obstacle i que l'usuari amputat requerirà d'un temps d'entrenament força ampli. A més, el llindar és força alt per evitar errors i que el moviment no s'activi quan no ho ha de fer.

S'adjunten dos vídeos que reproduïen com fèiem els electromiogrames durant l'estada al laboratori al DVD que hem incluit al final del treball. Un és d'un canal, només el flexor (*sEMG un canal*). L'altre és de dos canals, flexor i extensor (*sEMG dos canals*).

10.2.2 Captació de senyals del múscul en estimulació artificial

L'estimulació artificial, mèdicament s'utilitza per comprovar el grau de lesió dels nervis en persones que pateixen lesions medul·lars. L'estimulació és un fenomen elèctric que quan actua sobre un múscul o un nervi en concret, desencadena un fenomen mecànic, és a dir, la contracció d'aquest múscul o nervi. Tal i com es mostra en la imatge 70.



- **Objectius de la pràctica:**

- Conèixer els instruments i mètodes d'estudi de la conducció d'impulsos en nervis perifèrics i de l'activitat elèctrica muscular.
- Efectuar el procediment d'estudi de la conducció nerviosa.
- Aprendre el significat funcional i interpretar els paràmetres bàsics dels registres electrofisiològics dels nervis sensorials.
- Comprovar les variacions de la velocitat de conducció dels nervis.
- Comprovar l'existència de períodes refractaris en la producció d'impulsos dels nervis.
- Calcular i interpretar els paràmetres bàsics dels registres electrofisiològics del SNP.

- **Material:**

- Aparell d'electromiografia:
 - Bioamplificador diferencial (*Powerlab*®)
 - Ordinador (programa *Scope*®)
 - Estimulador bioelèctric
- Elèctrodes de superfície, de disc.
- Gel conductor
- Cinta adhesiva, alcohol i cotó

- **Procediment:**

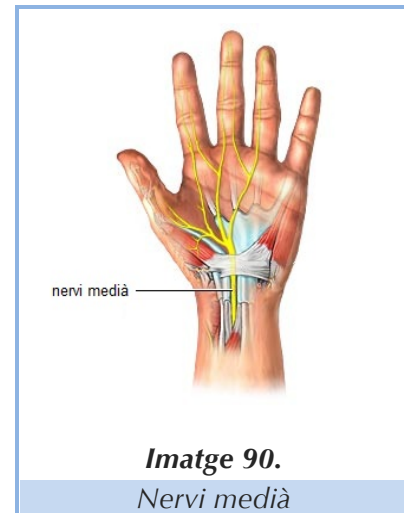
L'objectiu de la pràctica d'estimulació és determinar l'activitat del nervi mitjançant la contracció del múscul (o del nervi en si) mitjançant sistemes estimuladors. En aquesta pràctica utilitzem un elèctrode estimulador el qual genera impulsos nerviosos. També col·loquem elèctrodes de superfície, en el nostre cas, per tal d'observar les respostes del múscul a l'estimulació aplicada.



Aquest tipus d'estimulacions s'utilitzen freqüentment per estimular zones determinades (nervis o músculs) per determinar si l'individu rep informació a mig camí, és a dir, com si hi hagués la mà encara.

En el nostre cas, vam realitzar estimulacions superficials, és a dir, utilitzàvem un elèctrode de superfície per a l'estimulació del nervi medià per tal d'observar la seva activitat.

Els elèctrodes de superfície es col·loquen sobre la pell per sobre del trajecte anatòmic del nervi medià (nervi explorat). S'apliquen estímuls elèctrics individuals de breu duració (0,1 mseg) començant per una baixa duració i incrementant-la progressivament fins que el potencial d'acció nerviós compost (PNAC) arriba a un nivell màxim que no augmenti amb estímuls mes intensos.



◦ Pas 1:

Abans de disposar els elèctrodes sobre la pell del subjecte, era necessari netejar la pell amb alcohol i posar gel conductor en els elèctrodes de superfície i en el de disc. Col·loquem la placa de terra al canell. Els elèctrodes de superfície es disposaven sobre la zona a estimular, és a dir, en el trajecte del nervi medià, separats uns 2cm entre ells; l'elèctrode de disc (l'estimulador) es situava al colze i la placa de terra es disposava al canell.

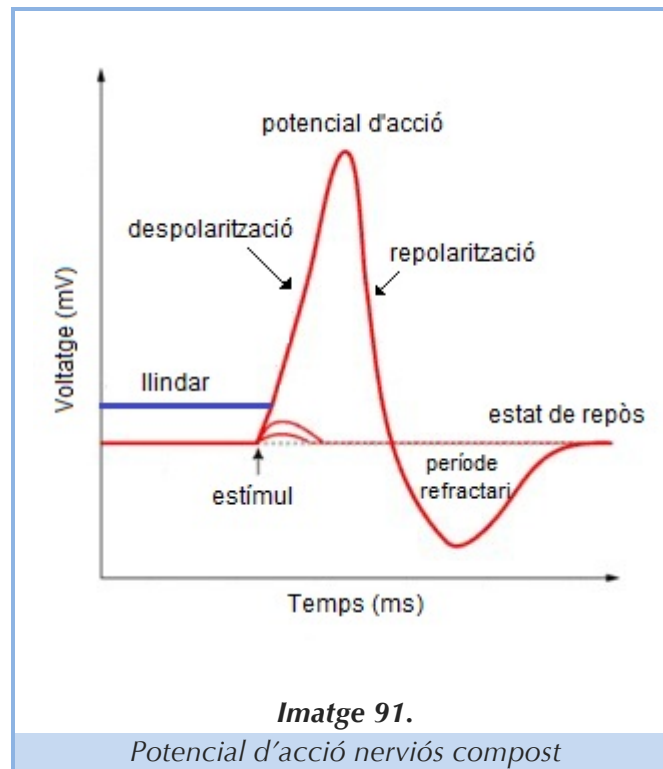
◦ Pas 2:

Un cop col·locat tot material al seu lloc, enceníem el programa de l'ordinador i amb aquest, definíem la durada de l'estimulació i la intensitat de la càrrega elèctrica que volíem subministrar al múscul (el voltatge). Aleshores, quan tot estava preparat, iniciàvem el programa i aquest despenia una càrrega a través de l'elèctrode de disc (l'estimulador) llur funció era contraure artificialment els dits i els músculs de manera que els elèctrodes col·locats en el trajecte del compartiment del nervi medià enregistraven l'activitat realitzada per la resposta a l'estimulació.

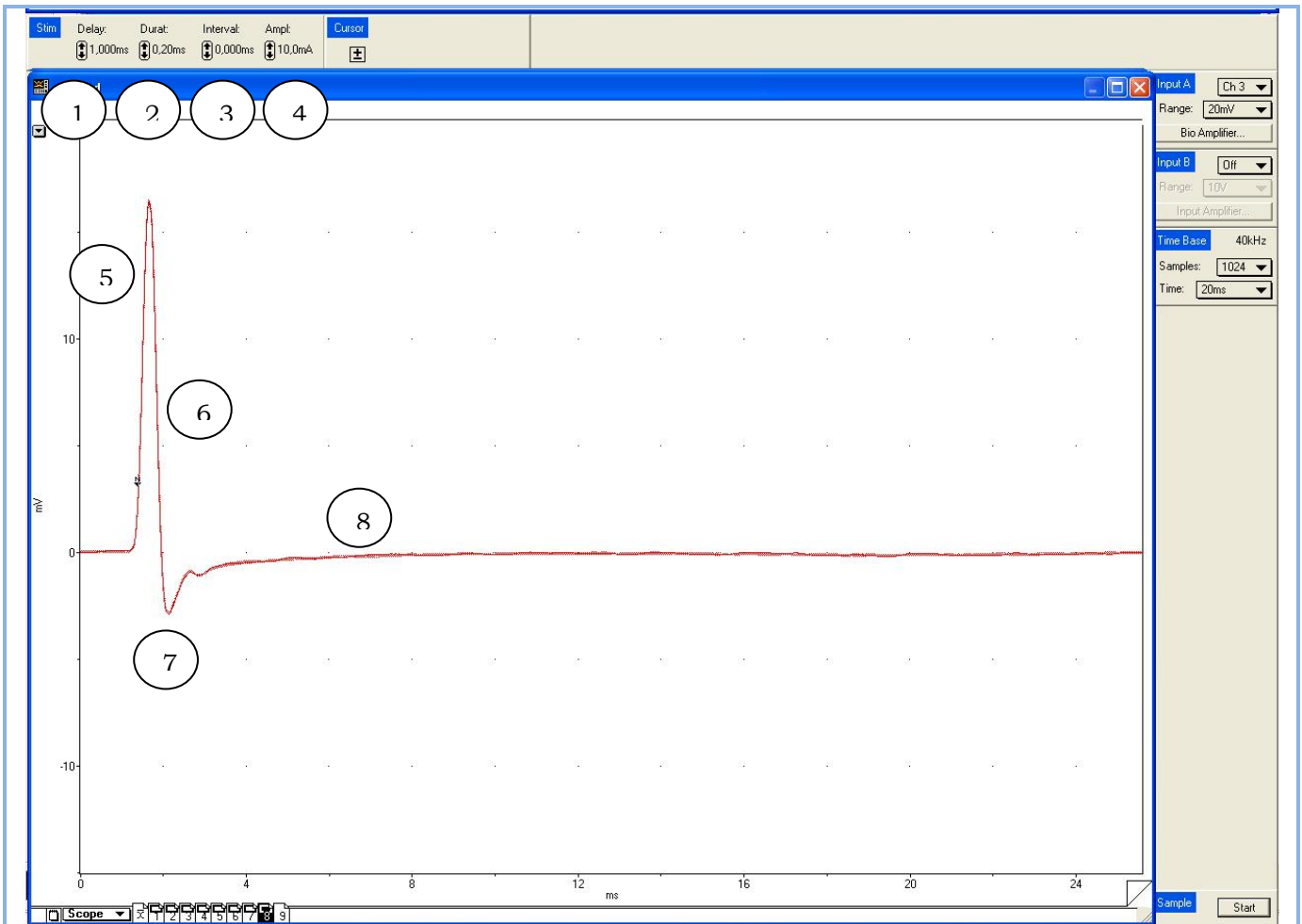


Com hem dit anteriorment, començàvem aplicant baixes intensitats de càrrega i les anàvem augmentant poc a poc.

La representació gràfica dels resultats tenia l'aspecte representat en la imatge 74. En aquest esquema, observem que per a què es doni un potencial d'acció, és necessari superar un llindar per sobre del qual es produeix una despolarització i a l'arribar PANC (Potencial d'acció nerviós compost) on els estímuls no augmenten d'intensitat, torna a polaritzar-se fins a arribar al període refractari. Aquest període marca l'interval durant el qual és impossible desencadenar un segon potencial d'acció. Quan finalment les cèl·lules recuperen els seus estats inicials, tornen a l'estat de repòs.



A continuació presentem una imatge que reproduïx un moment determinat d'un registre vist des del programa que vam utilitzar durant les estades al laboratori. Aquest programa, el *Scope*[®], ens oferïa la possibilitat de regular el potencial elèctric (voltatge) i la durada de l'estímul. A continuació us mostrem l'aspecte d'un potencial d'acció compost produït per una estimulació real:



Imatge 92.

Potencial d'acció nerviós (1)Retard en començar l'estimulació, (2)Duració de l'estimulació, (3)Interval entre cada estímul, (4)Corrent elèctric aplicat en l'estímul, (5)Despolarització, (6)Repolarització, (7)Període refractari, (8)Repòs. L'eix d'abscisses correspon al temps (segons) i l'eix d'ordenades correspon al voltatge (mV).

Durant aquesta estimulació, el subjecte va estar sotmès a un tren d'impulsos és a dir, a molts estímuls seguits (vuit estímuls en total). A la imatge X observem un PANC on no es distingeixen diferències entre aquests diferents estímuls degut a que l'interval entre aquests era nul.

S'adjunta un vídeo que reproduïx com fèiem l'estimulació durant l'estada al laboratori (*Estimulació Artificial*) al DVD que hem inclòs al final del treball.



11. Programació d'una pròtesi mioelèctrica

11.1 Inicis a la programació

El *software* utilitzat per a crear aquest programa ha estat el BorlandC, utilitzat per a programar en llenguatge C. Hem triat el llenguatge C perquè és un dels més estandarditzats, tot i que amb la nova introducció de millores d'aquest com és el cas del C++ o el C *Sharp* ha quedat obsolet i apartat, tot i ser la base de molts dels llenguatges de programació actual.

També cal destacar que, des d'un primer moment, vam intentar programar en C ja que és el llenguatge que estudiem a l'escola, i era l'únic que podíem posar en pràctica més fàcilment i ràpidament perquè ja disposàvem d'uns coneixements bàsics previs.

Tot i això, en el transcurs de la creació del programa ens ha estat necessari aprendre aspectes de la programació que d'altra manera mai haguéssim ni tan sols sabut que existien. Ens ha calgut un aprenentatge previ ràpid i intensiu, aconseguit tant de llibres com de professors de la mateixa escola, com el nostre propi tutor personal.

A més, el temps va requerir que apliquéssim directament els conceptes al programa que estàvem creant, de manera que vam haver de practicar sobre la mateixa superfície d'estudi.

11.2 Arxiu de dades a analitzar

Abans de començar a descriure el programa, cal primer explicar com és l'arxiu que estem utilitzant. A continuació es veu una foto d'una de les mostres que tenim:



```
Interval= 0,025 s
ExcelDateTime= 4,0438708810775461e+004 17/09/2010 17:00:41,251
TimeFormat= StartOfBlock
ChannelTitle= flexor
Range= 2,000 mv
0,0 -0,009
0,025 -0,006
0,05 -0,003
0,075 0,008
0,1 0,001
0,125 -0,006
0,15 0,005
0,175 0,012
0,2 0,005
0,225 -0,013
0,25 0,005
0,275 0,006
0,3 0,001
0,325 -0,008
0,35 0,004
0,375 0,011
0,4 -0,002
0,425 -0,008
0,45 0,001
0,475 0,006
0,5 -0,001
0,525 -0,013
0,55 0,005
0,575 0,012
0,6 -0,002
0,625 -0,004
0,65 0,008
0,675 0,011
0,7 -0,001
0,725 -0,002
0,75 0,006
0,775 0,015
0,8 0,002
0,825 -0,010
0,85 -0,000
0,875 0,010
```

Arxiu wei.txt, document de text

Aquest és un dels arxius de mostra que hem aconseguit mitjançant la captació dels impulsos nerviosos. Com es pot comprovar, aquest ens mostra diverses dades:

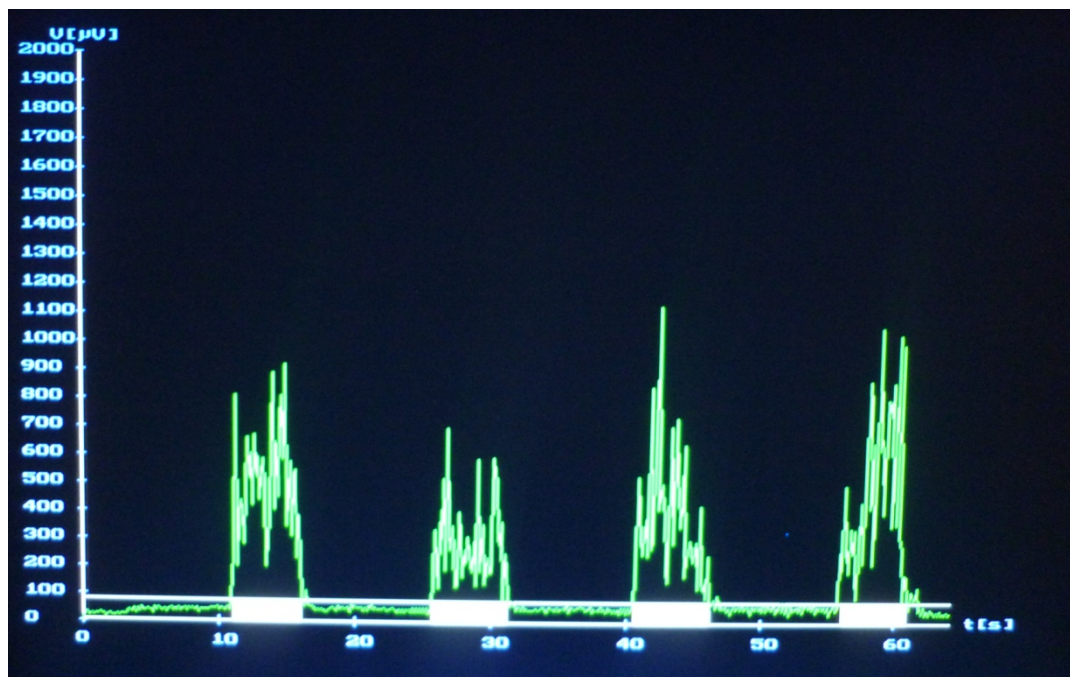
- L'interval entre mostres (*Interval*). En aquest cas, 0.025 s o 25 ms
- El moment de creació de l'arxiu (*ExcelDateTime*). Aquí, el 17 de setembre a les 5 de la tarda.
- El punt des del qual comença a comptar el temps (*TimeFormat*). En aquest arxiu, des que comença a emmagatzemar informació (*StartOfBlock*



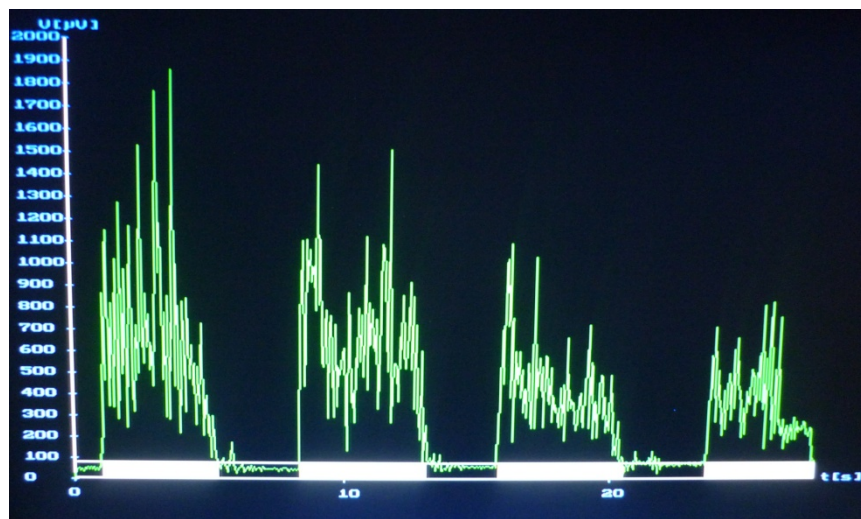
- El canal del qual s'ha fet la mostra (*ChannelTitle*). És una mostra del múscul flexor.
- El rang màxim de voltatge que guardarà l'arxiu (*Range*). Hem posat un màxim de 2 mV.

Com es pot observar, sota aquesta informació hi ha dues columnes. En la de l'esquerra, es mostra el temps en què s'ha agafat la dada, suposant en aquest cas que l'inici de l'arxiu correspon al temps 0,00. En la de la dreta, es mostra el voltatge rebut en aquest instant de temps. D'aquesta manera, guardem cada voltatge amb l'instant que li correspon, per a poder més tard utilitzar-los si cal.

11.3 Resultat final del programa



Com es pot observar en la imatge, el resultat final d'aquest programa és un gràfic on es mostren els senyals ja classificats i escalats de manera que el voltatge es mostra en l'eix d'ordenades, i té uns valors màxims i mínims fixats (de 0 a 2000 μV), mentre l'eix d'abscisses mostra l'instant de cada mostra. Aquest eix es va escalant depenent de la durada d'aquest arxiu de dades. Aquest en concret que es mostra a la imatge superior tenia una durada de 64,25 s, i comptant que marquem els instants amb un interval de 10 s. Fixem-nos en un arxiu diferent:



wei2.c

Com podem observar, aquest segon arxiu de mostres té una durada inferior al de la primera imatge, concretament 27,94 s, de manera que podem comprovar que l'escalatge es realitza satisfactòriament. El mateix passa amb els voltatges, observem que el marge de longitud d'ona que hem marcat (2000 μV) és suficient per a mostrar tots els valors d'ambdós arxius sense que cap surti de la pantalla, i tots dos quadren d'acord amb la durada i la quantitat de píxels de la pantalla que utilitzem, també marcats prèviament.

Pel que fa al llindar, observem que és la línia blanca que s'observa prop dels 100 μV , i que cada cop que els voltatges superen el llindar durant un temps determinat, aquesta franja durant la qual el llindar es veu superat es marca de blanc per a que qui observi el gràfic pugui identificar clarament els espais de temps en què la pròtesi hauria de realitzar moviment.

11.4 Descripció del programa

11.4.1 Utilitzant un arxiu bloc de notes (.txt)

Primer de tot, cal declarar la variable que guardarà l'adreça des d'on accedir a l'arxiu, també anomenada **apuntador a arxiu**.

```
FILE *arxiu;
```



Ho podem comprovar en aquesta sentència, en que l'asterisc ens mostra que guardarà adreces i l'antecedent FILE confirma que està apuntant a un arxiu.

Un cop declarada la variable, cal crear unes línies de codi que comprovin si l'arxiu es pot obrir de manera satisfactòria, en cas contrari cal avisar a l'usuari del programa que no ha estat possible l'acció. Aquesta comprovació s'efectua en les línies següents:

```
if((arxiu=fopen("c:\\wei.txt","r"))==NULL){
    printf("unable to open");
    getch();
    exit(1);
}
```

El if el que fa és indicar una condició que si i només si es compleix accedirà a l'acció que hi té a dins. En aquest cas, la condició que imposem és que s'obri l'arxiu des de la ruta especificada. I, si aquest arxiu no es troba en aquesta ruta, que la variable obtingui el valor NULL i així la condició es compleixi i entri dins de l'if. Cal esmentar aquesta "r" que hi ha a continuació de la ruta, que ens indica que el que volem és llegir l'arxiu, no escriure-hi ni cap altra cosa.

Si no troba l'arxiu i entra dins l'if, es printa a la pantalla el missatge d'error que diu que és incapaç d'obrir l'arxiu perquè l'usuari se n'assabenti. Per últim, surt del programa retornant 1, cosa que significa que el programa ha finalitzat d'una manera fora del normal.

També cal saber que, així com cal obrir l'arxiu per a poder utilitzar-lo, cal tancar-lo amb la línia de codi següent:

```
fclose(arxiu);
```

I cal esmentar l'última funció necessària per a la creació del programa, que ens permet analitzar el contingut d'aquest arxiu caràcter a caràcter. Ho fem amb la sentència:

```
h=fgetc(arxiu);
```

En què el caràcter llegit es guarda en la variable **h** creada per a poder utilitzar-se per a allò que es necessiti. Cada cop que es crida a aquesta funció, llegeix el següent caràcter pel que s'ha quedat.



Pel que fa al programa en general, tot ell depèn de l'arxiu: quan aquest arriba al seu final, el programa ha d'acabar. I per a identificar el final de l'arxiu, utilitzem la identificació:

```
if(h==EOF){
```

En el moment en què s'arribi al final de l'arxiu, h guardarà el valor EOF, abreviació de End Of File (Final de l'arxiu), i indicarà així que l'arxiu s'ha acabat.

Problemes

El primer pas que havíem d'aconseguir era que el nostre programa llegís un arxiu ASCII per a poder treballar amb ell. Era una branca que mai havíem tocat, i per tant vam demanar ajuda per aprendre'n. Pels voltants de maig de 2010, vam rebre una explicació sobre les principals funcions d'obertura d'un arxiu, així com la manera de poder escriure-hi a dins o copiar qualsevol fragment d'aquest.

11.4.2 Destriant la informació necessària

Un cop obert l'arxiu que utilitzarem per a treballar, cal classificar la informació que conté segons si ens és necessària o no.

En aquest cas, la informació que desitjàvem guardar es trobava a l'arxiu de manera seqüencial, de tal manera que només calia indicar en quin moment havia de començar a emmagatzemar. Això ho classificàvem en les línies:

```
if(h=='m'){
    h=fgetc(arxiu);
    if(h=='v'){
        h=fgetc(arxiu);
        if(h=='\n'){
```



En aquests arxius, la informació necessària comença després d'escriure la paraula "mV". Per tant, creem un if que comprovi si apareix el caràcter **m** per a començar a guardar. Però no n'hi ha prou, perquè cal contemplar els casos en què apareguin altres **m** en l'arxiu que no estiguin seguides del caràcter 'V', de manera que comprovem també la **V** que hauria de venir a continuació. Com a mesura de seguretat extra, comprovem que vagi seguit d'un salt de línia ("\n"). Totes aquestes comprovacions les fem mitjançant la condició if, que inclou la funció fgetc explicada en l'apartat anterior.

11.4.3 Inicialitzant els vectors i matrius

Per a emmagatzemar informació dins els vectors i matrius necessaris pel programa, cal primer buidar-los per a assegurar-nos que cap mena de dada no desitjada no entorpirà la nostra feina. La inicialització es produeix en les línies següents:

```
for (j=0; j<MAX2; j++){  
    v[j]='\0';  
}
```

Aquí observem com la funció **for** crea un bucle que fa que la variable **j** vagi augmentant en una unitat fins a arribar a un determinat valor. Així, anem recorrent el vector posició a posició i l'anem omplint de ("\0"), que és com el buit en llenguatge de programació. Així ja el tenim llest per a treballar-hi.

Per les matrius, la inicialització és una mica diferent. Vegem-ne primer la declaració:

```
float mat[2][2577];
```

Aquesta declaració ens fa veure que la matriu guardarà *floats*, és a dir valors numèrics amb decimals. S'anomenarà *mat*, i els valors entre claudàtors signifiquen les **dimensions**, per tant podem veure que aquesta matriu serà bidimensional, i la **longitud** dels vectors que contindrà. Veiem per tant, que tindrà dues dimensions i 2577 valors per a cada dimensió.

Veiem ara la inicialització:



```
for (k=0, contador=0; k<MAX; contador++){  
    mat [contador%2] [k]='\0';  
    if ((contador%2)==1){  
        k++;  
    }  
}
```

Observem de nou un bucle, aquest cop amb dues variables. La variable **contador**, que anirà augmentant per cada repetició, definirà al dividir-se entre 2, si ens referim a una dimensió o a l'altra, depenent del residu d'aquest quocient. Cal destacar que el quocient entre 2 només pot donar de residu 0 o 1, i aquestes són les dues possibles dimensions. En el moment en què la posició s'ompli de \0 per a les dues dimensions, la variable **k** augmentarà en una unitat per a passar a la següent posició, i així successivament fins a arribar al final de la matriu.

Problemes

Principalment ens els hem trobat a l'inici, ja que no sabíem res sobre el funcionament d'una matriu. Però tant aviat com en vam adquirir els coneixements bàsics per mitjà de la recerca, vam aplicar el que ja sabíem i no va ser de gran dificultat.

11.4.4 Separar cada dada de la resta de l'arxiu

Un cop creat aquest filtre, estem segurs que si el traspassa completament és perquè comença la informació important. Continuen les línies de codi següent:



```
do{
    h=fgetc(arxiu);
    //Guardem la dada sempre que vagi seguida d'un "\t" o "\n"
    if(h!='\n' && h!='\t'){
        if(h==EOF){
            getch();
            break;
        }
        v[j]=h;
        j++;
    }
}while(h!='\n' && h!='\t');
```

Ara, per tant, toca començar a emmagatzemar cada caràcter en un vector, anomenat en aquest cas **v**, fins que arribi a un salt de línia (“\n”) o a un tabulador (“\t”). Qualsevol d’aquestes dues ens indicarà que la dada ha acabat, i per tant ja la podem analitzar. Cal contemplar també el cas en què la dada sigui **EOF** (fi de l’arxiu), moment en què caldrà sortir del bucle per a anar fins al final del programa.

Anem guardant cada caràcter en la variable **h**, i anem comprovant que no sigui salt de línia o tabulador. Si no ho és, i tampoc és EOF, guardem el caràcter en el vector **v**, en la posició marcada per la variable **j**, que començarà en 0 (inici del vector) i anirà augmentant una unitat cada cop que s’emmagatzemi alguna cosa en la posició actual. D’aquesta manera, la dada s’anirà guardant caràcter a caràcter dins el vector, fins a formar una **cadena de caràcters** que serà la dada completa.

Aquesta operació s’ha d’anar repetint mentre la **h**, no sigui tabulador ni salt de línia. Imposem aquesta condició mitjançant l’operador **do-while()**.

Problemes

Aquest apartat va ser probablement un dels que més ens va costar de fer, ja que la idea de com separar una dada de la resta de l’arxiu semblava gairebé inassolible. Era una idea molt abstracta, difícil d’explicar mitjançant el codi de programació. A principis de juny, durant les estades a l’empresa del programa ARGO organitzat per la UAB vam aconseguir crear un esborrany de la idea, i vam trigar dies a donar-li la forma per a que fes exactament el que nosaltres desitjàvem.



11.4.5 Convertint la dada de caràcter a nombre

Un dels següents passos importants a realitzar és aconseguir que aquesta dada que hem separat de la resta de l'arxiu, i que el programa reconeix com a *char*, en un nombre amb el qual es pugui operar, és a dir un *float*. Per a això, cal primer saber que la coma que separa els decimals, en programació, s'escriu com en les calculadores: amb un punt. Per tant, cal substituir en la *string* (cadena de caràcters) totes les comes per punts. Ho veiem en les línies següents:

```
for (j=0; j<MAX2; j++){  
    if(v[j]==' ,') v[j]='.';  
}
```

Aquí, ens trobem amb un *for* que va recorrent cada posició del vector, i per tant cada caràcter fins a trobar una coma(,), que substituirà pel caràcter punt(.). Així, ja tenim la *string* preparada per a convertir en nombre. Això ho podem fer mitjançant la següent línia:

```
num=atof(v);
```

Aquí, el vector *v*, que és la *string*, és convertida a un sol nombre *float*, que es podrà utilitzar com a tal.

11.4.6 Emmagatzemant les dades

Per a utilitzar les mostres que rebem, necessitem convertir tots els nombres negatius en positius. El com, s'explica en les següents línies:

```
if(num<0) num=absolut(num);
```

Tot seguit emmagatzemem aquests nombres al seu lloc corresponent:

```
mat [contador%2] [k]=num;  
if(h=='\n') k++;
```

Aquí, podem veure com anem emmagatzemant els nombres transformats en l'apartat anterior en la matriu. Aquesta matriu té dues dimensions: la dimensió 0, on s'emmagatzema cadascun dels valors de voltatge que es recullen; i la dimensió 1, on es fa el mateix amb els valors de temps corresponents. La dimensió va



canviant conforme la variable **contador** va augmentant, de manera que hi hagi una alternança. El valor de **k**, al seu moment, indica la posició de la matriu en què s'escriurà.

El següent **if** el que fa és passar a la següent posició de la matriu cada cop que troba a l'arxiu un salt de línia, i per tant una mostra diferent. En aquesta nova posició serà on s'emmagatzemaran els propers valor de voltatge i temps respectivament. I així successivament, fins que s'hagin emmagatzemats tots els valors de voltatge en una dimensió, i els seus valors de temps respectius en l'altra dimensió.

11.4.7 Inicialització de la targeta gràfica

El primer pas per a poder iniciar la programació del gràfic, que ens mostrarà els valors de tensió en funció del temps de les taules de mostres que vam extreure, és la inicialització de la targeta gràfica del BorlandC. Aquesta s'inicialitza de la següent manera:

```
int gdriver=DETECT, gmode,errorcode;
initgraph(&gdriver,&gmode, "C:\\\\BORLANDC\\\\BGI");
errorcode = graphresult();

    if (errorcode != grok){
        printf("Graphics error: %s\\n", grapherrormsg(errorcode));
        printf("Press any key to halt:");
        getch();
        exit(1);
    }
```

En la primera línia de codi es pot veure la variable *integer* "**gdriver**". Aquesta té la funció de detectar automàticament ("**=DETECT**") les característiques de la targeta gràfica, ja que aquesta pot variar depenent de l'ordinador. Seguidament, mostrem l'adreça on es troben els *drivers* de les targetes gràfiques i altres elements gràfics, la llibreria **graphics.h**, situada en aquest cas en "C:\\\\BORLANDC\\\\BGI". L'últim pas és comprovar que la targeta gràfica no estigui danyada o es produeixi un error, desant el resultat de la cerca del *driver* de la gràfica en la variable **errorcode**. En aquest cas, es compilarien les línies de codi de l'**if** i ens printaria un missatge predefinit per pantalla que ens fa saber quin error s'ha produït. Això ho fa la funció **grapherrormsg()**. Per últim, ens avisa de que



sortirà del programa. Ho farà amb la funció **exit(1)**, informant que s'ha produït una anomalia.

11.4.8 Mostrant els eixos i el llindar

Per a mostrar el gràfic lineal fa falta, com és obvi, uns eixos cartesianes. Aquests mostraran la progressió del temps en segons (s) i la tensió que prové del sensor en un rang de 2 mil·livolts (mV) com a màxim.

Emprenem la programació del gràfic creant una altra funció secundària que anomenarem **eixos()**. Té l'objectiu principal de dibuixar els eixos d'abscisses i ordenades, escalar les abscisses i mostrar una línia que destacarà el llindar màxim que s'ha de sobrepassar, durant un període de temps, per a accionar la mà.

```
void eixos (void){
    int p,q;
    char nombres;
    char temps[5],valor[4];
    int temps1=0,valor1=2000;

    line(40,40,40,439);           //ORDENADES
    line(40,439,554,439);       //ABSCISSES

    setcolor(WHITE);

    line(40,424,554,424);       //LLINDAR
```

Abans de printar qualsevol línia, cal ser conscient que el punt (0,0) del BorlandC es troba en l'extrem esquerre superior de la pantalla. Aquest fet és força important i bàsic per a poder programar correctament.

Primerament, a la funció **void eixos (void)** no l'hi hem d'introduir ni ens ha de retornar cap valor, per aquest motiu la declarem com a **void**. Immediatament després de declarar les variables, que posteriorment explicarem, el programa printa ja ambdós eixos amb la funció **line()**, que mostra únicament una línia per pantalla. Les ordenades (tensió) tenen com a origen el punt (40,40) i com a extrem el (40,439), mentre les abscisses (temps) tenen com a inici el punt (40,439) i com a extrem el punt (554,439) respectivament. Per tant, podem deduir que l'ús de la funció **line()** és considerablement senzilla, ja que només s'han d'introduir 4 valors, els dos primers denominaran el punt inicial i els dos últims el punt final.



A continuació marquem gràficament el llindar que havíem establert a 0.3 mV anteriorment, amb la mateixa funció **line()**.

Per a un embelliment del programa utilitzem funcions com **setcolor()**, que havia aparegut prèviament per a canviar el color ja sigui de les rectes o del text, i la funció **settextstyle()**, que utilitzem per seleccionar el tipus de font (SMALL_FONT), la direcció en la que es printaran (HORIZ_DIR= direcció horitzontal) i la mida dels caràcters (1).

```
settextstyle(0,HORIZ_DIR,1);
setcolor(LIGHTBLUE);
outtextxy(563,435,"t[s]");
outtextxy(24,26,"v[μV]");
getch();
```

L'estètica del gràfic està molt limitada, ja que aquest llenguatge de programació únicament disposa d'una varietat reduïda de colors.

En aquest fragment de programa, la funció **outtextxy()** només té com a objectiu mostrar les unitats amb les que projectem les dades. L'ús d'aquesta funció també és força senzilla: dos valors (x,y) que situaran el text que vols printar, seguit pel text entre cometes dobles, separant-ho tot entre comes.

11.4.9 Escalatge dels eixos

Un cop érem capaços de que el programa printés els dos eixos, arribava el moment d'escalar-los. Per a fer tal cosa, calia definir una constant prèviament que variaria segons l'arxiu de dades que féssim servir. Aquesta constant que definim com a **T** (**#define T 64.25**), i és el temps de durada màxima de l'arxiu de dades. Aquest temps varia segons l'arxiu i, per això, un altre dels obstacles que ens vam trobar va ser com graduar aquest eix. La solució la vam trobar amb la següent equació:

$$p = \frac{514}{T} = \frac{514 \cdot 10}{T}$$

Aquesta equació, usada per a incrementar la variable que s'utilitza en el bucle **for** explicat a continuació, ens permetia dividir aquesta constant **T** en 10 parts que repartíem en els 514 píxels dels que constava el nostre eix d'abscisses.



Per tant, per a que aquesta operació sigui factible i pugui printar més d'una divisió en l'eix creem un bucle mitjançant la funció **for(;;)**. Aquesta mostra tres variables: **p**, **temps** i **temps1**.

```
for (p=40; p<554; p=p+(5140/T)){  
    line(p,436,p,442);  
    itoa(temps1,temps,10);  
    outtextxy(p-4,450,temps);  
    delay(25);  
    temps1=temps1+10;  
}
```

Pel que fa la variable **p**, que s'inicia amb el valor 40 al entrar dins de la funció, situa la component x de la posició de la línia que printarem com a separació en el (0,y) del nostre eix. Recordem que la posició (0,0) del nostre eix no coincideix amb el punt (0,0) del BorlandC, aleshores, l'hem de situar prèviament nosaltres.



Per tant, **p** anirà augmentant (d'acord amb l'equació $p = \frac{5140}{T}$) mentre no superi el valor 554, que significarà que haurà arribat al final de l'eix i no pretenem que segueixi printant més separacions.

Abans que **p** augmenti printa una línia vertical (separació) en la que la component x sempre coincideix amb el seu valor tant en l'origen com en l'extrem per aconseguir la recta vertical. Per saber la longitud de la línia que crearem només cal fer el increment de la coordenada y: $\Delta y = y_{final} - y_{inicial} = 442 - 436 = 6$ píxels

Per a que la funció **outtextxy()** es pugui dur a terme, els valors que hem d'introduir-li com a text han de ser específicament *chars* i, per tant, si nosaltres havíem d'operar amb aquests valors per tal que mostrin una seqüència ho havíem de fer amb *int* (ja que són arrodoniments de *floats*). La solució la vam trobar amb la



funció **itoa()**. Per a fer-ne ús ens vam veure obligats a declarar algunes variable més com són els vectors **temps[5]**; i **valor[4]**;

El que volíem aconseguir amb la funció **itoa()** era transformar un *integer* en un *character*, així que la variable **temps1** que igualàvem a 0 a l'inici de la funció secundària la declaràvem com a *integer* i era la responsable d'anar-se incrementant 10 unitats per tal de mostrar cadascun d'aquests valors calculats en l'eix d'abscisses.

Un cop li donàvem un valor a la variable **temps1**, aquesta s'introduïa en la funció **itoa()** seguida del vector *char* (**temps**) que adquireix el valor de **temps1**, i acabant per la potència de base amb la que treballarà la funció, en aquest cas 10.

```
itoa(temps1,temps,10);
```

Quan aquest procés ja s'ha donat a terme i la variable **temps** registra correctament els valors de **temps1** podem introduir la variable **temps** en la funció **outtextxy()** sense cap problema. Aquest **outtextxy()** també està obligat a tenir la coordenada x en funció del valor de **p**, ja que es desplaçarà conjuntament amb les rectes verticals de les separacions.

```
outtextxy(p-4,450,temps);
```

Restem 4 píxels a p per a centrar el text



Eix Temps (Abscisses)

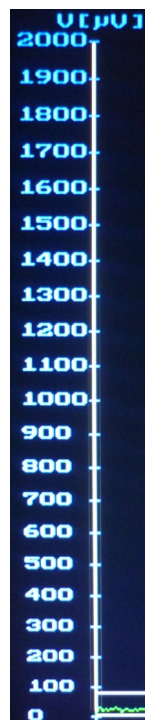
Creem el mateix efecte amb el **for(;;)** que ve a continuació, però amb algunes diferències. La primera i més important és que el rang de tensió sempre és estàtic (2mV) i, per tant, aquesta no es veu obligada a regular-se i no depèn de cap constant externa que hagi de variar l'usuari, com era el cas de la **T**.

```
for (q=40; q<441; q=q+20) {
    line(38,q,42,q);
    itoa(valor1,valor,10);
    outtextxy(6,q-4,valor);
    delay(17);
    valor1=valor1-100;
}
```



Pel que fa la variable **q** és, al igual que l'anterior **p**, l'encarregada de vàries tasques. La primera visible és sortir del **for(;;)** quan aquesta iguala o supera el valor de 441, que es correspon amb el final del nostre eix "y", tenint en compte els 40 píxels del marge superior, és a dir, els 40 píxels amb que s'iniciaven la variable **q**. Tractant d'*integers*, doncs, el valor immediatament major a 440 és 441 i com que el discriminant és únicament menor (no menor o igual), quan arriba a 440 printa l'última separació. El motiu pel qual tornem a iniciar **q** amb 40 és per a situar el cursor a (x,40), és a dir, a l'extrem superior de l'eix d'ordenades. Així doncs, quan fem servir la següent funció, **line()**, fem que el valor "y" del punt inicial i final coincideixi amb **q** (igual que fèiem amb les separacions de l'eix del temps).

El valor de **q**, en aquest cas, incrementa només 20 píxels a cada iteració del **for**, i el procés per printar, al costat de les separacions, la seqüència de números que mostraran els valors de tensió és exactament igual a l'anterior. Tot i això, com iniciem la progressió des d'adalt de l'eix, a diferencia de l'eix "x" que va des de 0 fins a x, aquesta s'iniciarà des de y i finalitzarà en 0. Per aquesta raó la variable **valor1**, que té la mateixa funció que **temps1**, s'inicialitza amb el valor 2000 al principi de la funció i fem que redueixi de 100 en 100 d'acord amb la línia de codi: `valor1=valor1-100`.





10.4.10 Valors mostrats per píxel

Per cada document de dades obteníem pràcticament 3000 valors de tensió i 3000 de temps. Si preteníem fer un gràfic de 517 píxels d'amplada havíem de reduir aquests 3000 valors en 517.

Això ho aconseguim gràcies a la funció secundària **valorsxpixel()** que crearem específicament després d'emmagatzemar les dades en la matriu mencionada anteriorment (**mat**).

Ens interessa que la dimensió de la matriu sigui 1 per tal de treballar amb els valors de tensió, no de temps. Ho fem mitjançant un condicionant **if**.

```
if(contador%2==1){ /*EMMAGATZEMATGE DE TENSÍO*/
```

Un cop dins de l'**if**, trobem la funció **valorsxpixel()**, que ens porta a les línies de compilació següent:

```
int valorsxpixel(void){
    float vt;
    float vxp;
    int vxpp;

    vt=T/P;
    vxp=vt/514;
    vxpp=vxp;

    return(vxpp);
}
```

Com hem dit, aquesta funció secundària ens calcula la quantitat de valors dels quals farem el promig i mostrarem en cada píxel. Per a dita tasca creem tres variables: **vt** i **vxp** que declararem com *floats*; i **vxpp** que declararem com *integer*. A més, farem ús de les constants **T** i **P**, que representen el temps total de l'arxiu i el període entre mostres respectivament. Aquests valors eren importants degut a que ens atorgarien el nombre de files de l'arxiu havent descomptat la capçalera de dades, és a dir, la quantitat de mostres que hauríem de representar en 514 píxels.

Quan l'operació per obtenir la quantitat de mostres fetes s'havia realitzat, el valor resultant es guardava en la variable **vt**. Al dividir aquesta entre 514 píxels trobàvem la quantitat de valors que li corresponia a cada píxel emmagatzemada en la variable **vxp**(valors per píxel).



La última funció visible, **return()**, retorna a la funció des d'on havíem cridat **valorsxpixel()**, és a dir, la principal (*main*) el valor **vxpp**, que per la funció principal és **vxp** d'acord amb la línia de codi següent:

```
vxp=valorsxpixel();
```

11.4.11 Mitjana dels valors

Retornat el valor **vxp**, a la funció principal procedim a fer la mitjana dels valors.

Com ja hem dit, **vxp** ens informarà de la quantitat de valors als quals hem de fer la mitja i imprimir en cada píxel, de manera que en una pantalla d'ordinador puguem mostrar tots els valors. Aquest és el principal objectiu d'aquest procés. Per a això, utilitzem el vector **promig** que anirà recopilant els valors de la variable **num**, aquesta ja amb els valors de tensió modelats per a que nosaltres puguem treballar amb ells. Aquest vector, **promig**, té una extensió marcada per la nova variable **recorrer**. Un cop es guarda els valors que passen per **num** la variable **recorrer** augmenta una unitat per tal de guardar el següent valor a la següent posició del vector.

```
promig[recorrer]=num;
recorrer++;
contvxp++;
```

Juntament amb el valor **recorrer**, **contvxp** també augmenta, i aquesta s'encarrega d'anar contant els valors que anem emmagatzemant en el vector. Quan aquest s'iguali al valor que havíem calculat anteriorment, **vxp**, significa que podem procedir a fer el promig d'aquests valors mitjançant un **for**.

```
if(contvxp==vxp){
    var1=promig[0];
    for(z=1; z<100; z++){
        var1+=promig[z];
    }
```

Per tal d'assolir la mitjana aritmètica, primer obliguem al **for** a recórrer tot el vector **promig** per tal d'aconseguir una suma progressiva dels valors emmagatzemats, que es guardarà en **var1**.



Una nova variable, **num4**, és declarada per tal de guardar el resultat del quocient entre la suma de tots els valors (**var1**) i els valors per píxel (**vxp**) que ens donarà el promig final, i el número que utilitzarem per printar el gràfic.

```
num4=var1/vxp;
recorrer=0;
contvxp=0;
```

recorrer i **contvxp** s'inicialitzen de nou a 0 per tal de realitzar el següent promig

Tot i això, degut a aquesta mitjana per poder quadrar el gràfic a una pantalla es perd rang de tensió. Si comprovéssim els valors emmagatzemats per la variable **num** veuríem que el valor màxim que assoleix és major a 800 microvolts, no obstant el valor màxim que obtenim després d'aquesta mitja aritmètica no supera els 400 microvolts.

Posteriorment, per escalar el valor obtingut a l'eix de la tensió (l'eix de les ordenades) fem el següent factor de conversió:

```
num4=((num4*1000)*399)/2000;
```

Tenint en compte que hem treballat amb valors en mil·livolts multipliquem el resultat (**num4**) per 1000 per representar el valors en microvolts. Seguidament el multipliquem de nou pels 399 píxels del nostre eix d'ordenades i el dividim entre els 2000 microvolts de rang màxim que es pot assolir. Per veure-ho més fàcil mostrem la següent regla de tres:

$$\begin{array}{ccc}
 2000\mu V & \xrightarrow{\hspace{2cm}} & 399 \text{ píxels} \\
 (\mathbf{num4} \cdot 1000)\mu V & \xrightarrow{\hspace{2cm}} & \mathbf{x} \text{ píxels} \\
 & & \text{On } x \text{ és el valor que busquem}
 \end{array}$$

11.4.12 Printant el gràfic

Per a poder de printar el gràfic, crearem una funció secundària condicionada per valors que enviarem des de la funció principal (*main*).



```

dibuixa1(aux,num4,origen,aug1,aug2);

if(origen>0){
    aux=num4;
    aug1++;
    aug2++;
}
origen++;

```

Procedim a informar sobre les variables prèviament per a que l'explicació d'aquest fragment i de la funció **dibuixa1** esdevingui més entenedora.

Pel que fa la variable **aux**, la seva funció és guardar el valor de **num4**. Aquest fet és important ja que un dels problemes que vam trobar va ser com unir les línies d'extrem i origen de les rectes que compondrien el gràfic.

En quant a **aug1** i **aug2**, aquests crearan un desplaçament sobre l'eix d'abscisses cada cop que es printi un valor. El motiu pel qual **aug1** val per exemple 41 i **aug2** 42 és degut, en part, al posicionament del cursor en el punt (**aug1**,y) o (**aug2**,y) del nostre eix. Posteriorment, necessitem que mantinguin un píxel de diferencia per tal de que l'abscissa del punt d'origen i del punt extrem no coincideixin i mostrin la progressió del temps correctament.

Per últim, la variable **origen** només ens indicarà quan volem que printi el primer punt a l'origen, és a dir, (40,439) en el nostre cas.

Pel que fa a la funció **dibuixa1** presenta la següent estructura:

```

void dibuixa1(float aux,float num4,float origen,float aug1, float aug2){
    setColor(GREEN);
    if(origen==1){
        line(40,439,aug1,439-(num4/2));
        delay(50);
    }
    if(origen>1){
        line(aug1,439-(aux/2),aug2,439-(num4/2));
        delay(50);
    }
}

```



Com ja hem dit, aquesta s'encarrega de printar les línies que uniran els valors i formaran el gràfic.

La primera línia de codi en aquesta funció és un **setcolor()** que tindrà les línies de color verd (GREEN). Únicament és motiu d'estètica, res rellevant.

Posteriorment trobem dues condicions marcades per un **if**. Aquestes venen marcades per la variable **origen** que, tal i com s'explica en l'apartat anterior, tenia la finalitat de mostrar el primer valor en l'origen de coordenades. Tot i això, no hem de deixar que el programa comenci a printar si només ha emmagatzemat un valor, i és per això que no executa cap de les línies de codi de les dues condicions fins que, al menys, la variable **origen** sigui equivalent a la unitat. Quan aquest fet es produeixi, ens indicarà que ja hem recopilat l'origen i l'extrem de la primera recta, i ja estem preparats per a printar-la. Com que és el primer valor, i aquest ha de sortir des de l'origen (0,0) del nostre eix (punt (40,439) del BorlandC), aprofitem que **origen** en aquest moment val 1 per a crear la condició.

Quan executa les línies de codi de la primera condició, veiem que les coordenades del punt origen no depèn de cap variable ja que aquesta no haurà de desplaçar-se mai en el primer punt.

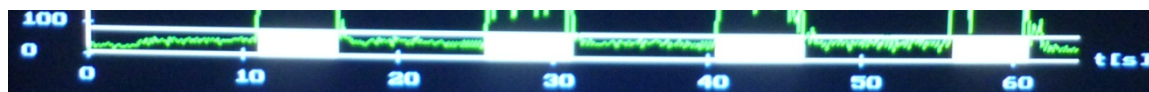
A l'emmagatzemar el següent valor notem la importància de la variable **aux**, que contínuament guardarà el valor d'extrem de l'antiga recta com a origen i el nou valor com a extrem, de la nova recta.

És llavors quan **origen** obté un valor major a 1 i, per tant, d'aquí al final de l'arxiu (EOF) compilarem les línies de codi de la segona condició (**origen**>1).

En aquest cas la funció **line()** deixarà de printar-se des de l'origen de coordenades per a mantenir la progressió. És llavors quan les variables **aug1** i **aug2** mostren la seva funció. El punt d'origen de la recta sempre dependrà de **aug1**, ja que és un píxel menor que **aug2**, que condicionarà el punt extrem. Aquestes aniran augmentant segons el programa vagi emmagatzemant valors en **num4**.



11.4.13 Marcant un filtre de temps i voltatge



Aquesta és la part on resideix el cor pròpiament dit del programa. Ens cal comprovar que el valor de voltatge que entra, **num**, és major que un prèviament marcat (al que anomenarem lllindar) i que aquest valor sigui superat durant un cert temps. Primer de tot presentem les variables que utilitzarem:

num: voltatge entrant

Vector **bi[]**: vector que emmagatzemarà tres possibles valors: 0, 1, 2.

Emmagatzemarà cada nombre segons les condicions següents:

- Si el valor de **num** no supera el lllindar establert, guardarà un 0.
- Si el valor de **num** supera el lllindar, però no s'ha superat el temps mínim de durada (ja sigui perquè encara no s'han analitzat prou dades o perquè la dada següent ja no supera el lllindar), guardarà un 1.
- Si el valor de **num** supera el lllindar, i també el temps mínim de durada, guardarà un 2.

l: la posició del vector en què s'està escrivint

cont1: comptador que analitzarà la quantitat de 1 consecutius que es guarden.

cont0: comptador que analitzarà la quantitat de 0 consecutius que es guarden.

Un cop presentada cadascuna de les variables, ens disposem a analitzar la part més important del programa. Comencem per les condicions a imposar:

```
if(h=='\n'){

    if(contador%2==1){ /*EMMAGATZEMATGE DE TENSIO*/
```

La primera condició comprova que el caràcter llegit sigui un salt de línia, i per tant la variable emmagatzemada sigui un voltatge i no pas un temps. Pel que fa a la segona, el que fem és comprovar també que ens trobem en la dimensió de voltatges de la matriu. Així, ja podem començar a treballar.



```

        if(num>LLINDAR){
            bi[l]=1;
            cont1++;
            cont0=0;

            if(cont1>=6){
                bi[l]=2;
                setcolor(WHITE);
                line(aug1,439,aug1,424);
            }

            if(bi[l]==1){
                cont0=0;
            }
        }
        if(num<=LLINDAR){
            if(cont1>=6){
                bi[l]=2;
                cont0++;
            }

            if(cont0>=6){
                bi[l]=0;
                cont1=0;
            }

            if(bi[l]==0){
                cont1=0;
            }
        }
    }
    l++;
}

```

Cal primer esmentar que **LLINDAR** és una constant definida per a marcar el valor a partir del qual la senyal es satisfactòria i prou intensa. En aquest cas, s'ha fixat en 0.039

El següent que cal fer ara és comprovar que el valor de **num** sigui superior a llindar establert. Si el llindar se supera, es guarda un 1 en la posició **l** del vector **bi**, que ens indicarà que hi ha un nombre que supera el llindar. Seguidament, augmentem en una unitat **cont1** ja que aquest comptabilitza la quantitat d'elements



consecutius que superen el llindar. Tot seguit, es posarà a 0 el valor de **cont0**, ja que no se n'ha trobat cap.

Ara cal comprovar si la quantitat de valors consecutius que superen el llindar (i es guarden per tant en **bi** com a 1) és major al que hem imposat, que funciona com a filtre per a evitar valors que surtin del normal i puguin fer descontrolar el programa. En aquest cas, el nombre de valors consecutius ha de ser sis.

```
if(num<=LLINDAR){
    if(cont1>=6){
        bi[1]=2;
        cont0++;
    }
    if(cont0>=6){
        bi[1]=0;
        cont1=0;
    }
    if(bi[1]==0){
        cont1=0;
    }
}
```

Si el comptador és major o igual a sis, se satisfà la condició i per tant supera el filtre imposat, i per tant en **bi[l]** on hauria d'anar emmagatzemat un 1 hi anirà un 2. I com que aquest tipus de valors són els importants, fem una línia en el gràfic més endavant comentat que marqui el punt en què la pròtesi comença a efectuar moviment.

L'altra possibilitat és que **num** no superi el llindar establert. Aquest cas és molt similar a l'anterior. Primer de tot, cal comprovar si el nombre de 1 emmagatzemats consecutivament era major a 6, cas en què se seguiria emmagatzemant un 2 però el comptador de 0 començaria a pujar.

I, si es dona el cas que el nombre de 0 consecutius sigui sis, ja guardarem un 0 i tornarem a inicialitzar el comptador de 1.

Per últim, caldrà anar a la següent posició del vector **bi**, per a emmagatzemar-hi un nou anàlisi del nombre que vindrà a continuació.



11.4.14 Senyal elèctric

Les últimes línies que havia d'executar el programa eren les ordres que retornaven un senyal cap a l'exterior mitjançant el port paral·lel que transformava aquesta ordre en senyal elèctric per poder ser tractat més tard amb un circuit.

En altres paraules, havíem d'utilitzar una part de programació completament nova per a nosaltres que tingués, per primer cop, un resultat físic i tangible.

Aquesta part consistia en utilitzar una nova funció anomenada OUTPORTB, a la qual s'havia de donar dades com el número del port al que s'havia d'enviar el senyal (per a ordinadors que tinguin més d'un port paral·lel), així com també un nombre corresponent al pin que ha d'activar l'ordre en el moment en que s'executi.

```
#define DATA 0x0378
```

En aquesta imatge mostrem com definim el port, en sistema hexadecimal, per a que el programa el pugui interpretar correctament

```
line(aug1,439, aug1,424);  
outportb(DATA,8);
```

Aquí podem observar un exemple de com activem el port DATA prèviament definit, i li enviem el senyal al pin $16=2^4$ que és per tant el pin Data 3.

```
bi[1]=0;  
outportb(DATA,0);  
cont1=0;
```

D'altra banda, aquí observem com desactivem tots els pins i passem a usar el pin anomenat *Ground*, explicat més endavant.

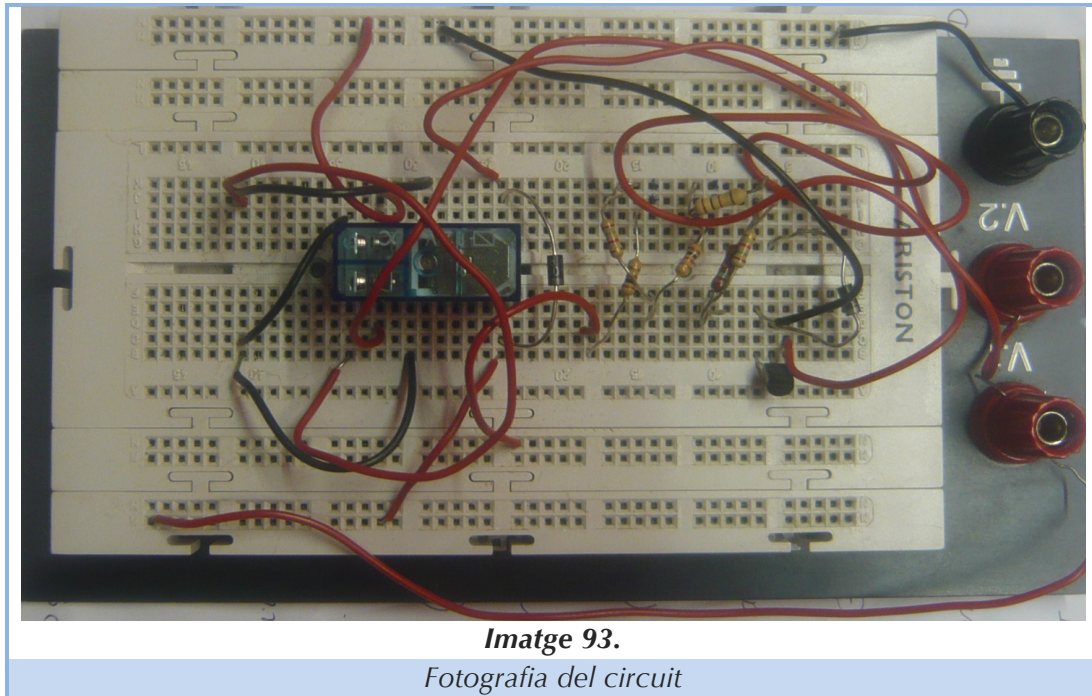


Aquesta línia de programa havia d'estar situada en llocs específics per tal d'enviar l'ordre al port paral·lel únicament en els instants en que l'usuari exercia força i, per tant, sobrepassava del llindar marcat. Així doncs, també en els instants en que deixava d'exercir força s'havia d'enviar una altre ordre, la del pin 18, que activa el *ground* i deixa d'enviar tensió pel pin *Data 3*.



12. Disseny del circuit

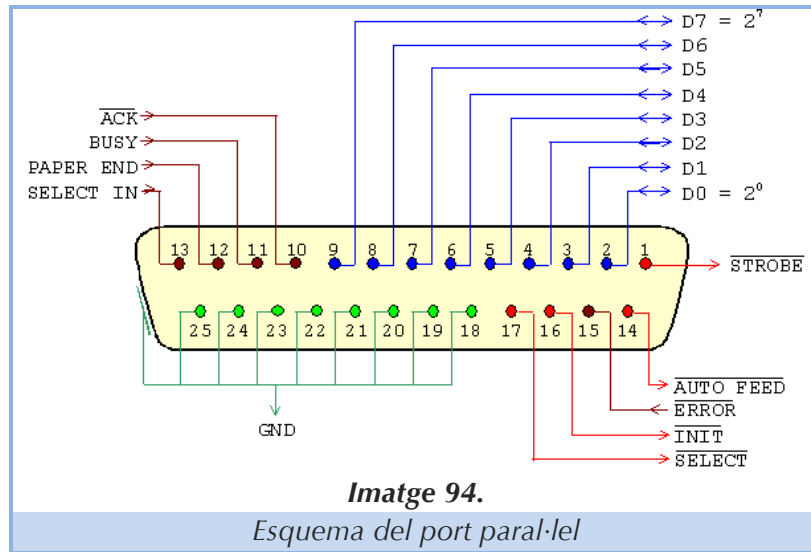
Per tal de realitzar la connexió entre el programa informàtic i la pròtesi s'havia de dissenyar un circuit elèctric que actuaria com a interfície per transformar les lectures i ordres que retornava el programa en senyal elèctric i, posteriorment, en moviment mecànic.



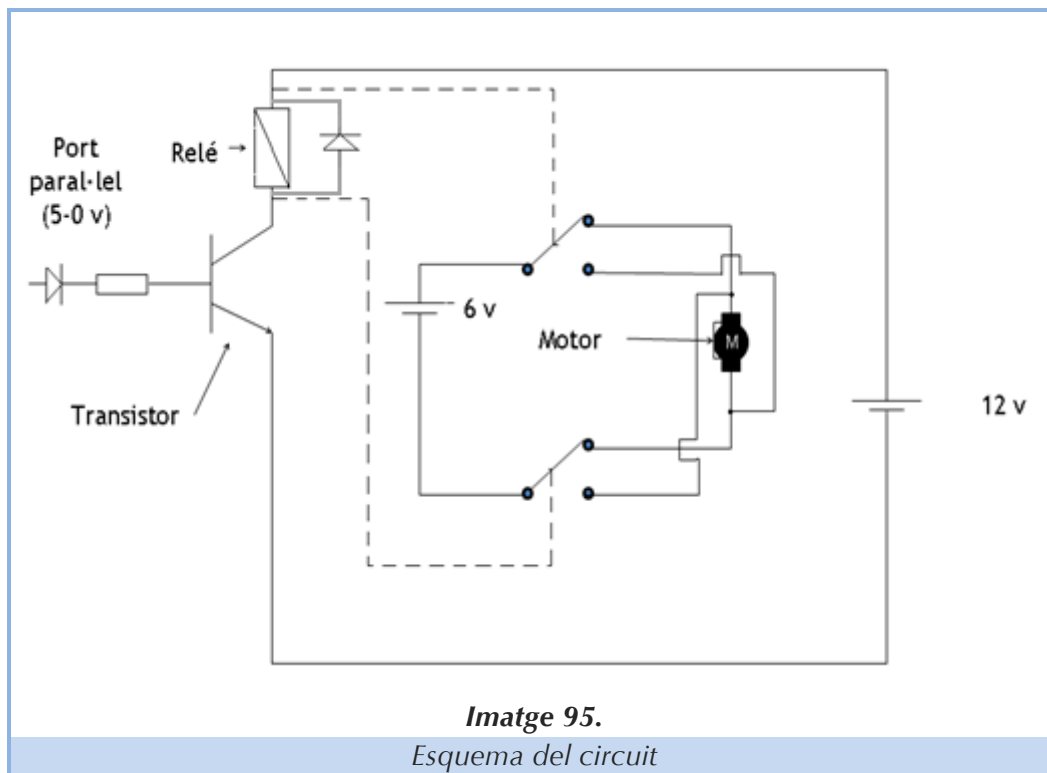
Imatge 93.

Fotografia del circuit

El primer pas és preparar un port paral·lel per la tasca que realitzarà: enviar una tensió de entre 3 i 5 volts i funcionar com a *ground*, és a dir, 0v. Per tant, seguint el l'esquema del port paral·lel adjuntat s'havia de soldar un cable a un dels pins *Data* compresos entre el pin 2 i el pin 9 en, el qual enviaria la tensió elèctrica de 3-5v. Aquest pin havia de ser el mateix que s'havia seleccionat en el programa, és a dir, *Data 3*. La funcionalitat de *ground* la tenen el interval de pins des del 18 fins al 25. Únicament cal soldar un cable a un d'aquests per tenir el valor 0 de tensió.



Així doncs, fem servir una placa protoboard per realitzar el circuit elèctric. Aquest havia d'estar dividit en dos subcircuits (*un digital i un potència*) mitjançant un relé commutable de dos contactes. Aquesta divisió és fonamental per un motiu d'alimentació dels dispositius, ja que certa part del circuit estarà alimentada a 3-5 volts, i altra a 12. La incorporació d'un relé de dos contactes provoca també l'afegit d'un altre alimentador a 6 volts. Posteriorment s'explicarà el seu ús.





El circuit digital ve liderat per un transistor BJT NPN que treballa en tall/saturació. Treballar en aquestes dues zones (*tall i saturació*) ens permet, en aquest cas, excitar la bobina del relé i canviar la posició del interruptor quan el transistor estigui en zona de saturació, ja que en aquesta zona es permet la circulació del corrent per tot el circuit digital. Aquesta circulació només s'efectua quan a la base del transistor BJT circula, també, corrent. Quan per la base d'aquest no circula corrent els l'èmissor i el col·lector queden oberts i tampoc permeten la circulació, per tant, la bobina no s'excita. Així doncs, quan el transistor es troba en un punt del programa en zona de saturació es permet, com hem dit, la circulació dels altres dos "braços" del transistor que estan alimentats amb una font de tensió de 12 volts, per tal de poder excitar el relé.

La funció del díode situat a la base del transistor és protegir l'ordinador impedit la circulació del corrent en sentit contrari. Així mateix, la funció del díode en paral·lel amb el relé serveix per a protegir aquest últim si es produís un canvi de sentit del corrent quan es passa de tall a saturació, i viceversa. Seguint d'aquest es troba una resistència essencial per situar el transistor en la zona de saturació. Per aconseguir-ho has d'assegurar-te de que la caiguda de tensió entre l'èmissor i el col·lector es contingui en 0.2 volts.

El circuit potència sempre està alimentat a 6 volts d'acord amb les característiques nominals del receptor, un motor DC. La funció d'aquest motor és bàsicament la mobilitat dels dits de la pinça, així doncs, trobem que el motiu pel qual el relé és de dos contactes és per canviar la polaritat del motor (*obrir i tancar els dits*) creuant els cables dels pols del motor. Seguint el procés des del programa informàtic: inicialment el motor gira en un sentit, nominalment provocant el tancament de la mà, ja que la bobina del relé no està excitada. Quan les dades tractades amb el programa sobrepassaven el llindar de força s'envia el senyal de corrent a la base del transistor que permet la circulació de la resta del circuit digital i, per tant, excitant la bobina del relé. En aquest moment l'excitació de la bobina causa el canvi de posició de l'interruptor canviant la polaritat del motor i girant en sentit contrari provocant l'obriments dels dits.



12. Construcció del model de pinça robòtica

Per tal de culminar la part pràctica del nostre Treball de Recerca ens restava construir el nostre model de pinça que pretenia simular una pròtesi mioelèctrica.

A l'hora de construir aquest model no vam seguir un referent de mà humana, ja que la construcció es complicaria i no seria tan visual. Per simplificar-ho, el model ha estat realitzat amb peces poligonals.

La nostra "pròtesi" només compta amb un grau de llibertat. Gràcies a les rodes dentades, reproduïx el moviment de les articulacions metacarpofalàngiques.

Tal i com hem estudiat anteriorment en la nostra part teòrica podem identificar l'agafament de la nostra pinça com un agafament de força del tipus cilíndric.

- **Objectius de la pràctica**
 - Simular el moviment d'una pròtesi mioelèctrica a partir de senyals biològics.
 - Reproduir el moviment de l'articulació metacarpofalàngica.
- **Material**
 - Cartró ploma
 - Plaques metàl·liques
 - Motor (3-6V) de corrent continu
 - Rodes dentades
 - Barra metàl·lica de 17 cm
 - Cargols (mascles i femelles)
 - Pintura en *spray*
- **Procediment**

Primerament vam idear com seria el nostre model de pinça: les dimensions, la forma de les peces i l'estructura així com el sistema de transmissió del moviment. Un cop enllestida aquesta tasca vam posar-ho a la pràctica plasmant les peces en el cartró ploma.



Un cop traçades les peces que donaven forma als dits al cartró les vam retallar i les vam muntar mitjançant mascles i femelles de manera que s'observaven uns dits amb tres parts immòbils.

Pel que fa al palmell, vam realitzar un quadrat de cartró fixat a una base de metall amb orificis.

Els quatre dits anaven fixats a una barra metàl·lica que funcionava com a eix. Aquest eix es movia gràcies a les rodes dentades. Una d'elles anava fixada a l'eix i l'altre anava fixada al motor.

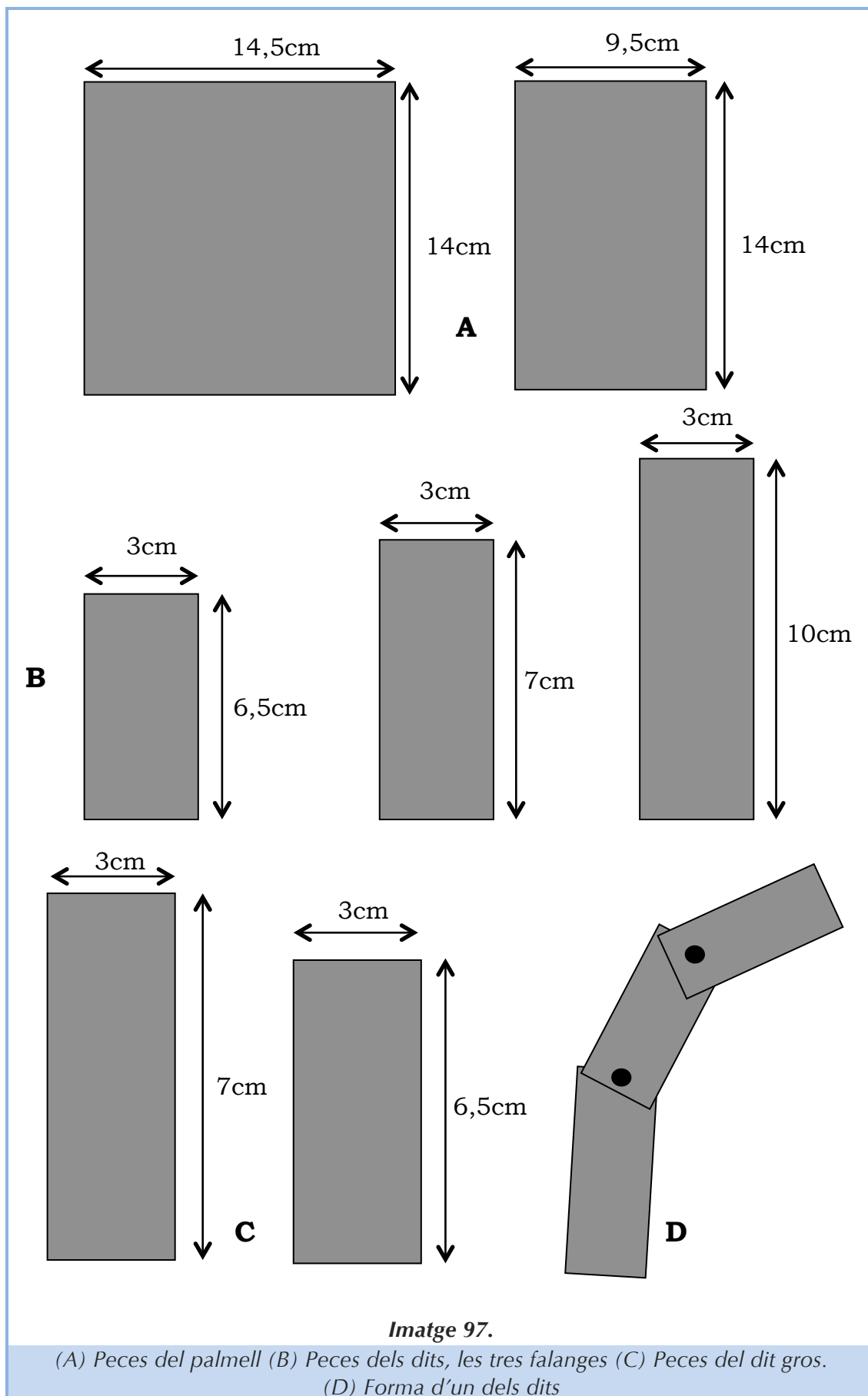
La fotografia que es veu a continuació és el resultat final del nostre model de pròtesis.

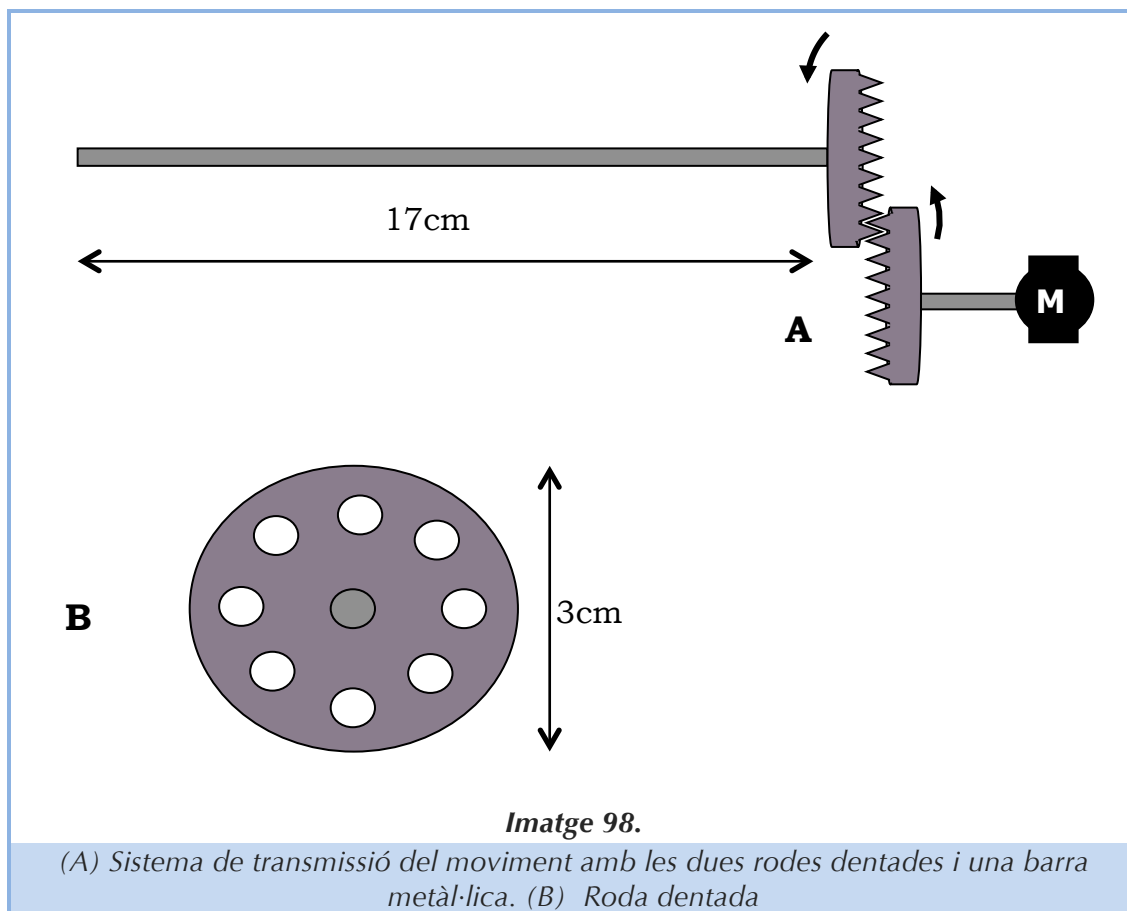


Imatge 96.

Resultat final del muntatge

A la pàgina següent es poden veure els esquemes de les peces que posteriorment vam construir:





Hem adjuntat un vídeo on s'observa el funcionament final de la pinça. Es veu com aquesta s'obra i es tanca en funció del programa. Aquest és el resultat final del nostre treball.



ANNEX



10. Annex

10.1 Experimentació amb rates

Durant l'Estada a la UAB, el Xavier Navarro ens va permetre assistir a un dels experiments que realitzaven en els que tractaven amb rates. L'objectiu de l'experiment que vam veure era poder connectar un elèctrode intrafascicular amb el nervi de la rata. Aquests elèctrodes permeten l'estimulació des de diferents punts, per tant, es podia estimular el nervi de la rata des de diferents zones.

Com hem estat estudiant durant tot el treball, l'execució d'un moviment requereix la projecció precisa dels impulsos nerviosos motors des del SNC, per un grup de fibres nervioses, fins al múscul que realitza el moviment.

Les neuropròtesis (també anomenades pròtesis biòniques) usen elèctrodes implantats en els nervis perifèrics com a interfase bidireccional entre el sistema nerviós i la pròtesi. Aquestes interfases han de poder estimular els axons del nervi d'una manera tan precisa i selectiva com les pròpies ordres neurals del cos humà.

Per a aconseguir un moviment adequat, l'estimulació artificial ha de ser selectiva en algun dels fascicles del nervi, que innerva els músculs diana, sense estimular altres que innerven músculs que no es desitja que siguin activats.

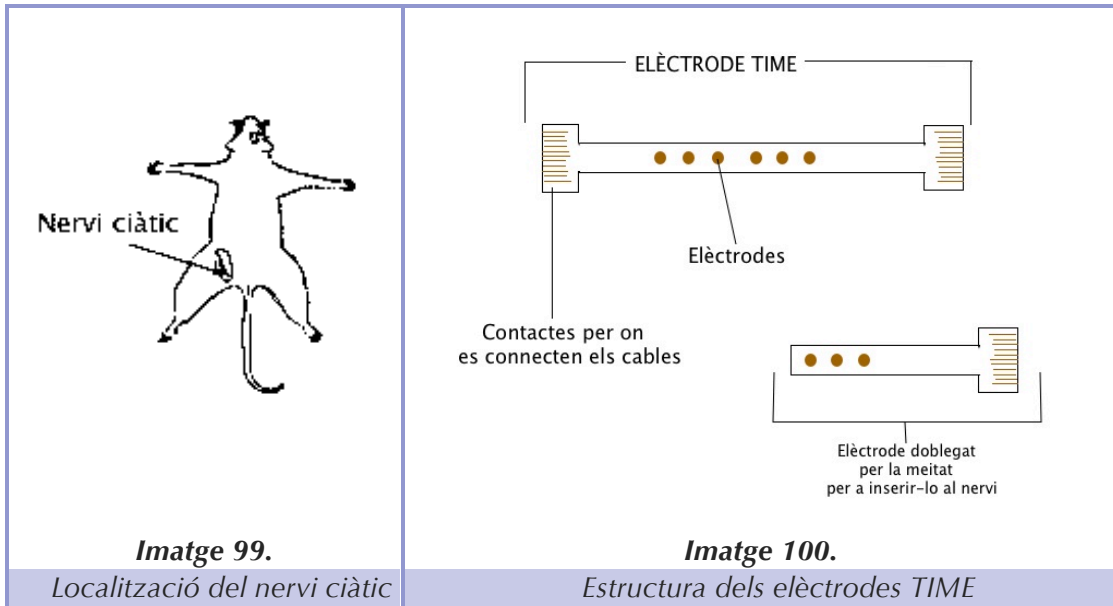
Els elèctrodes utilitzats eren els anomenats *TIME*. Aquests s'inserten transversalment en el nervi perifèric, fet que permet una interacció òptima dels llocs actius amb els fascicles del nervi, podent activar axons en diferents fascicles o subfascicles del nervi que innerven diferents músculs. D'aquesta manera, a l'estimular diferents centres actius de l'elèctrode, s'estimulen diferents axons que condueixen a diferents músculs, activant-los selectivament.

Els elèctrodes eren implantats en el nervi ciàtic de les rates, a l'altura de la cuixa.

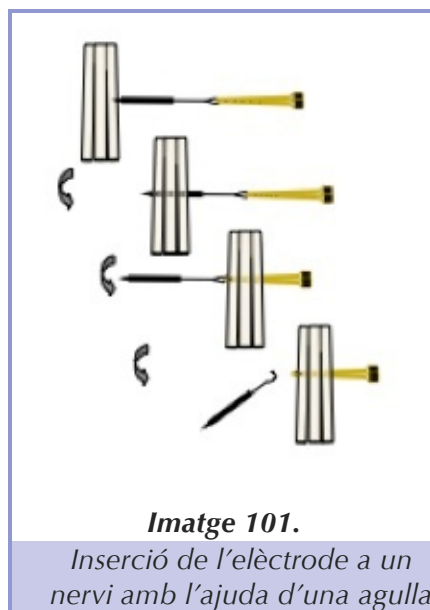
Aquests elèctrodes *TIME* són molt prims i molt allargats, són com làmines. En la zona central de la làmina se situen petites peces de metall que són els



elèctrodes pròpiament dit. A l'haver-hi més d'un, poden estimular diferents parts del nervi enviant descàrregues a través de cada una de les plaques individualment. Aquests, són doblegats per la meitat i inserits transversalment a l'interior del nervi amb una agulla. Els elèctrodes queden dintre del nervi mentre que la resta de la tira queda fora i se li poden connectar els cables.



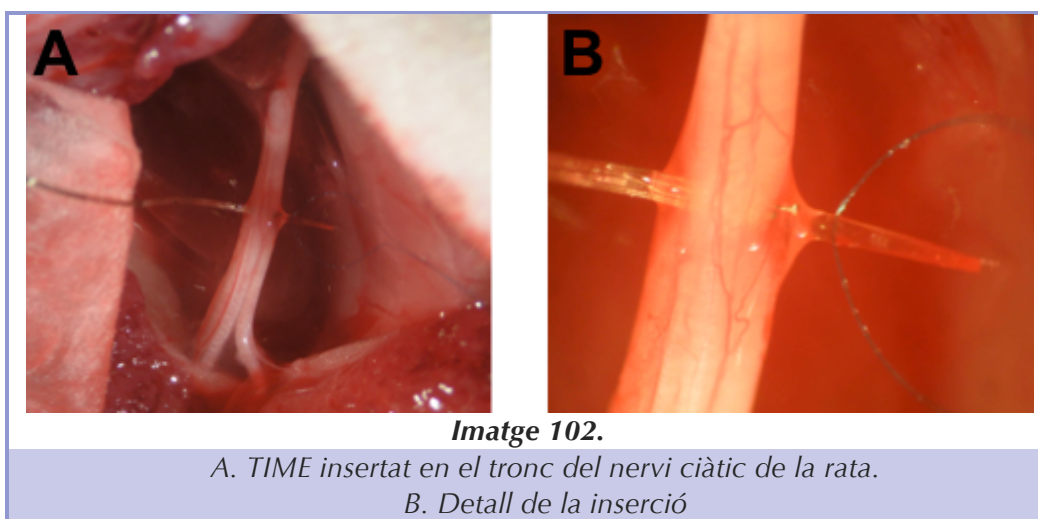
La introducció dels elèctrodes dintre del nervi era molt difícil ja que els elèctrodes eren molt delicats i es trencaven amb facilitat. Un cop col·locats, es van introduir uns elèctrodes d'agulla en els músculs que eren innervats per aquest nervi. Després es va procedir a estimular el nervi.



Imatge 101.
Inserció de l'elèctrode a un nervi amb l'ajuda d'una agulla



El resultat d'aquell experiment no va ser satisfactori ja que algun problema de connexió va impossibilitar que els elèctrodes registressin. Però el que hauria d'haver passat és que l'elèctrode TIME hagués estimulat una part del nervi i el múscul que és innervat per aquella part s'activés contraient-se i alhora, es veuria mostrat en els senyals electromiogràfics captats pels elèctrodes d'agulla. D'aquesta manera es posa de manifest la connexió entre el nervi i el múscul i com es pot construir un sistema artificial que pugui estimular regions del nervi i estudiar com es connecten aquestes amb els músculs corresponents.



En altres estudis més extensos realitzats per la UAB amb col·laboració d'altres centres d'investigació estrangers, s'ha pogut concloure, mitjançant el mateix sistema explicat abans, que els elèctrodes TIME són capaços d'estimular selectivament cada un dels fascicles de fibres nervioses que innerven els músculs corresponents. També, van afirmar que els estudis no van produir cap dèficit funcional en l'implant dels elèctrodes.



10.2 Notícia

Científicos italianos logran que el cerebro humano controle una mano biónica

Le han implantado la extremidad a un paciente que, a través de 4 electrodos, trasmite ordenes como apretar el puño o mover el meñique

Roma. - Un equipo de científicos italianos consiguió con éxito la conexión entre el cerebro de un paciente y la mano biónica que se le había implantado, según informaron hoy medios de comunicación italianos.

El equipo del campus biomédico de Roma, formado por médicos, cirujanos, anestesistas, neurólogos y bioingenieros, logró que las órdenes del cerebro del paciente italo-brasileño Pierpaolo Petruzziello se comuniquen a la mano cibernética con total éxito.

Así, el cerebro transmite a la mano, a través de cuatro electrodos, cada uno de ellos provisto de ocho canales, la orden de apretar el puño o mover el meñique, por ejemplo. Hace un año, el equipo implantó al paciente, que había perdido su antebrazo izquierdo en un accidente de coche, los dos kilogramos que pesa la mano artificial.

Sin embargo, los electrodos deben ser retirados de nuevo quirúrgicamente dentro de un mes. Los logros obtenidos hasta ahora fueron valorados por el equipo como prometedores, pues en tres años este paciente podrá tener permanentemente una mano robótica.

La prótesis fue desarrollada por la escuela técnica superior Sant'Anna de Pisa y los electrodos fueron montados por la empresa alemana Ibmt. Aunque el implante se hizo el 20 de noviembre de 2008, hubo que realizar un largo trabajo previo y asegurar una sustanciosa financiación de dos millones de euros, proveniente de un fondo de la Unión Europea concedido para un periodo de cinco años.

La mano biónica cuenta con cinco dedos de aluminio, partes mecánicas de acero y una superficie que la recubre de fibra de carbono. Las fibras de los electrodos que se conectan con los nervios del brazo son "biocompatibles" y son de una delgadez



de diez micromillones de milímetro. Gracias a estas conexiones, la mano del paciente puede comunicarse perfectamente con su cerebro e, incluso, puede sentir.

La Vanguardia

02/12/2009

La notícia anterior tracta sobre la implantació d'una pròtesi biònica a un pacient que havia patit una amputació de l'avantbraç esquerre a causa d'un accident de trànsit. La connexió es va realitzar a Roma per un equip d'especialistes i van qualificar l'intervenció com un gran èxit.

Al llarg de l'article s'esmenten diferents aspectes que hem tractat sobre biònica i la connexió entre el cervell i la pròtesi.

En el fragment següent: << *Las fibras de los electrodos que se conectan con los nervios del brazo son "biocompatibles" y son de una delgadez de diez micromillones de milímetro* >>, deduïm que parla d'elèctrodes intraneurals, és a dir, elèctrodes connectats directament al nervi; concretament intrafasciculars longitudinals.

Per a realitzar un procediment com la creació i la implantació d'una pròtesi d'aquestes característiques va ser necessari que el projecte fos finançat per fons de la Unió Europea.

Finalment s'esmenten els diferents materials que s'han emprat per a la construcció de la pròtesi així com les dimensions dels elèctrodes utilitzats.

Es tracta d'una pròtesi biònica que permetrà a l'usuari realitzar moltíssimes funcions; des d'agafar objectes de tota mena fins a rebre estímuls sensitius, tot gràcies a les connexions realitzades pels elèctrodes.

S'adjunta un vídeo sobre l'experiment explicat a la notícia (*Pròtesi biònica*) al DVD que hem inclòs al final del treball.



Imatge 103.

Pacient intervingut concentrat per moure la mà biònica



11. Conclusions

Hem volgut dividir les conclusions en part tecnològica i part científica, ja que cada part tenia objectius propis i per tant les conclusions són diferents.

Pel que fa a la part tecnològica, ja des d'un inici, el nostre treball ha estat emmarcat en un àmbit poc investigat fins a dia d'avui. És per aquesta raó que el nostre camí ha estat difícil de recórrer i amb molts canvis bruscs.

El món de la biònica sempre ens havia fascinat, i el procés de construcció i programació de pròtesi ens cridava molt l'atenció alhora que ens encuriòsia. Volíem aprendre més, recopilar informació sobre el tema per a crear un treball que qualsevol pogués entendre i alhora aprendre alguns conceptes sobre el món de la biònica i la mioelectricitat. La història de les pròtesis, les característiques pròpies de cadascuna i la programació d'aquestes són els principals temes al voltant del qual s'ha estructurat el nostre treball de recerca.

Pel que fa a aquest objectiu ara esmentat, creiem que s'ha assolit ja que hem aconseguit molta informació relacionada amb el tema d'estudi i l'hem pogut plasmar de la manera més completa possible.

La varietat de llocs, persones, instruments de treball i aplicacions que hem conegut durant aquest projecte ens ha permès millorar la nostra habilitat d'organització i treball en equip, autoexigència i capacitat de treballar sota pressió. També hem millorat en la nostra capacitat de recercar de forma autònoma les fonts d'informació necessàries en cada moment,

Ens ha calgut tot el nostre esforç, concentració i empena per a seguir endavant amb els objectius que nosaltres mateixos ens havíem marcat i que, tot i les dificultats, hem arribat a consolidar.

El primer que ens havíem plantejat era crear un programa que aconseguís classificar els senyals registrats anteriorment. Al principi, no sabíem ben bé la manera de començar, però gràcies al nostre tutor i al professor que ens va ajudar de la Universitat Autònoma de Barcelona vam aconseguir anar fent camí fins que ara, finalment, tenim un programa que, rebent senyals dels impulsos nerviosos del cos en un arxiu ASCII, pot classificar-los segons la seva durada i intensitat per a ser



capaç de retornar un senyal que aporti electricitat o no a la pròtesi per a que aquesta faci la funció d'obrir-se en el moment corresponent.

Aquest objectiu s'ha assolit, ja que és el que constitueix la part pràctica del nostre treball de recerca. Per tant, creiem que en aquest punt hem aconseguit complir el que ens havíem marcat.

Per això hem quedat molt satisfets del fruit obtingut de tot aquest treball, i estem segurs que, a més de ser coneixements útils en el nostre futur, ens ha ajudat a millorar en alguns aspectes que només havíem conegut de forma superficial.

Un cop finalitzat el treball, cal valorar la feina i concloure si s'han assolit o no els objectius proposats.

Si parlem de la part científica, com a objectius teòrics ens havíem proposat adquirir la informació per poder entendre la nostra part pràctica i per tal que la part tecnològica tingués sentit. Podem afirmar que l'objectiu ha estat complet estant tot el cos del treball basat en aquestes informacions.

Com a objectius procedimentals vam proposar-nos enregistrar les senyals EMG pel control de la pinça robòtica. Aquests registres van ser possibles gràcies a l'ajut del Dr. Xavier Navarro i la seva amabilitat ja que, ens va oferir la possibilitat d'utilitzar els laboratoris de la universitat en tot moment.

Inicialment, pel que fa al registre de senyals EMG es basava en l'obtenció d'informació de dos músculs antagònics (flexor i extensor del carp) per al control de la pinça. La nostra idea era que cada canal realitzés un moviment contrari: un de tancar la pinça i l'altre d'obrir-la. Finalment per qüestions de simplicitat ja que, la part tecnològica era massa complexa, vam prendre un únic canal, el del flexor. Tot i així, el mètode d'enregistrament per a un canal o per a dos és el mateix.

Tots els coneixements teòrics sobre el Sistema Nerviós ens han servit posteriorment per a l'anàlisi dels EMG i per entendre la part mèdica de les pròtesis biòniques.

Com a objectius humans ens havíem proposat millorar les tècniques del treball en equip, realitzar un treball de les dimensions del Treball de Recerca i



familiaritzar-nos amb la recerca científica. Podem considerar que han estat assolits tots tres objectius. Respecte al tercer, a l'estar fent l'Estada a l'Empresa a la Universitat, vam tenir l'oportunitat d'assistir a experiències professionals fet que ens ha permès prendre contacte real amb el món professional científic.

Pel que fa a la hipòtesi, hem conclòs que els senyals per a controlar una pròtesi d'aquest tipus són els mioelèctrics, generats pels potencials d'acció que arriben als músculs. Aquestes les enregistrem amb els elèctrodes de superfície. Amb aquests senyals podem establir un llindar d'intensitat sobre el qual activem el moviment de la mà. D'aquesta manera, mitjançant un mecanisme del cos humà que podem controlar a la nostra voluntat, es pot regular el moviment d'un sistema artificial, en aquest cas, una pròtesi de mà.

En general, estem molt satisfetes amb la feina realitzada i en cap moment hem considerat l'elecció del tema un error ja que, ens entusiasma des de l'inici. Després d'haver viscut de primera mà com es treballa dins d'aquest àmbit, prenem com a possibilitat estudiar o treballar sobre el tema en un futur. Considerem que aquest treball ens ha enriquit tant a nivell personal com a nivell instructiu.



12. Agraïments

Aquest treball de recerca ha estat un camí dur, molt dur, i ens agradaria donar les gràcies a tots aquells que hi han participat i han fet possible arribar a aquest punt:

En primer lloc agrair a la primera persona que ens va animar a començar amb el treball, la que ens va donar suport i ens va oferir tot el que sabia sobre el tema. Aquesta persona és el Doctor Xavier Navarro que va estar amb nosaltres durant tot el juliol ajudant-nos i fent-nos un seguiment del nostre treball. Podem afirmar que és la persona més important que ha col·laborat amb nosaltres perquè, malgrat la seva feina, va aconseguir trobar un lloc per a nosaltres sense cap ànim de lucre. La col·laboració amb una persona tant important dins de l'àmbit que hem volgut investigar, ja que ha col·laborat en diversos programes internacionals sobre biònica i altres temes relacionats amb la neurociència, ens ha brindat la possibilitat d'entrar en contacte amb el món professional.

A continuació agrair a la Universitat Autònoma de Barcelona, i concretament al Projecte ARGÓ, per haver-nos donat la oportunitat d'assistir a la Universitat durant tot el mes de juliol per a prendre contacte professional i realitzar la part pràctica del nostre treball amb tot el material d'allà.

Agraïm, també, als nostres tutors de l'Escola Sant Gervasi, Cristina Checa i Xavier Valldeoriola, per haver-nos donat suport anímic durant el procés de realització i haver-se involucrat, ajudant-nos en tot el possible.

Finalment, els nostres més sincers agraïments per a tots els familiars i amics que han compartit amb nosaltres el desenvolupament del treball, tant en els bons moments com en els dolents.

A tots ells, per tot el que hem viscut, moltes gràcies.



13. Bibliografia

La següent Tesis ens ha proporcionat informació en molts dels camps que hem estudiat en el nostre treball:

RODRÍGUEZ, Luis Eduardo. *“Definición de un índice de funcionalidad y realimentación de esfuerzos en prótesis de mano”*. Tesis en enginyeria biomèdica, Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona 2007.

L'amputació

<http://emedicine.medscape.com/article/317234-overview>

(Nivells de les amputacions)

<http://pdf.rincondelvago.com/amputaciones.html>

(Amputacions en general)

<http://www.healthline.com/galecontent/congenital-amputation>

(Amputacions congènites)

Manuals per a identificar característiques dels diferents tipus de pròtesis:

<http://www.bebionic.com>

<http://www.robotha.com/>

http://robots-argentina.com.ar/Sensores_magnetismo.htm

<http://rehabilitacionymedicinafisica.blogspot.com/2010/08/darpa-departamento-de-cientificos-locos.html>

<http://www.popsi.com/scitech/article/2006-03/magic-touch>



Puga Guzman, S. *Diseño de controladores robustos para sistemas mecánicos subactuados*. Tesis.

http://www.scielo.unal.edu.co/scielo.php?pid=S0120-56092006000300001&script=sci_arttext

Ressenya històrica de les pròtesis

Revista Universitaria: *Robòtica i Pròtesis Inteligents* Autor: Jesús Manuel Dorador González.

La mà

ROUVIÈRE, H. i DELMAS, A. "*Anatomía humana descriptiva, topogràfica y funcional*" Tomo 3 - Miembros. Editorial Masson, 2005.

NETTER, F.H "*Sistema musculoesquelético; Anatomía, fisiología y enfermedades metabólicas*". Tomo 8.1A. Editorial Salvat, 1990.

TESTUT, L i LATARJET, A. "*Anatomía Humana*". Tomo 1 - Osteología, Artrología, Miología. Editorial Salvat, 1981.

PALASTANGA, N i FIELD, D et.al. "*Anatomía y movimiento humano. Estructura y funcionamiento*". Editorial Paidotribo, 2000.

DUFOUR, M i PILLU, M. "*Biomecánica funcional*". Editorial Masson, 2006.

http://www.felipeisidro.com/curso_direccion_programas_fitness/anatomia_y_fisiologia/21_mano%20mu%C3%B1eca.pdf

(Ossos que componen la mà)

https://www.ucursos.cl/medicina/2007/2/TOBAFU12/1/material_alumnos/previsualizar?id_material=6572

(Anatomia de la mà humana en general)



http://www.elportaldelasalud.com/index.php?option=com_content&task=view&id=121&Itemid=34&limit=1&limitstart=0

(Anatomia de la mà humana en general)

<http://www.assh.org/Public/HandAnatomy/Pages/default.aspx>

(Anatomia de la mà humana en general)

<http://moon.ouhsc.edu/dthomps/namics/hand.htm#funct>

(Tipus d'agafaments)

http://www.eng.lbl.gov/~dw/projects/DW4131_Ergoforces_mearsurments/Dissertation_pinchgrip_torque.pdf

(Tipus d'agafaments)

En les funcions sensorials, el Dr. Xavier Navarro ens va proporcionar documents seus amb informació que vam utilitzar.

Transmissió d'impulsos nerviosos

POIRIER, Jaques. *"El sistema nervioso"*. Editorial Mosaicos, 2004.

ESCOBAR, Martha I. i PIMIENTA, Herman J. *"Sistema nervioso"*. Programa editorial Universidd del Valle, 2006.

RHOADES, Rodney A. i TANNER, George A. *"Fisiologia médica"*. Editorial Masson, 1996

HAINES, Duane E. *"Principios de neurociencia"*. Editorial Elsevier Science, 2003

BERNE, Robert M. i LEVY, Matthew N. *"Fisiología"*. Editorial Harcourt, 2001

<http://www.iqb.es/neurologia/visitador/v001.htm>

(Teixit nerviós)



<http://www.monografias.com/trabajos11/sisne/sisne.shtml>

(Sistema nerviós central)

http://docencianacional.tripod.com/primeros_auxilios/anato4.htm

(Sistema nerviós central)

<http://www.monografias.com/trabajos12/edufis/edufis.shtml#BULBO>

(Sistema nerviós central)

<http://www.bioygeo.info/pdf/SNP.pdf>

(Sistema nerviós perifèric)

<http://psicopsi.com/psicologia-fisiologia-respuesta-lucha-huida-S-N-S>

(Sistema nerviós perifèric)

<http://mesa2-vm.blogspot.com/2009/06/la-bomba-de-sodio-y-potasio-nak.html>

(Impulsos nerviosos)

<http://html.rincondelvago.com/unidad-motora.html>

(Sistema neuromuscular)

http://apuntesenfermeria2.iespana.es/2006/la_unidad_neuromuscular.pdf

(Sistema neuromuscular)

<http://intranet.iesmediterraneo.es/filesintranet/LA%20CONTRACCION%20MUSCULAR.pdf>

(Sistema neuromuscular)

Captació i registre de senyals electromiogràfics

GOWITZKE, Barbara A. i MILNER, Morris. *“El cuerpo y sus movimientos: bases científicas”*. Editorial Plaidotribo.

<http://www.dalcame.com/emg.htm>

(Elèctrodes)

http://www.uam.es/personal_pdi/medicina/algvilla/seminarios/musculo.html



(Elèctrodes)

<http://telemedicina8.tripod.com/html/emg.html>

(Elèctrodes)

<http://www.neurofisiologiaclinica.info/id19.html>

(Electromiografia)

http://www.ai.unicauca.edu.co/publicaciones/ASB_CIHM.pdf

(Electromiografia)

<http://personals.ac.upc.edu/victorr/pdf/caseib02.pdf>

(Electromiografia)

Pròtesis biòniques

Article: MICERA, Silvestro i NAVARRO, Xavier. *“Bidirectional interfaces with peripheral nervous system”*. Publicat a: International Review of Neurobiology, Vol. 86. 2009

<http://thefutureofthings.com/articles/1004/mind-controlled-bionic-limbs.html>

(Pròtesis, en concret biòniques, i els avenços al llarg de la història)

<http://redalyc.uaemex.mx/pdf/614/61412194007.pdf>

(Comparativa entre mioelectricitat i biònica)

<http://neurofisiologiagranada.com/emg/emg-quees.htm>

(Comparativa entre mioelectricitat i biònica)