

Treball final de grau

Estudi: Grau en Enginyeria Mecànica

Títol: Re-disseny d'una fèrula immobilitzadora dinàmica de canell

Documents: DOC Nº1 MEMÒRIA I ANNEXOS

Alumne: Benjamin J.J Labie

Tutor: Dra. Inès Ferrer Real

Departament: Enginyeria Mecànica i de Construcció Industrial

Àrea: Enginyeria Mecànica

Convocatòria (mes/any): Juny 2017

INDEX

MEMÒRIA

1 INTRODUCCIÓ	5
1.1 Antecedents	5
1.1.1 Peticionari	6
1.1.2 Entorn i croquis	6
1.1.3 Exposició del problema	7
1.2 Objecte del projecte	8
1.3 Requeriments i abast.....	8
1.3.1 Requeriments.....	8
1.3.2 Abast del projecte	8
2 DESCRIPCIÓ GENERAL	8
2.1 Moviments de la mà	9
2.2 Descripció de la paràlisi del nervi radial	10
2.3 La ortesis: tipus i funcions	13
3 DESENVOLUPAMENT DEL PROJECTE	15
3.1 Estudi de la biomecànica del canell i de la mà.	15
3.2 Benchmarking.....	15
3.3 Anàlisi funcional	20
3.4 Taula de requeriments	25
3.5 Matriu morfològica.....	27
3.6 Disseny conceptual.....	31
3.7 Propostes de dissenys	34
3.8 Disseny final.....	39
4 MUNTATGE DE LA FÈRULA	41
4.1 Introducció	41
4.2 Requeriments del material TURBOCAST	41
4.3 Fabricació del perfil baix i de la fèrula del polze	42
4.4 Components extres	43
5 RESUM DEL PRESSUPOST	45
6 CONCLUSIONS	46
6.1 Estudis futurs.....	47
7 RELACIÓ DE DOCUMENTS.....	48
8 BIBLIOGRAFIA	49

ANNEXOS

ANNEX A: CÀLCULS	52
A.1 Introducció	52
A.2 Càlculs preliminars a la personalització dels components.	52
A.3 Personalització dels components.....	57
ANNEX B: MATERIALS	59
B.1 Introducció	59
B.2 TURBOCAST	60
B.2.1 Definició	60
B.2.2 Característiques i avantatges dels embenats realitzats amb material termoplàstic	60
B.2.3 Camps d'aplicació dels embenats confeccionats amb material termoplàstic	61
B.2.4 Estudi dels efectes biofísics i del compliment de normes en quan respecte el funcionalisme i adequació.....	62
B.3 ABS	63
B.3.1 ABS a la impressió 3D.....	65
B.3.2 Propietats generals de l'ABS	66
B.3.3 Obtenció de l'ABS.....	68
B.3.4 Conformació de l'ABS.....	70
B.3.5 Reciclatge	71
B.3.6 Aplicacions	71
ANNEX C: BIOMECÀNICA DE LES EXTREMITATS SUPERIORS	73
C.1 Descripció del moviment.....	74
C.1.1 Arc normal d'amplitud de moviments contra els requeriments de moviments funcionals. ..	75
C.1.2 Moviments sinèrgics del canell i de la mà.....	75
C.2 Estabilitat	76
C.3 Força	76
C.3.1 Components funcionals essencials de la mà.	76
C.4 Principis i components de les ortesis de l'extremitat superior	79
C.4.1 Ortesis de materials termoplàstics de baixa temperatura	79
C.4.2 Ortesis de repòs del canell i mà	80
C.4.3 Plantejament de l'equip en relació amb el tractament ortopèdic	81
C.4.3.1 Preparació	81

MEMÒRIA

1 INTRODUCCIÓ

1.1 Antecedents

La paràlisi nervi radial del braç és una malaltia que durant molt de temps els metges i fisioterapeutes han tingut que tractar. És una lesió que afecta a molta gent, que pot afectar a qualsevol persona i sovint pot tenir un llarg període de recuperació. Les conseqüències d'aquesta paràlisi poden arribar a generar: Sensacions anormals en la part posterior de la mà o del costat del polze, o en el polze i en 2on i 3er dit. Debilitat, pèrdua de coordinació dels dits de la mà. Dificultat per estendre el braç a l'altura del colze. Dificultat per flexionar la mà cap enrere en el canell o sostenir la mà. Dolor, entumiment, disminució de la sensibilitat, formigueig o sensació d'ardor en les zones controlades pel nervi. En el curs 15-16, un estudiant de fisioterapeuta de EUSES va plantejar un nou protocol per la rehabilitació d'aquest tipus de patologia, així com també la possibilitat de fer un nou disseny d'una fèrula immobilitzadora de canell que es pugues personalitzar. Es caracteritzava per:

- **El seu caràcter innovador en el tractament ortopèdic:** Utilitzar dissenys 3D estàndards i escanejos 3D permet disminuir "l'operador dependent" de la fabricació de ortesis, augmentar la reproductibilitat, facilitar la fabricació i baixar el cost; beneficiarà tant al pacient com el professionals en la salut.
- **Per la seva repercussió a nivell social i econòmic:** Encara que sigui una patologia poc comuna, la paràlisi del nervi radial requereix un període de rehabilitació llarg tenint una pèrdua de funcionalitat, i en conseqüència un cost social i sanitari elevat. La descripció i verificació de un nou protocol de fisioteràpia estàndard i la inclusió de ortesis impreses en 3D, suposaran un avanç en la qualitat de vida del pacient i així una disminució de la repercussió social

Per tant, la ortesis es caracteritzarà en que es pugui personalitzar, que sigui funcional, lleuger, econòmica, que permeti certs moviments i que es pugui adaptar en funció del tipus de rehabilitació recomanat per especialistes.

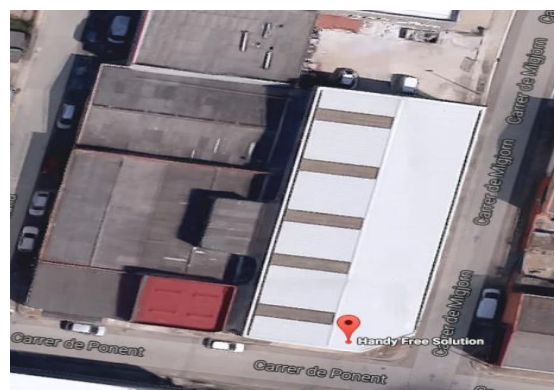
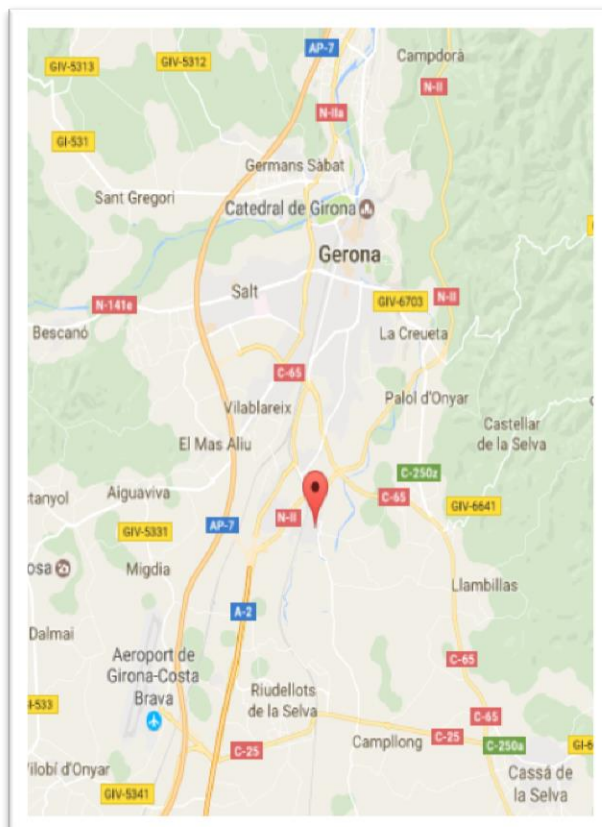
Així doncs el peticionari del projecte ens demana plantejar un nou disseny de fèrula dinàmica, la qual integri els aspecte estudiats en l'anterior projecte i que permet al pacient uns certa flexibilitat de moviments.

1.1.1 Peticionari

L'empresa Handy Free Solutions és una empresa dedicada al disseny i fabricació de productes orto-pròtesis mitjançant tecnologies CAD-CAM. Sota una filosofia d'equip de treball multidisciplinari (ortopèdics, informàtic, enginyer i podòleg) es desenvolupen diferents solucions i productes. Es troba situada a la població de Fornells de la Selva C/ Ponent 8, 17458.

1.1.2 Entorn i croquis

Fornells de la Selva C/ Ponent 8, 17458.



1.1.3 Exposició del problema

La recuperació d'un pacient, segons l'accident o la patologia que ha tingut, acostuma a ser llarga, dolorosa i costosa. Tot i que evidentment pot variar en funció si té un trencament o un esquinç, o si es necessita o no intervenció quirúrgica.

Aquest projecte s'enfoca en la zona de les extremitats superiors, concretament en la zona de l'avantbraç i del canell. Es centra en la recuperació d'una post-intervenció quirúrgica degut als trencaments dels lligaments dels dits i del canell, ja que aquest trencament pot ser una de moltes causants que afecta i provoqui una lesió en el nervi radial (com per exemple la fractura de l'húmer, diabetis, etc.). Com a conseqüència de l'operació sovint hi ha inflamació, però després, durant el seu període de recuperació, es necessari algun tipus de dispositiu que faciliti al pacient la recuperació de certs moviments, així com també agilitzi la rehabilitació sense la necessitat de tornar al metge i que pugui gaudir la vida quotidiana sense cap impediment. En el període de rehabilitació, el terapeuta recomana l'ús d'analgèsics, injeccions, fèrules de repòs o exercicis de teràpia física per ajudar a mantenir la força muscular del braç. Com s'ha comentat anteriorment, l'individu té una pèrdua de mobilitat considerable, i els moviments afectats són **l'extensió** (l'extensió de la mà és un moviment d'estirament del canell, de la mà i dels dits) i **la flexió** (es correspondria amb el tancament de la mà, canell i dits en direcció a la part inferior del braç), dos moviments primordials que caracteritza l'esser humà. En general, l'objectiu del tractament es permetre el pacient utilitzar la mà i el braç lo màxim que pugui i aconseguir una bona recuperació dels dos moviments esmentats.

Tot i que en el mercat existeixen una ampla varietat de catàlegs i productes amb diverses funcionalitats, la majoria són bastant antiquats i han evolucionat relativament poc en els últims anys (des de els seus orígens en la Primera Guerra Mundial). Els fisioterapeutes i metges relacionats amb el projecte consideren que seria molt interessant intentar renovar i millorar alguns dels aspectes dels productes que es troben al mercat. De forma que realment posen en evidència que existeix una necessitat d'innovació en el sector.

1.2 Objecte del projecte

Projectar una fèrula o ortesi dinàmica per agilitzar la recuperació dels pacients que han estat intervinguts quirúrgicament degut a la paràlisi del nervi radial. Es regirà per un conjunt de requeriments imposats pel peticionari.

1.3 Requeriments i abast

L'abast del projecte és el disseny d'una ortesis funcional de mà dinàmica per una rehabilitació post-quirúrgic. El client demana una sèrie de característiques les quals seran les que regiran aquest projecte.

1.3.1 Requeriments.

Es vol aconseguir una fèrula que permeti la recuperació de certs moviments i que li doni la llibertat per fer-ne d'altres relacionats amb la vida quotidiana. Sota aquest condicionant principal es pretén millorar i re-dissenyar el producte tenint en compte els processos de fabricació. Per a què fos resistent (recerca d'un material adequat relació qualitat-preu) i econòmicament assequible (preu al voltant de 60-80 €). Més endavant es comprovarà si es compleix el requisit del preu.

1.3.2 Abast del projecte

Inclou la part formal del re-disseny del producte: captació i definició d'especificacions a partir de la interacció amb ortopedics i fisioterapeutes. El disseny de diferents alternatives, així com desenvolupar algun prototip de la solució que es decideixi la més adequada.

2 DESCRIPCIÓ GENERAL

En aquesta secció, es fa una breu introducció dels moviments de la mà i del vocabulari mèdic bàsic per garantir el seguiment del projecte, tot seguit s'explica com pot aparèixer la paràlisi del nervi radial, i finalment es parla de la funcionalitat de la ortesi i les diferents tipologies que hi ha.

2.1 Moviments de la mà

En aquesta secció s'explicarà el vocabulari necessari i es mostrarà de forma gràfica els diferents moviments dels dits, del canell i del dit gros, per tal de garantir un bon seguiment del projecte. Aquests moviments són: flexió del canell (fig.1), extensió del canell (fig.2), flexió dels dits i polze (fig.3), extensió dels dits i polze (fig.4) i oposició del polze (fig.5).



Figura 1: Flexió del canell



Figura 2: Extensió del canell



Figura 3: Flexió dels dits i polze



Figura 4: Extensió dels dits i polze



Figura 5: Oposició del polze

També s'ha de parlar de la diferencia entre moviment passiu i actiu, ja que són dos accions importants a recordar durant el projecte. **Un moviment o exercici actiu** és un conjunt d'exercicis analítics o globals, realitzats pel pacient amb la seva pròpia força de forma voluntària i controlada, corregits o ajudats pel fisioterapeuta. En canvi, **el moviment o exercici passiu** és un conjunt de tècniques que s'aplica sobre la estructura afectada, sense que el pacient realitzi cap moviment voluntari de la zona que s'ha de tractar. El pacient no intervé en absolut, no presenta ni ajuda ni resistència en la realització dels exercicis.

2.2 Descripció de la paràlisi del nervi radial

La paràlisi nervi radial té un origen molt variable (per traumatisme, neurològic, etc). El més habitual és per una fractura de l'húmer. La lesió pot produir-se en diversos llocs en el trajecte del nervi que va des de les cervicals fins la mà. El nervi radial es divideix en dos, en el nivell del colze:

- La branca profunda, que dona al nervi interossi posterior i és responsable de la funció motora.
- La branca superficial que és responsable de la funció sensitiva.

El projecte està enfocat a pacients que tenen una afectació de la musculatura innervada pel nervi radial en qualsevol dels nivells que s'han comentat abans. Com a conseqüència, aquests pacients són incapaços de fer l'extensió de la mà (ref figura 2), dels dits i del dit gros. No obstant encara són capaços de fer la funció de pinça és a dir, que poden agafar coses. Aquests pacients tampoc tindran cap alteració en la desviació de la mà.

La paràlisi del nervi radial, com el seu nom indica, és un problema relacionat amb el nervi radial. És el nervi que va des de la axil·la baixant per la part posterior del braç fins la mà. Aquest ajuda a moure el braç, el canell i la mà .

Causes principals

El dany a un grup de nervis, com el nervi radial, es diu mono neuropatia, que vol dir que hi ha mal a un sol nervi. Tant els trastorns locals com els generalitzats poden causar danys només a un nervi.

Les causes de la mono neuropatia inclouen: Una malaltia a tot el cos que fa mal a un sol nervi, una lesió directa al nervi, una pressió perllongada sobre el nervi,

una pressió sobre el nervi causada per una inflamació o lesió de les estructures corporals properes.

La neuropatia radial es presenta quan hi ha dany del nervi radial, que baixa pel braç i controla:

- El moviment del múscul tríceps situat a la part post-superior del braç.
- La capacitat per flexionar el canell i els dits cap enrere (ref. Figura 1).
- El moviment i la sensibilitat del canell i la mà.

Quan el mal destrueix el revestiment del nervi (capa de mielina) o part d'aquest nervi, les senyals nervioses són lentes o inexistent.

El dany al nervi radial pot ser ocasionat per diversos factors: una fractura de l'ós del braç o una altra lesió, diabetis, ús inadequat de crosses, intoxicació per plom, contracció perllongada o repetitiva del canell (per exemple, per l'ús de rellotges de polsera atapeïdes), pressió perllongada sobre el nervi, generalment causada per inflor o lesió d'estructures corporals properes; pressió a la part superior del braç a causa de postures del braç durant el son o estat de coma. En alguns casos, no es pot trobar cap causa.

Síntomes

Els símptomes poden ser els següents:

- Sensacions anormals a la part posterior de la mà o del costat del polze, o al polze i al 2n. i 3r. dit.
- Debilitat, pèrdua de coordinació dels dits de la mà.
- Dificultat per estendre el braç a l'altura del colze.
- Dificultat per flexionar la mà cap enrere al canell o sostenir la mà (ref. Figura 1).
- Dolor, entumiment, disminució de la sensibilitat, formigueig o sensació de cremor en les àrees controlades pel nervi.

Proves i exàmens

El proveïdor d'atenció mèdica l'examinarà i li farà preguntes sobre els símptomes i la seva història clínica. Li preguntarà què estava fent abans que comencessin els símptomes. Es poden necessitar els següents exàmens:

- Exàmens de sang.
- Exàmens d'imatges per veure el nervi i les estructures properes.
- Electromiografia (EMG) per revisar la salut del nervi radial i dels músculs que controla.
- Biòpsia del nervi per examinar una part del nervi (poques vegades es necessita).
- Exàmens de conducció nerviosa per revisar la velocitat a la que viatgen les senyals nervioses.

Tractament a seguir

L'objectiu del tractament és permetre que utilitzi la mà i el braç tant com pugui. El terapeuta ha de trobar i tractar la causa, si és possible. En alguns casos, no es requereix cap tractament i el pacient es recuperarà de manera espontània.

Si es necessiten medicaments, aquests poden incloure:

- Analgèsics de venda lliure o amb recepta.
- Injeccions de corticosteroides al voltant del nervi per reduir la inflamació i la pressió.
- És probable que el fisioterapeuta recomani mesures d'auto-cura . Aquestes poden incloure:
 - Una fèrula de suport, ja sigui al canell o al colze, per ajudar a prevenir més lesions i alleujar els símptomes. És possible que necessiti utilitzar-lo tot el dia i tota la nit, o només durant la nit.
 - Una colzera si el nervi radial està lesionat al colze. Evitar recolzar-se sobre el colze.
 - Exercicis de teràpia física per ajudar a mantenir la força muscular al braç.

La cirurgia per alleujar la pressió sobre el nervi pot ajudar si els símptomes empitjoren o si hi ha evidència que el nervi s'està desgastant.

Expectatives o pronòstics

Si la causa de la disfunció del nervi es pot identificar i tractar amb èxit, hi ha una bona possibilitat d'una recuperació total. En alguns casos, pot haver-hi una pèrdua parcial o completa del moviment o de la sensibilitat.

Complicacions que poden aparèixer

Les complicacions poden incloure:

- Deformatat de la mà que pot anar de lleu a severa.
- Pèrdua parcial o total de la sensibilitat a la mà.
- Pèrdua parcial o total dels moviments del canell i la mà (ref. Figura 1,2,3,4,5), anomenat també rigidesa no desitjada.
- Lesió recurrent o inadvertida a la mà.

Quan contactar a un professional mèdic?

Contactar amb un especialista si es té una lesió al braç i presenta entumiment, formigueig, dolor o debilitat en la part posterior del braç, el polze i els seus 2 primers dits.

Com es pot prevenir?

Eviti la pressió perllongada sobre el braç.

Quedar clar que la paralisi del nervi radial és una malaltia que es pot tractar de diferents formes amb diferents resultats de recuperació. En aquest projecte s'opta per una recuperació mitjançant per una fèrula o ortesis. En la següent secció es parla dels diferents tipus i funcions que pot arribar a proporcionar una ortesis.

2.3 La ortesis: tipus i funcions

Una ortesis, segons la definició de l'Organització Internacional de Normalització (ISO), és un suport o un altre dispositiu extern (aparell) aplicat al cos per modificar els aspectes funcionals o estructurals del sistema neuro-múscul-esquelètic.

El terme s'usa per a denominar aparells o dispositius, fèrules, ajudes tècniques i suports usats en ortopèdia, fisioteràpia i teràpia ocupacional que corregeixen o faciliten l'execució d'una acció, activitat o desplaçament, procurant estalvi

d'energia i major seguretat. Serveixen per sostenir, alinear o corregir deformitats i per millorar la funció de l'aparell locomotor.

Es diferencien de les pròtesis en no substituir, parcialment o totalment, un òrgan o membre amb incapacitat física, invalidesa o dissimetria, sinó reemplaçar o reforçar les seves funcions.

Els tipus d'ortesis o les fèrules es poden classificar en: **estàtica i dinàmica**.

La fèrula estàtica impedeix el moviment i així produeix repòs de les parts afectades. Per desgràcia aquest tipus de fèrules poden causar atrofia per manca d'ús, debilitat, rigidesa i dependència. Mai s'ha de fer servir durant un lapse més gran que el que està indicat en forma fisiològica. La fèrula només ha d'immobilitzar les articulacions en qüestió. Ha de tenir superfícies llises i adaptar-se amb exactitud, evitant pressions no desitjades en prominències òssies o nervioses.

La fèrula dinàmica, funcional o cinètica pot permetre, orientar, prevenir i crear, o resistir de forma activa els moviments. Per necessitat existeix un cert grau de moviment en frontissa i hi ha també hi ha alguna font d'energia: **l'energia intrínseca i extrínseca**. L'energia intrínseca utilitza els propis músculs del pacient. L'energia extrínseca fa servir elàstics, filferros de tensió, ressorts o fins i tot unitats electròniques o pneumàtiques.

Les fèrules dinàmiques es fan servir per vèncer l'efecte de la gravetat, corregir la contractura que millora l'arc de moviment. Poden oferir resistència per practicar exercicis actius.

Pel que fa les funcions de les ortesis, estableixen o immobilitzen les articulacions en la posició desitjada per descansar les articulacions, tendons, lligaments i músculs. Preven de contractures o deformitats i també de moviments no desitjats. Estira gradualment la contractura per incrementar l'arc de moviment i substitueix la funció muscular perduda. Conserva els èxits que es van assolir per manipulació, cirurgia correctiva o procediments de reconstrucció. Alleuja el dolor.

El treball s'enfocarà als pacients amb un dèficit d'extensió passiva del canell, dels dits i del polze esperant una recuperació o una cirurgia pal·liativa per evitar que s'instal·li una rigidesa no desitjada.

3 DESENVOLUPAMENT DEL PROJECTE

En aquest apartat s'explica els diferents passos que s'han seguit per desenvolupar el projecte. Per arribar a l'idea d'un prototip s'ha tingut de dur a terme les següents fases: 1) Benchmarking, 2) Anàlisi funcional, 3) Definir els requeriments d'enginyeria del projecte, 4) Desplegar la matriu morfològica, 5) Proposta de diferents dissenys conceptuals, 6) Muntatge de la fèrula.

3.1 Estudi de la biomecànica del canell i de la mà.

S'ha estudiat el comportament de la mà i del canell, per tal de conèixer més en profunditat les funcions i limitacions que poden oferir i que ens pot ajudar en el desenvolupament del projecte. Està àmpliament explicat en l'Annex C.

3.2 Benchmarking

En aquest projecte s'ha considerat molt important fer un estudi de mercat, el qual ensenya el procés continu de mesurament de dades sobre productes, serveis i processos propis respecte als competidors que estan reconeguts com a líders en les ortesis. El mercat de les ortesis ofereix una gran varietat o tipus d'ortesis segons la seva funcionalitat i objectiu de recuperació. No obstant, el projecte es regirà en les ortesis d'extremitat superior, concretament en la zona del canell i de la mà. Es per això que en la taula 1 s'ensenyen els 4 tipus d'ortesis més importants dedicada a la recuperació de les zones interessades:

- La ortesis Oppenheimer va ser unes de les primeres fèrules comercialitzades en massa. Es caracteritza per la seva senzillesa, lleugeresa i fàcil de vestir. Durant els darrers anys s'ha renovat utilitzant nous materials, com làtex i folre de pelfa, substituint el guix. Els fabricants ofereixen un servei personalitzat i un producte amb diferents talles. Té un preu assequible i es pot comprar en qualsevol botiga o pàgina web especialitzada en ortesis. No obstant, té moltes limitacions: és una fèrula molt fluixa, inestable i reparteix malament les forces que en conseqüència poden aparèixer lesions posteriors.
- La ortesis de suspensió Thomas és una variació millorada de la fèrula anterior. Es diferencia amb l'Oppenheimer pel fet de que la palma de la

mà i els dits estan en suspensió i que reparteix les forces a la part superior de l'avantbraç, que a diferencia de l'anterior, la palma de la mà descansa sobre un punt de suport i les forces estan repartides en el canell i en la base inferior de l'avantbraç. Els materials que utilitza són els mateixos que l'Oppenheimer. Els fabricants ofereixen un servei personalitzat amb diferents talles del producte. Es caracteritza en la seva regulació de la tensió gracies a un ganxo d'acer inoxidable i una goma. Els seus punts febles són: és molt molest a la hora de vestir, no fa cap acció al canell en el cas que volem que es recuperi i fa una tracció massa al primer dit. Té un preu assequible (35 €) i es pot en qualsevol botiga especialitzada.

- La ortesis de Godebout-Ster és una de les fèrules més sofisticades avui dia. Pel projecte és la més interessant. Antigament era molt complicada realitzar-la i produir-la, ja que els materials que utilitzaven limitava el procés (guix, cordills, filferro, etc.) i era una feina artesanal construir-la. Però en S.XXI, hi ha una gran varietat de materials lleugers i plàstics. En aquest cas, s'utilitza plàstics termo-formables de baixa temperatura que s'adapta a qualsevol pacient. Redueix considerablement el temps de fabricació. Com en les fèrules anteriors, els fabricants ofereixen un servei personalitzat amb diferents talles. Té molts d'avantatges: no molesta a la hora de vestir, subjecta la palma de la mà gracies a una fina tira (evitant lesions posteriors, facilita els moviments i la respiració de la palma de la mà). Subjecta individualment cada dit millorant la precisió gestual i reparteix molt bé les forces evitant possibles dolors. Té un preu superior a les fèrules anteriors, però tot s'ha de dir que és un producte especialitzat i específic per un cert tipus de lesions. Això si, es pot comprar en qualsevol pàgina web o botiga especialitzada.
- Ortosis modernes amb materials termoplàstics. En el curs 15-16, un fisioterapeuta i un grup de màrqueting van dissenyar una fèrula immobilitzadora pel canell. Una de les seves característiques era el seu disseny innovador en forma d'ona sinusoidal i el seu pes lleuger (ref. Figura 6). El problema és que la fèrula va resultar fràgil, costosa a la hora de la fabricació (ús de certs de materials i disseny de la pròpia fèrula), i una ineficàcia en el seu objectiu principal (aquesta fèrula no feia la seva funció esperada). Es podria considerar que el grup que va desenvolupar aquesta fèrula van dissenyar “un guix car” sense pensar en les

necessitats reals dels malalts. Apart d'això, també es pot trobar una multitud d'empreses especialitzades que s'han renovat al llarg dels anys utilitzant nous materials, en general de la família dels termoplàstics, tenint una bona acceptació del públic. Per exemple, l'empresa UNIPROX ofereix un catàleg variat amb unes ortesis que s'adapten a múltiples i tipus de malalties (ref. Figura 7).



Figura 6: Fèrula XKELET (*Recurs Xkelet.com*)



Figura 7: Ortesis UNIPROX Daho 2.6
(*Recurs Uniprox.de*)

Seguidament, es mostra en la **Taula 1** un resum de les explicacions esmentades en els punts anteriors:

Re-disseny d'una férula immobilitzadora dinàmica de canell
Memòria i Annexos

BENCHMARK							
PRODUCTE	IMATGE	MATERIAL	TIPUS DE PRODUCTE	AVANTATGES	LIMITACIONS	FABRICANT	PREU
Oppenheimer Spring Wire Orthosis		- Bandes de goma de làtex. - Folre de pelfa. - Acer de ressort (acer al carboni trempat).	Personalitzat	- La més senzilla. - La més fàcil de posar. - Molt comercialitzada (diferents talles). - Combinació mecànica senzilla.	- Molt fluix. - Inestable. - Mala repartició de les forces (lesions posteriors).	Bunnell Splint	33,95 \$
Combination Oppenheimer with Dynamic Wrist and IP Extension Orthosis		- Bandes de goma de làtex. - Folre de pelfa (tractament antimicrobià). - Acer de ressort (acer al carboni trempat). - Acer inoxidable mal-leable	Personalitzat	- Proporciona el canell, dits index i polze extensió dinàmica per obrir la mà alhora que permet la flexió activa. - Per tancar el puny, els dits han de flexionar contra la resistència banda i tornar a l'extensió quan està relaxat.	- Inestable. - Poc fiable en la funció i en els aspectes de la recuperació.	Bunnell Splint	59,95-2256\$
Thomas Suspension Ortesis		- Bandes de goma de làtex. - Folre de pelfa (tractament antimicrobià). - Acer inoxidable	Personalitzat	- Aquesta no suporta com la ortesi anterior, sinó que fica els dits en suspensió gracies a un ganxo i una goma. - La tensió és regulable.	- Molt molest. - No fa cap acció sobre el canell. - Fa una tracció massa gran al primer dit.	Bunnell Splint	33,95 \$
Ortesis de Godebout-Ster		- Material termo formable a baixa temperatura (plàstics, PLA...). - Làtex. - Alumini.	Personalitzat	- No és gens molest. - Subjecció de la palma de la mà per una fina tira. - Subjecció individual de cada dit així els hi permet més llibertat i augmenta la precisió gestual. - Reparteix molt bé els punts de suports i així evitar pressions inadequades.	Complicació a la hora de ficar se la el propi pacient.	Rolyan Splinting	146,40 \$

Taula 1 : Taula del benchmarking

3.3 Anàlisi funcional

El anàlisi funcional permet identificar tot el conjunt de funcions i subfuncions que necessita complir el prototip per tal d'assegurar la recuperació del nervi radial. Per complir amb la funció principal de recuperació del nervi radial s'han identificat sis funcions, cada una de les quals, s'ha desagregat en diferents subfuncions. Per entendre millor les articulacions de la mà i del canell a les que es refereix l'anàlisi, vegeu la Figura 8. El conjunt de funcions porten associats uns quantificador que limiten la funció. En conjunt aquesta informació s'ha extret de la recerca, reunions amb doctors, diferents llibres de fisioteràpia, etc. A continuació s'explica cada una de elles de forma més detallada. Tot el desplegament del anàlisi funcional es mostren a la **Figura 14**.

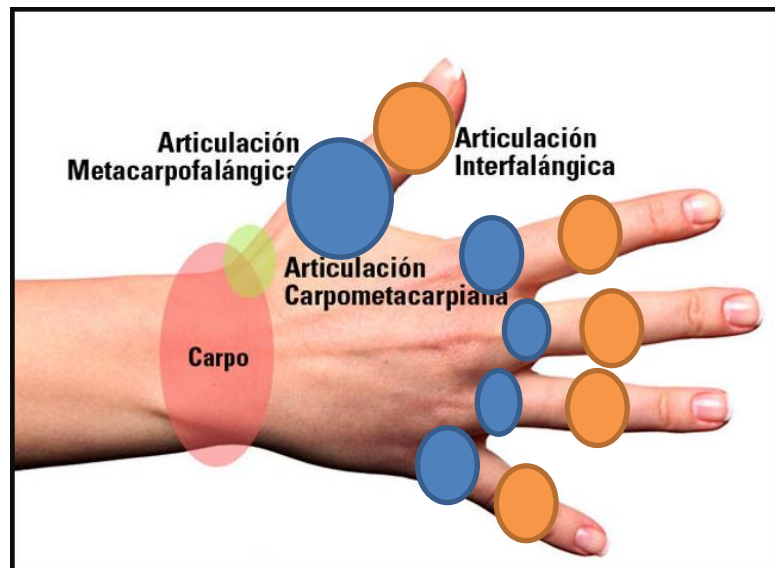


Figura 8: Articulacions principals de la mà i del canell (Rekurs Wikipedia)

- **Articulació Metacarpofalàngica:** Són les articulacions situades entre la mà i els dits, marcades de color blau (ref. Figura 8).
- **Articulació Interfalàngica:** Són les articulacions situades en el centre dels dits, estan marcades de color taronja (ref. Figura 8).

Per entendre millor el significat de cada funció, vegeu a continuació:

- **F1 - Evitar rigiditats:** En el món de la ortopèdia i de la rehabilitació, al contrari que l'enginyeria, la rigidesa pot ser un inconvenient. En aquest cas, s'ha d'evitar rigiditats en el procés de recuperació del pacient. Una mala posició i una manca d'exercicis de rehabilitació pot causar un bloqueig del membre i en conseqüència la seva inutilització. Per tant, s'ha de tenir en compte la posició de la mà (F1.1 i F1.2) i preveure que la persona ha de seguir i exercitar uns moviments de recuperació, sinó poden aparèixer complicacions esmentades en la descripció de la paràlisi del nervi radial.
- **F2 - Posicionament dels dits** (fig. 10): Es refereix a tots els moviments i posicions, que en un estat saludable, fan la mà (amb excepció del polze). Estan esmentades en la descripció general (ref. 2.1 Moviments de la mà). Un bon posicionament dels dits ajuda a recuperar els moviments de flexió i extensió.
- **F3 - Posicionament del polze:** Aquesta funció es refereix a totes les posicions o moviments funcionals del polze, que estan esmentades en la descripció general (ref. 2.1 Moviment de la mà). El polze és l'element important a tenir en compte i a continuació s'explica les posicions fonamentals per la bona recuperació de l'individu:
 1. **Angle d'obertura en extensió del polze en el pla sagital** (fig. 10)
 2. **Angle entre el primer i el segon metacarp** (fig.11)
 3. **Angle entre el primer i el segon metacarp en el pla frontal** (fig.12)
 4. **Angle entre la primera falange i el primer metacarp** (fig.13)
- **F4 - Suportar esforços mecànics:** La fèrula ha de ser capaç de suportar tot el conjunt d'esforços mecànics al que està sotmesa. Entre ells destacar força d'impacte, fatiga, flexió i torsió. Pel que fa el material, es necessita que sigui dúctil, elàstic i de baixa resistència per confrontar els esforços mecànics esmentats (F4.1). Per exemple, la recerca d'un material dúctil i elàstic és perquè la fèrula estarà amb contacte amb la pell humana, i volem evitar danys a la pell. També la fèrula estarà en constant moviment, per tant no ens interessa un material rígid i dur.
- **F5 - Capacitat de moviment:** L'objectiu d'aquest projecte és dissenyar una fèrula dinàmica, per tant ha de ser capacitada per realitzar certes activitats (F5.1) per la bona recuperació del pacient:

- **Extensió:** Moviment de separació de la mà i canell en direcció post anterior.
- **Flexió:** Moviment d'aproximació de la mà i canell en direcció anta posterior, paral·lel al pla sagital.
- **Abducció:** També conegut com a separació, és el moviment d'erecció d'una part del cos respecte el pla de simetria sagital d'aquest, per tant és moviment de direcció transversal.
- **Adducció:** És el moviment en que una part del cos s'aproxima al pla de simetria medial o coronal.

En la Figura 9 s'explica amb detall el diferents plans esmentats en els punts anteriors.

- **F6 - Permetre el gir del canell:** Relacionada amb el punt anterior, aconseguir els moviments desitjats procedeix també d'una llibertat de gir i d'acció del propi canell. És de les funcions més importants en tenir en compte , ja que qualsevol activitat que es vol exercir (F5.1), ho condiciona una bona posició del canell (F6.1).

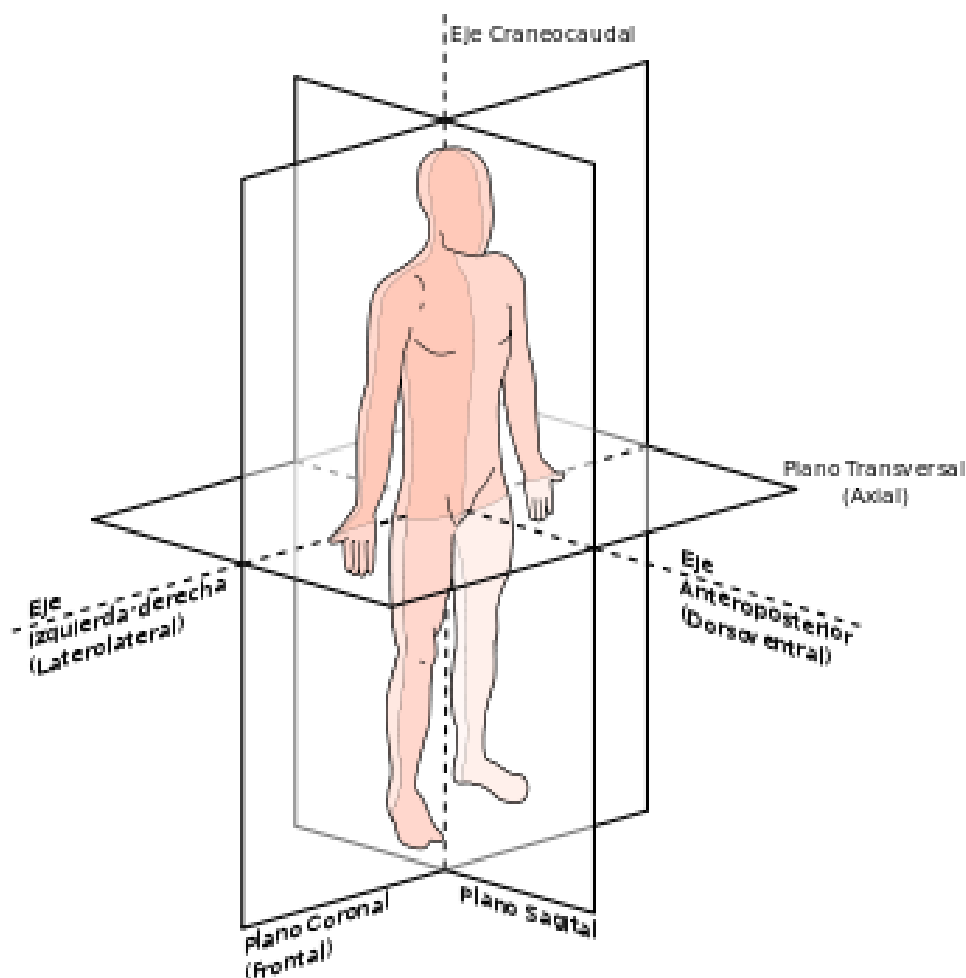


Figura 9: Plans anatòmics del ser humà
(Recurs Wikipedia)

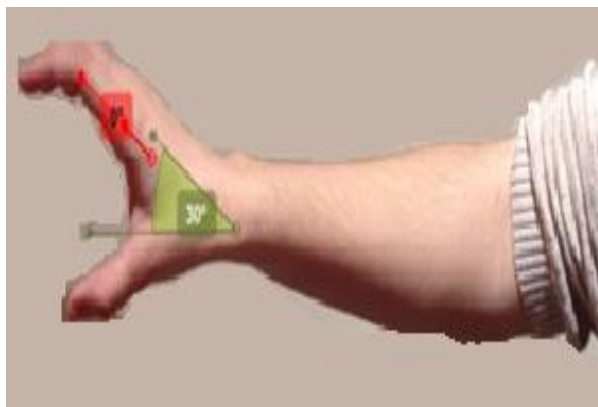


Figura 10

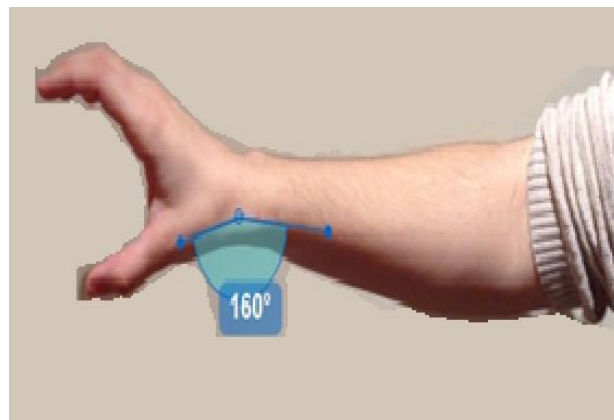


Figura 11



Figura 12

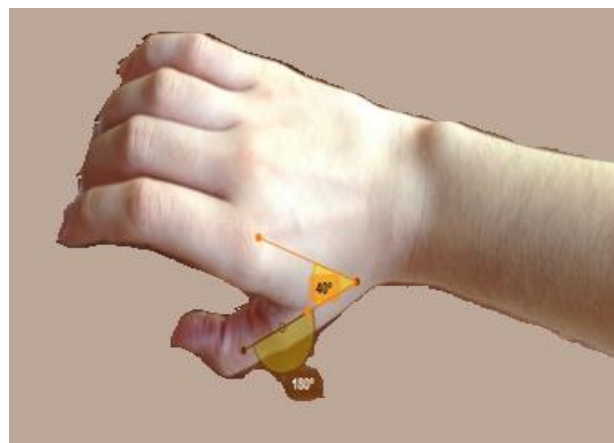


Figura 13

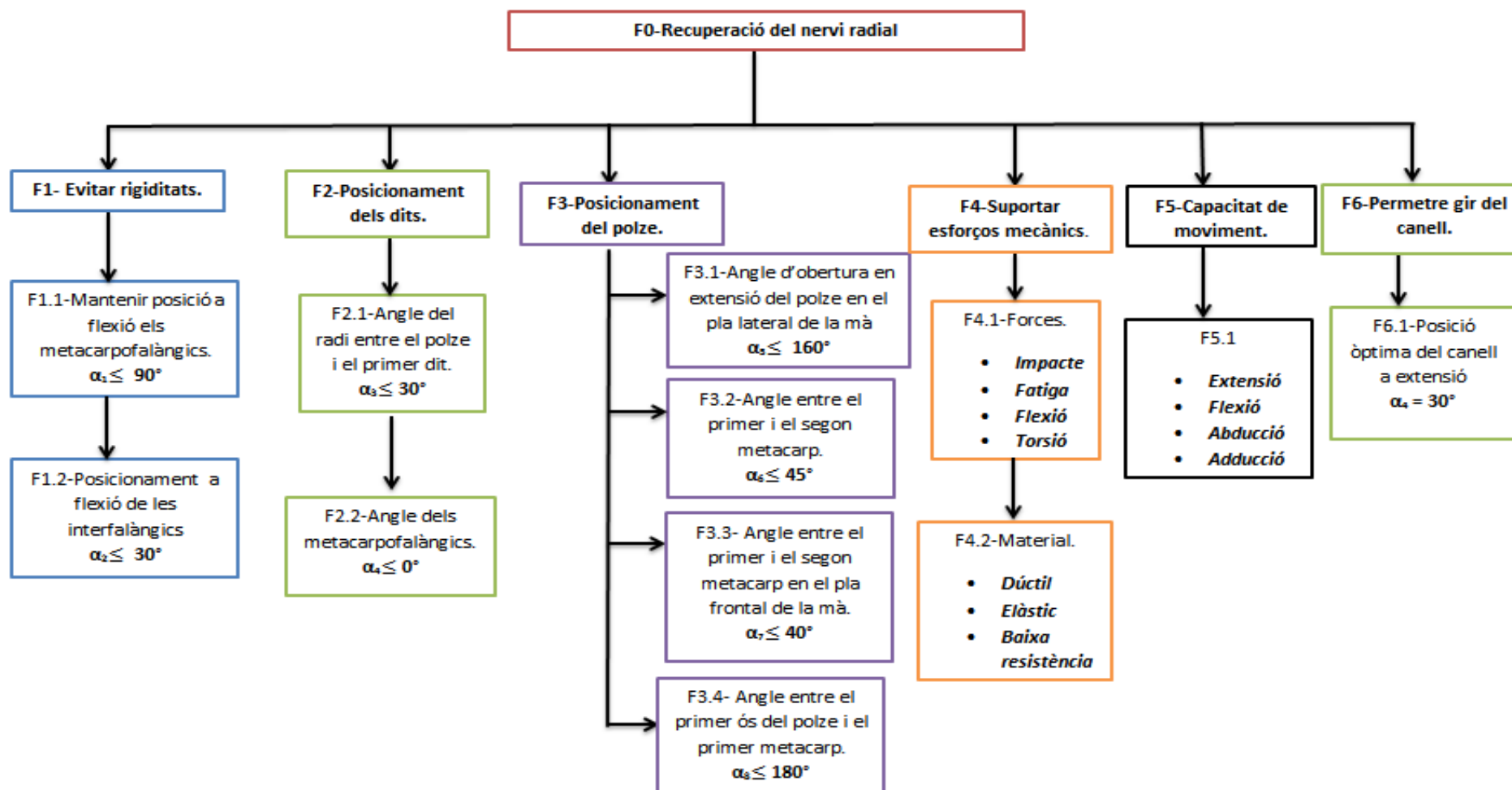


Figura 14: Anàlisi funcional

3.4 Taula de requeriments

Amb la informació recopilada al benchmarking, l'anàlisi funcional, i les diverses reunions amb experts sobre el tema de pròtesis i fisiologia de la mà i canell, com el **DR. Carles Puente** (Cirurgià de mà de renom del Parc Euli de Sabadell) i **Xavier Bosch** (Tècnic i gerent de HANDY FREE SOLUTIONS), s'han recopilat tots els requeriments necessaris per desenvolupar el prototip (taula 2):

REQUERIMENTS D'ENGINYERIA (Cs)	QUANTIFICADOR (Q)	VALORS
Capacitat de moviment	Extensió	
	Abducció	
	Adducció	
	Flexió	
Versatilitat	El client s'anirà recuperant, tot o per parts, les funcions motores (els moviments de la mà i la posició del polze).	Modular
Temps d'instal·lació	Fàcil muntatge pel client, de manera autònoma amb només la mà sana, assistit per un especialista.	T= 2 min
Material	Lleuger	
	No al·lèrgic	
	Rentable (Entorn H2O / Líquids)	
	S'adapti a les diferents superfícies de les extremitats superiors.	Termo-formable
	Transpirable (Evitar mals olors)	
Vida útil	Període de temps en que compleix la seva funció.	6-12 mesos , 8 h al dia de manera discontinua.
Dinàmica	La fèrula ha de poder bloquejar-se un temps per la recuperació de la operació i que després es pugui regular, com per exemple les diferents posicions del polze.	
Revisió periòdica	Interval de temps per veure la progressió del pacient en la fase de recuperació des de un punt de vista mèdic o fisioterapeuta.	1-2 vegades a la setmana.
Còmode	Evitar danys a la pell, com ara llagues o possibles tocadures.	
	Volum disminuït, evitar grans envergadures.	≤ 700 cm ³

Limitació de la pressió sobre el pacient	Pressió aplicada sobre el pacient	$\leq 50 \text{ g/cm}^2$
Requisits fisiològics	El polze s'ha de fer l'oposició i tornar al seu lloc fisiològic.	
	La punta dels dits han de quedar lliures per poder agafar els objectes.	
	Totes les articulacions han de ser articulacions actives.	
Aspecte discret	Color	Blanc, Negra, Beix
Resistència	Impactes	
	Moviments	
	Resistir a fatiga	Ús diari

Taula 2: Taula de requeriments

3.5 Matriu morfològica

En aquesta secció es fa un recull de les diferents solucions que es podrien aplicar amb cada una de les funcions identificades en l'anàlisi funcional. Aquest mètode permet combinar les diferents solucions possibles aplicades a problemes individuals, per poder trobar varies solucions a nivell general. Consisteix en identificar per cada funció diferents solucions de disseny i posteriorment combinar-les per generar solucions finals. Per determinar les solucions físiques pel prototip, s'ha analitzat la informació corresponent a l'anàlisi funcional i a la taula de requeriments mostrades en la fig. 14 i la taula 2.

F1: Evitar rigiditats i F2: Posicionament dels dits.

La forma de resoldre aquestes dues funcions estan relacionades, ja que una bona posició dels dits podem evitar rigiditats i lesions futures. Les solucions donades es per evitar tot això. Una de les opcions consisteix en inserir una articulació cubital a la fèrula. S'adapta molt bé a qualsevol fèrula, és lleuger, regulable (opcions de graduar a diferents angles), permet la flexió-extensió que es busca per la recuperació del pacient i evita qualsevol desviació. La segona opció és utilitzar anells prefabricats. Són lleugers i fàcil de muntar. L'inconvenient és que es crea una tensió individualitzada i l'objectiu és una recuperació conjunta. Una mala regulació en el valor de la tensió pot provocar un mal repartiment de les pressions i provocar lesions no desitjades. La tercera opció es crear un disseny en 3D amb les mides i morfologia corresponent a cada pacient. Aconsegum el posicionament desitjat i per tant evitar rigideses.

F3: Posicionament del polze.

Com anteriorment s'ha comentat, el bon posicionament del polze es primordial en la fase de recuperació del pacient. El polze ha de recuperar la seva posició natural, que és d'una mà sana, per poder aconseguir els moviments bàsics necessaris esmentats anteriorment (ref. 2.1 Moviments de la mà.). Unes de solucions donades és una barra d'unió d'alumini. És lleuger, s'adapta molt bé a qualsevol fèrula, és regulable, evitem desviacions no desitjades i es poden comprar les peces en qualsevol local o catàleg especialitzat. Un altre solució donada i interessant és una molla a tensió. Necessitem que el pacient realitzi certs moviments per la recuperació, com per exemple la pinça o agafar objectes, i la molla s'adaptaria en funció d'aquests moviments. Per exemple, si es vol

obrir la mà o tancar-la, al ser una molla a tensió, tornaria a ubicar el dit en la seva posició natural i funcional gracies a les característiques de la pròpia molla (la seva deformació elàstica és baixa i costaria deformar-la.). La última opció és el mecanisme de la bota d'esquí, però s'ha descartat aquesta solució ja que provocaria una tensió no desitjada en el polze i per tant danys irreversibles.

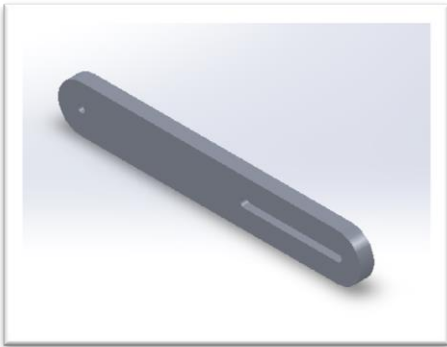
F4: Suportar esforços mecànics i F5: Capacitat de moviment.

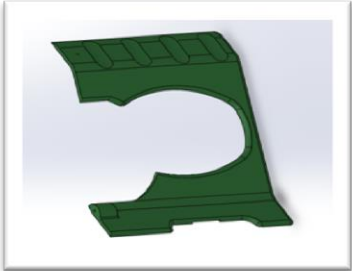
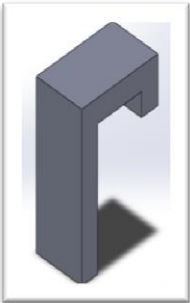
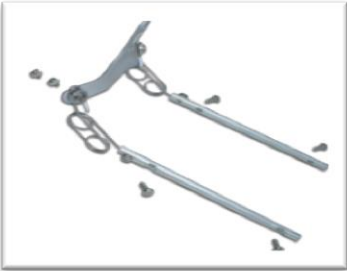
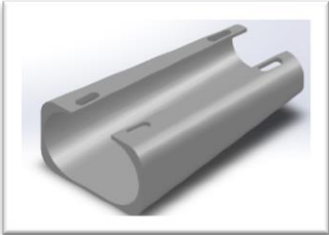
La resolució d'aquestes dues funcions també estan relacionades i el fet que els uneix és el tipus de material. Ha de ser un material flexible, lleuger, antimicrobià i que es pugui aplicar a qualsevol disseny sense limitar el procediment de fabricació. Es proposa diferents tipus de material, com l' ABS, PLA, material termoplàstic de memòria, etc. L'objectiu es que el material es pugui utilitzar en impressora 3D. Com a conseqüència es pot decantar per l'ABS ja que la seva temperatura d'extrusió ronda els 240 °C, requereix llit calent >70 °C (dos factors a tenir en compte quan s'utilitza un impressora 3D), resistent a temperatures altes, flexible i es poden unir peces usant adhesius o dissolvents. L'inconvenient és que es propens a esquerdes i deformacions. O pel PLA, ja que té una temperatura d'extrusió de 200 °C, necessita poca temperatura de llit calent, bona adherència a una gran varietat de superfícies, es poden unir peces usant adhesius especials i es beneficia enormement de la refrigeració de capa durant la impressió. Això si, és més fràgil, es propens a l'ondulació de les cantonades i sortints i es poc resistent a temperatures altes.

F6: Permetre gir del canell.

Es necessita llibertat de moviment en el canell, per realitzar els moviments de la F.5. Una solució donada és utilitzar la tecnologia BOA amb la fabricació d'una llengüeta en el propi canell. Els avantatges que proporciona és que s'adapta molt bé a qualsevol fèrula, té un pes reduït i mecanisme senzill per regular la tensió del canell. Es pot augmentar l'angle del canell gradualment. Però els inconvenients són que el pacient necessita l'altre mà per poder regular les tensions i aconseguim una tensió puntual la qual podem crear una fletxa no desitjada en el canell. Les molles i la làmina de material termoplàstic si que proporciona la llibertat de gir que es busca, ja que no s'aplica cap força externa al canell i per tant s'incita a una recuperació pal·liativa.

Seguidament, es mostra en la **Taula 3** un resum amb imatges de les explicacions esmentades en els punts anteriors:

Característiques vs Solucions físiques	Opció 1	Opció 2	Opció 3
F1: Evitar rigiditats F2: Posicionament dels dits	Articulació cubital 	Anells prefabricats 	Disseny 3D 
F3: Posicionament del polze	Peça d'unió d'alumini 	Mecanisme bota d'esquí 	Molla a tensió 

F4: Suportar esforços mecànics F5: Capacitat de moviment	Tipus de material: ABS, PLA, termoplàstics, silicona,...	Fèrula prefabricada 	Disseny 3D material amb memòria de forma 
F6: Permetre gir del canell	Tecnologia BOA + llengüeta  	Molles pel canell 	Làmina material termoplàstic 

Taula 3: Matriu morfològica

3.6 Disseny conceptual

En aquesta secció es presenten el conjunt de dissenys conceptuals derivats de les activitats prèvies.

L'opció 1 consisteix en un suport principal del canell i en la graduació de la posició dels dits i de la mà. S'utilitza la tecnologia BOA (www.boatechnology.com), una tècnica que aplica tensions individualitzades aplicant un moment en una rodeta, que desencadena una tracció i pressió uniforme i gradual (fig.15). També s'aplica l'articulació cubital (taula 3) per obtenir l'angle òptim per la recuperació. S'utilitza l'ABS pel disseny dels anells i de la fèrula. L'inconvenient de utilitzar la tecnologia BOA és que el pacient necessita l'altre mà per poder regular les tensions, aquest mecanisme funciona com un interruptor, o tot o res (no hi ha terme mig) i que pot aparèixer un problema de joc o elasticitat en el cable. El Dr. Puentes va remarcar que necessitem una recuperació conjunta dels metacarps i no individualitzada, i que el pacient no necessita cap tensió exterior sinó que ha de crear el seus propis esforços per avançar en la recuperació. Són dos punts importants per entendre el futur disseny com es mostra més endavant.

L'opció 2 es similar en el principi de funcionament però físicament diferents. A diferència de l'opció anterior, s'utilitza un altre producte de la marca BOA. Crea un tensió lineal aplicant un moment en una rodeta (fig.16) i utilitza el mecanisme d'una bota d'esquí per posicionar el canell (taula 3).

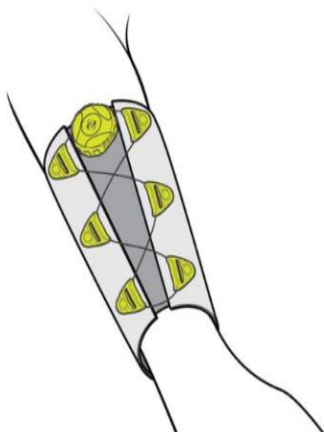


Figura 15: BOA Orthofit Lacer
(*Rekurs Boa.es*)

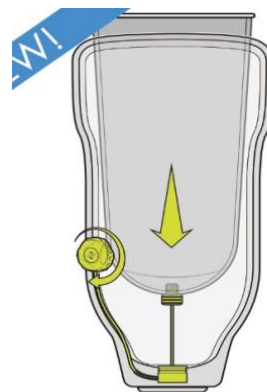


Figura 16: Revofit Lanyard
(*Rekurs Boa.es*)

Les dos opcions mostrades a la pàgina següent (fig.17 i fig.18) són dissenys fets abans de la reunió amb el doctor (esmentant a l'apartat de la taula de requeriments). Són dissenys fets des del punt de vista d'un enginyer tenint en compte algunes funcions necessàries per la recuperació del pacient. Gracies al Dr. Carles Puentes, ens dona solucions que compleixen a les necessitats reals, i així, fer un disseny més senzill i adequat.

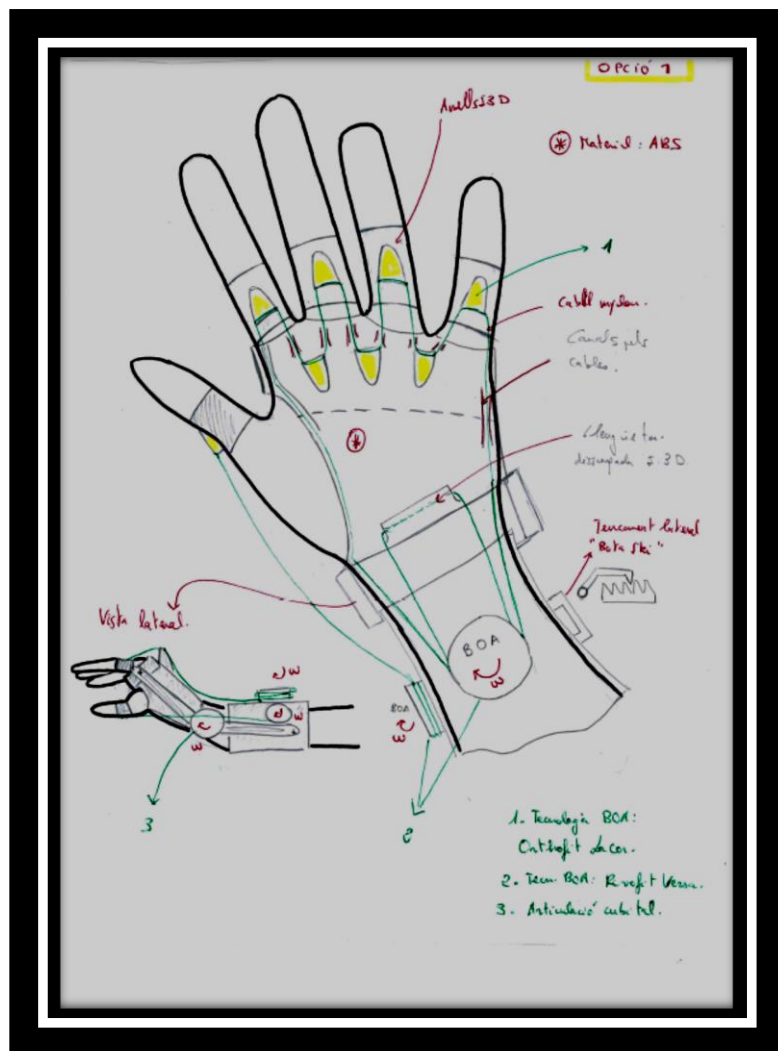


Figura 17: Disseny opcional 1

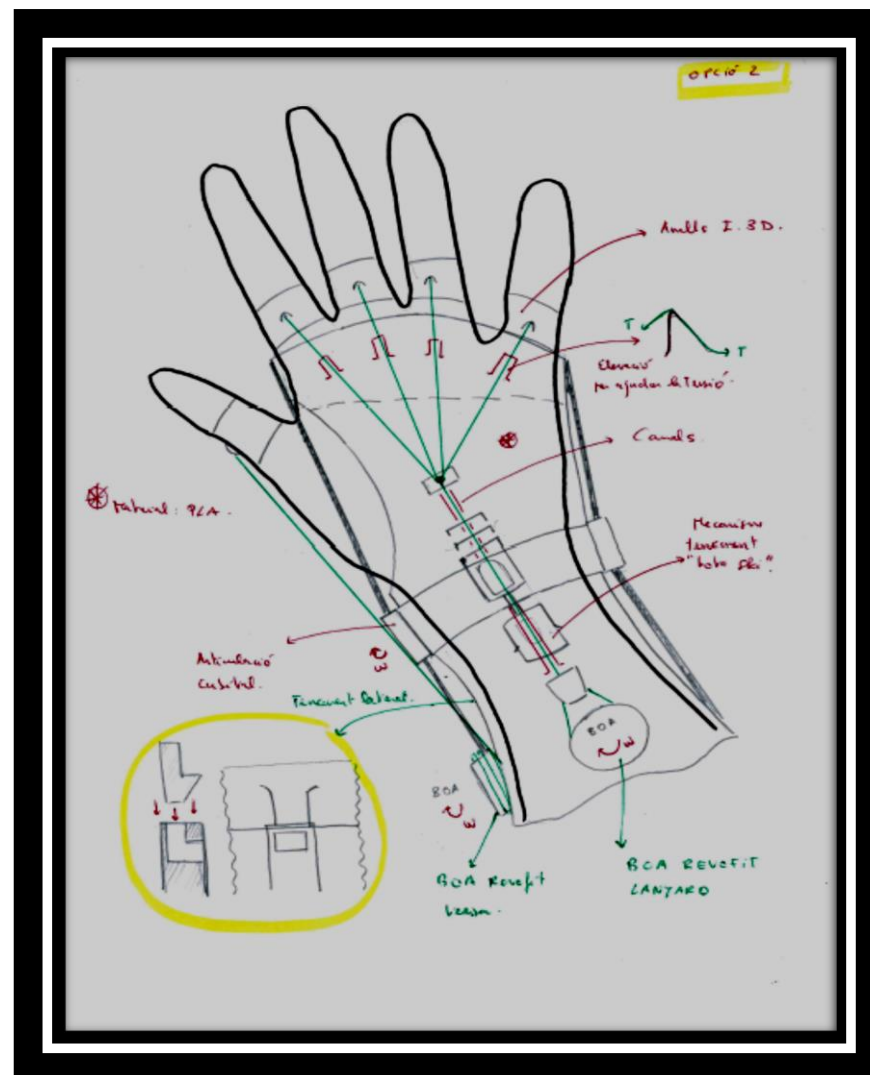


Figura 18: Disseny opcional 2

En conseqüència de l'apartat anterior, el següent capítol es mostra el disseny final d'una fèrula dinàmica per la recuperació post quirúrgica d'una lesió del nervi radial.

3.7 Propostes de dissenys

En aquest apartat s'estudia detalladament els dos dissenys conceptuals anteriors com a proposta per la fèrula, que es basa en dissenys ja desenvolupats d'altres marques.

Gracies a la reunió amb experts, es va deixar clar que el problema de les marques especialitzades en ortesis avui dia és que totes donen una solució amb un perfil alt (volen dir que totes es col·loquen en la part dorsal de les extremitats superiors) i que per una recuperació idònia seria millor un perfil baix. A partir d'aquests estudis previs, queda clar que la fèrula consta de 3 parts: 1 fèrula de l'avant braç que serà rígida, 1 fèrula flexible de perfil baix de la mà i 1 fèrula rígida pel dit gros.

- Fèrula de l'avant braç: És la component on descansa l'avant braç del pacient; s'encarrega de fer de base de la ortesis on es connectarà mitjançant una unió d'alumini (veure fig.20) amb la fèrula de perfil baix. Aquesta part té un disseny bastant senzill (veure fig.19) i està fet d'un material termoplàstic de la marca Rolyan ®o TURBOCAST. És un material que s'adapta molt bé a qualsevol pacient, accessible en tots els mercats especialitzats i té un bon rendiment qualitat/preu. Per més detalls del material vegeu a l'Annex B. A més, s'afegirà 2 cintes de velcro per tenir una millor subjecció.

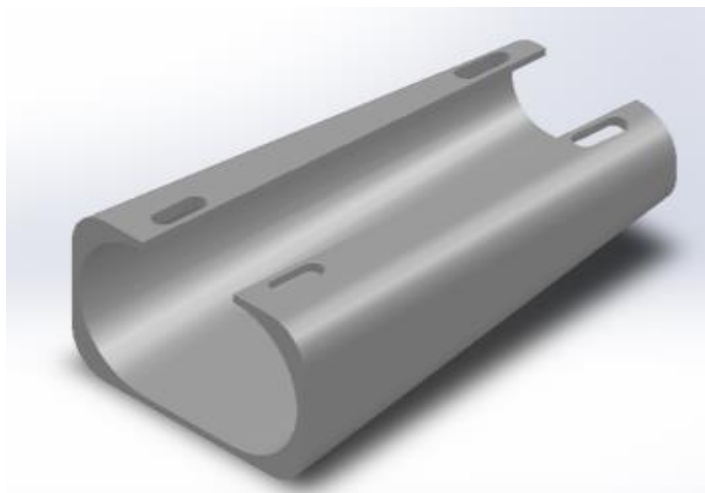


Figura 19: Base Avant braç Rolyan®

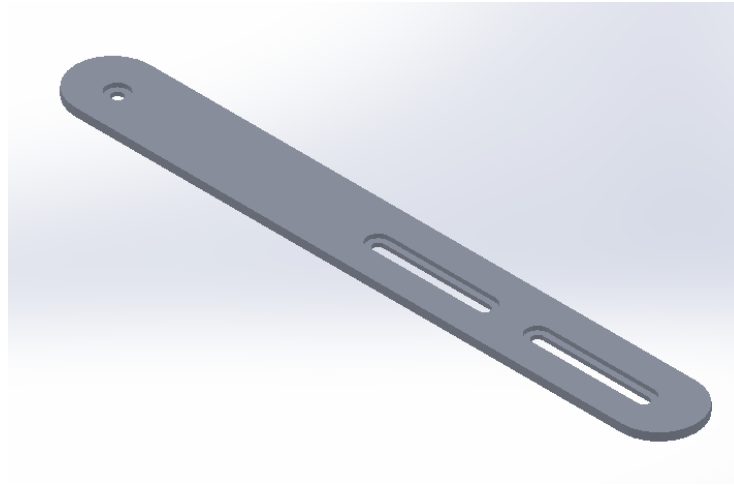


Figura 20: Unió d'alumini

- Fèrula flexible de perfil baix de la mà: És la part on descansa el canell, la mà i els metacarps del pacient. Es podria dir que és la part fonamental de la ortesis. La seva funció es crear una recuperació passiva del pacient. Vol dir que el propi pacient s'ha d'esforçar a fer moviments i esforços per avançar en la reformació. Està dissenyat amb els angles idonis esmentat en la fig.14 Anàlisi funcional. Es caracteritza principalment, en comparació de altres fèrules del mercat, que és de perfil baix, per tant ajuda a posicionar tots els metacarps i la mà sense cap problema e incomoditats pel pacient. El material utilitzat és de memòria de forma. Significa que mitjançant un esforç aplicat en un punt en una determinada posició, no es deformarà elàsticament i recuperarà la seva posició inicial. És un fet interessant e important per la ortesis ja que compleix amb els requisits d'una recuperació passiva. Per més detalls del material vegeu a l'Annex B. S'ha complert els requisits esmentats a la taula 2, com per exemple que ha de tenir obertures per evitar males olors, que sigui còmode, etc. Es mostra a la fig.21 i fig.22 el disseny final del prototip de la ortesis de perfil baix flexible de la mà:

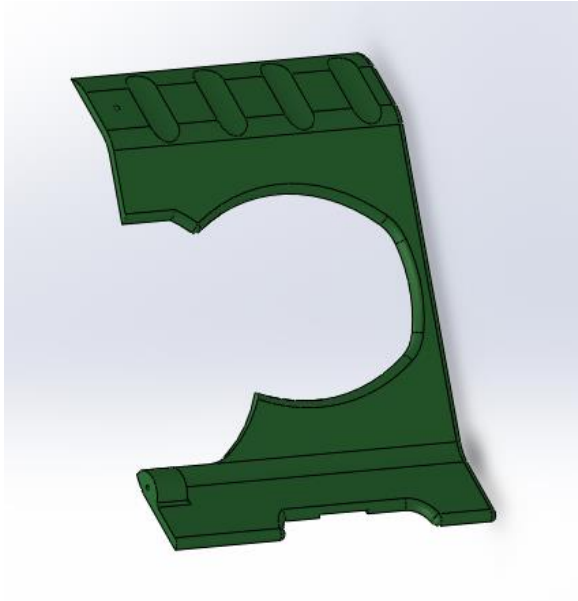


Figura 21: Fèrula perfil baix



Figura 22: Vista de perfil

- Fèrula rígida del dit gros: És la part on es posiciona el dit gros. El posicionament del polze és una part a tenir en compte a la ortesis. L'objectiu es dirigir i evitar desviacions. Per tant, lo que s'ha fet es unir-la a la fèrula de perfil baix de la fig.21 mitjançant una unió d'alumini per poder-lo guiar i ajustar a les necessitats demanades. Un dels requisits esmentats anteriorment era que es pogués regular en funció dels requeriments del pacient i compleix. La unió d'alumini té unes guies per acabar d'ajustar. A més, es connectarà una molla de tensió per tenir el polze sempre a la mateixa situació i facilitar certs moviments pel pacient. El material utilitzat serà el mateix que la fèrula esmentada anteriorment, per facilitar el procediment de fabricació i de cost. Vegeu Annex B per més informació del material.

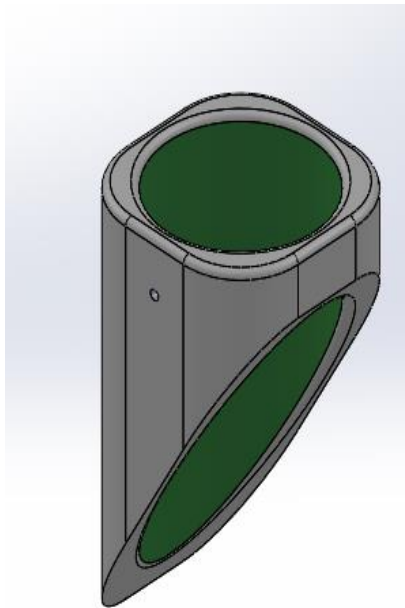


Figura 23: Fèrula del polze

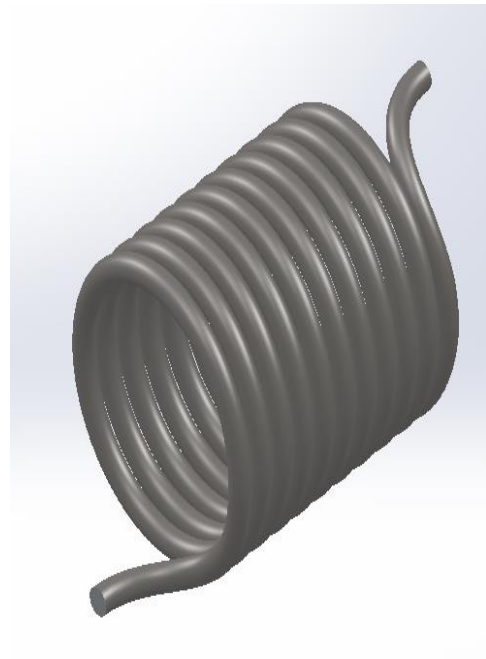


Figura 24: Molla a tensió

Proposta de disseny

En aquesta secció es mostra el conjunt de la fèrula. Està composta de : **1 fèrula rígida de l'avant braç, 2 Velcros®, 1 unió d'alumini amb visos inclosos, 1 fèrula flexible de perfil baix de la mà, 1 fèrula rígida del polze, 1 unió d'alumini pel polze amb visos inclosos, 1 molla a tensió de $\varnothing$ 1.2 mm amb les respectives connexions per unir a les ortesis.** Es mostra seguidament en les figures 25, 26, 27 :

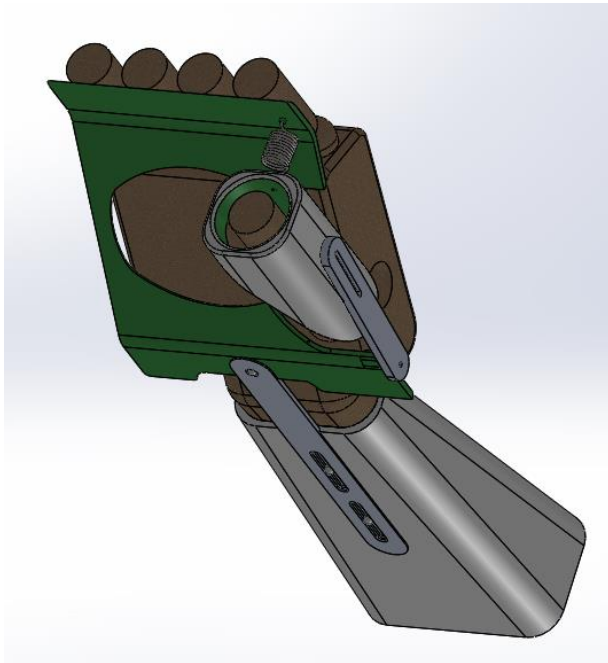
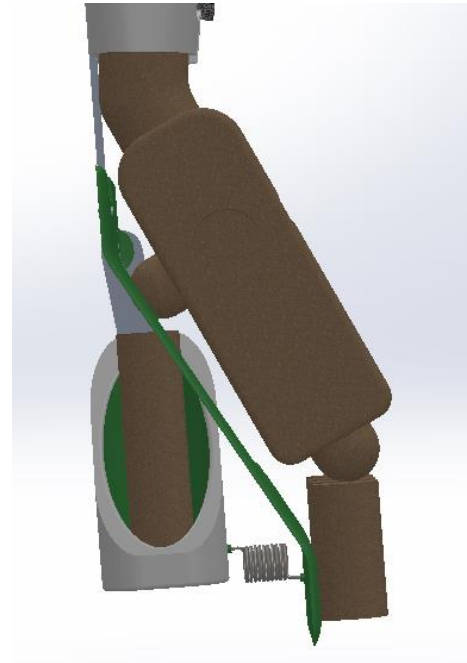
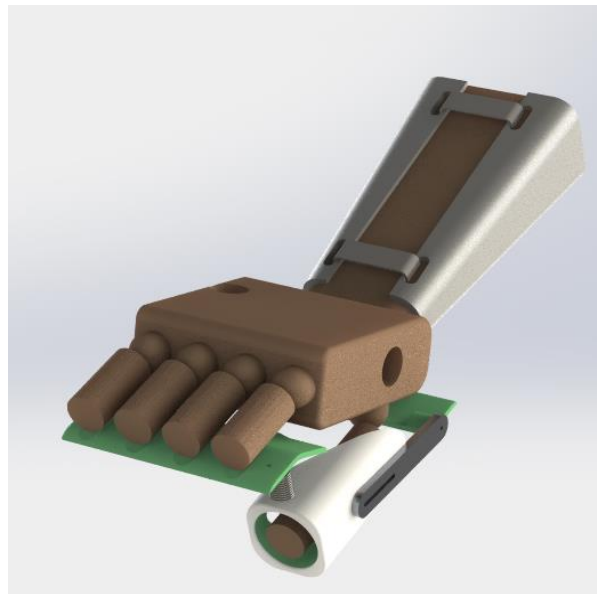


Figura 25: Conjunt del prototip 1



**Figura 26: Conjunt del prototip 2 -
Perfil**



**Figura 27: Conjunt del prototip 3 -
Renderitzat**

3.8 Disseny final

Aquest punt mostra el disseny final de la fèrula. Té un acabat més orgànic que l'apartat anterior. La proposta de disseny final tenia un disseny "robòtic" per facilitar el càlculs. Ara es mostra una línia més suau, dinàmica, moderna i lleugera a la vista. Té els mateixos components que el punt anterior però millorat de tal manera que s'adapta a la fisiologia real d'una mà humana. Es mostra seguidament en les figures:

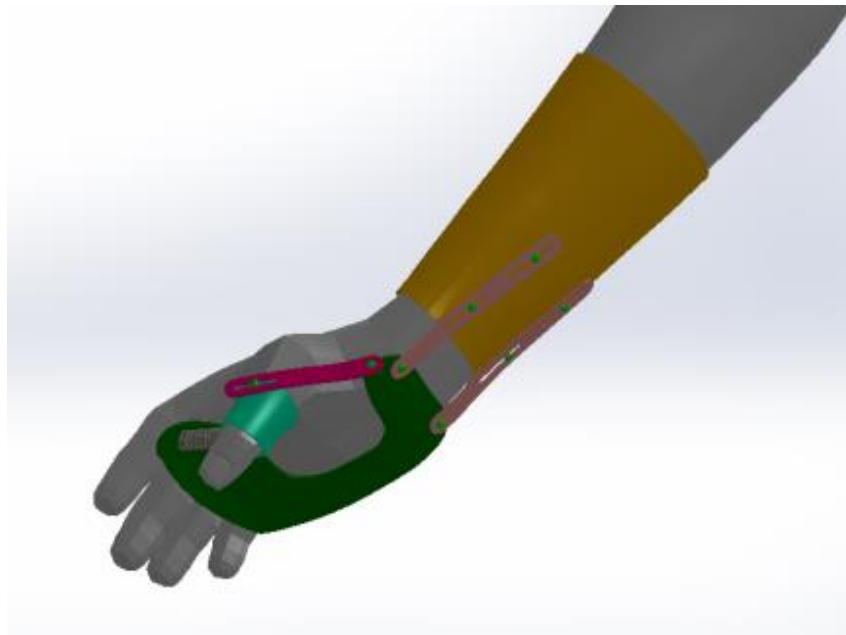


Figura 28: Disseny final 1

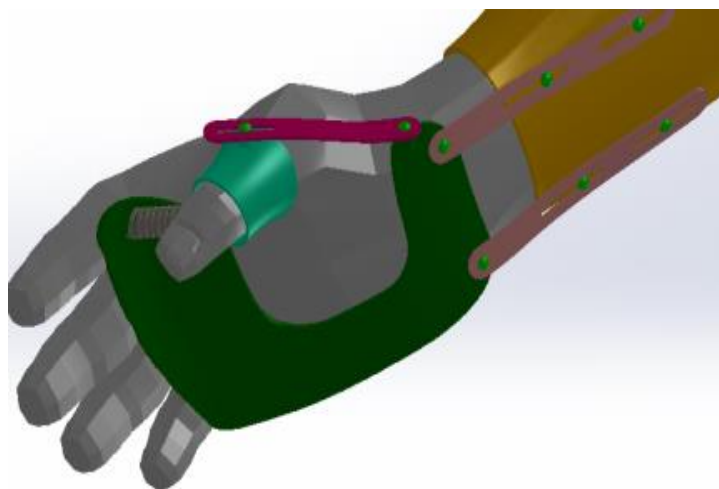


Figura 29: Disseny final 2

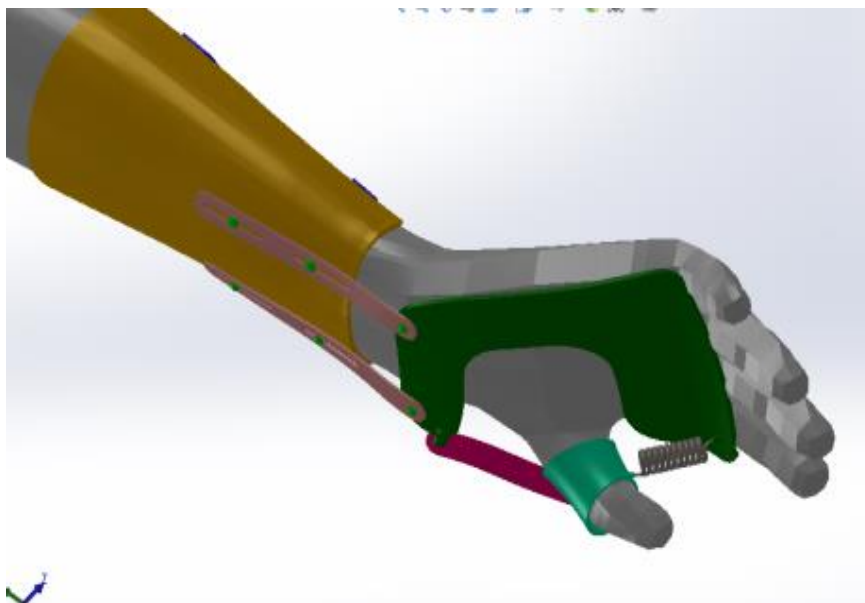


Figura 30: Disseny final 3

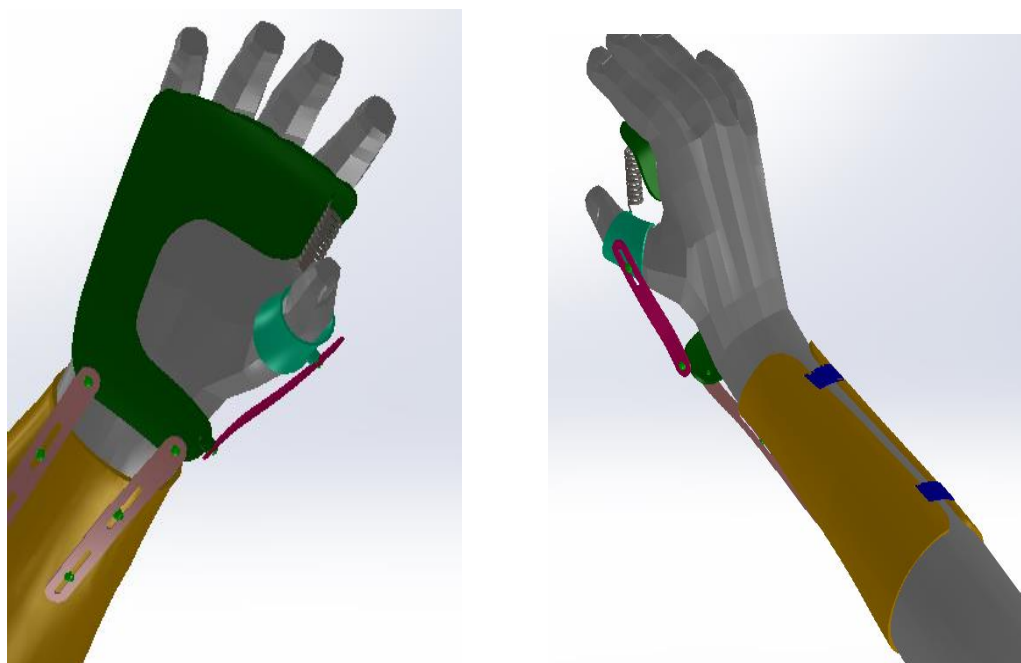


Figura 31: Disseny final 4

4 MUNTATGE DE LA FÈRULA

4.1 Introducció

El muntatge és la part fonamental per la bona adaptació de la fèrula al pacient. En aquesta secció s'explica pas a pas el procediment de muntatge i fabricació de la ortesis. S'argumenta els requeriments del material necessari per la part de la fèrula de l'avantbraç, la fabricació del perfil baix i de la fèrula del polze i els components extres indispensables del conjunt.

4.2 Requeriments del material TURBOCAST

El TURBOCAST és un material termoplàstic de baixa temperatura, composta principalment de poliuretà i policaprolactona, i externament recobert d'espuma de 0.6 mm de gruix. Per conèixer les característiques del material vegeu a l'Annex B: Materials.

Mètode de procés: Després d'escalfar en aigua a 70°C s'ha d'assecar l'espuma amb una tovallola per eliminar l'excés d'humitat. Ara el material es pot col·locar directament sobre la pell del pacient. En aquest moment la temperatura haurà baixat a 40°C aproximadament, experimentada agradable. Si fos necessari treballar a major temperatura per aconseguir el major temps de mal·leabilitat, és recomanable protegir la pell amb qualsevol tipus de bandatge tubular. Durant 60 segons és possible fer una soldadura que, després del refredament, podrà ser lo suficient consistent per l'ús diari.

Suggeriments d'ús: Inicialment, es necessita el següents materials: **TURBOCAST, aigua a 70 °C, una pistola d'aire calent, tisores, velcro, una mitja, una tovallola i paper secant.**

1. Posar el pacient en la taula en la posició més ergonòmica possible.
2. S'ha d'assegurar que els moviments són possibles en mans i peus.
3. Comprovar les condicions de la pell.
4. Utilitzar el patró o dibuixar un model aproximat per evitar desapropitar material.
5. Retirar les grans superfícies de material de l'ebullidor en posició plegada.

6. Quan s'utilitza la pistola d'aire calent, tocar el material amb els dits humits. Una forma optima es col·locar el material en una tovallola humida, abans de continuar el tractament.
7. El temps d'enduriment pot reduir-se aplicant aigua freda, gel o aire fred.
8. Mai s'ha d'estirar el material mentre es modela.
9. El model retallat té les bores afilades. Es poden suavitzar introduint les bores en aigua calenta durant 3 segons i aleshores suavitzar-los amb els dits.

Precaucions d'ús: Les fèrules s'han de dissenyar i modificar individualment per conèixer les necessitats i canvis en els membres del pacient. Aquests han de ser comprovats i revaluats sistemàticament conforme a la necessitat, fi i propòsit. Totes les fèrules han de ser utilitzades intermitentment. El període de temps serà determinat per qui prescriu la teràpia. Les fèrules només deuen ser utilitzades si són funcionals. S'ha d'evitar fèrules atapeïdes per prevenir constriccions i problemes amb la circulació. També evitar àrees de pressió per sobre de prominències òssies. L'eix de la fèrula de l'avantbraç ha de dissenyar-se com una mitja canal tant ample com la circumferència de l'avantbraç. Sempre que s'indiqui, un programa d'exercicis ha de seguir-se en conjunció amb la utilització de la fèrula.

Si es segueix els passos anteriors, es tindria fabricada la primera part del prototip. A continuació, s'explica com es fabrica el perfil baix de la ortesis.

4.3 Fabricació del perfil baix i de la fèrula del polze

Es pot dir que és la part més complicada e innovadora del muntatge del prototip. Per un bon seguiment en la fase de fabricació de la peça es necessita el següent:

- Una impressora 3D (per exemple de la marca Prusa model i3 Hephestos).
- 1 bobina d'ABS d'1KG de $\phi = 1.75$ mm.
- El programa EXCEL de personalització de components (vegeu Annex A, apartat 3).
- 1 ordinador amb programari CAD (per exemple SolidWorks).
- Document .sldrpt del perfil baix parametritzat.

Primer pas: Prendre dades o mesures pertinents del pacient per introduir les en el programa Excel per saber exactament els gruixos i longitud de la ortesis.

Segon pas: Encendre la impressora 3D per que s'escalfi i arribi a la temperatura desitjada (190-220°C). Adjuntar la bobina d'ABS.

Tercer pas: Obrir el document .sldrpt i introduir les dades donades pel programa Excel de personalització de components. Aquest document i ordinador estarà connectat a la impressora.

Quart pas: Imprimir les peces.

Cinquè pas: Quan estiguin impreses, en general, l'acabat superficial no és adient. A llavors mitjançant dissolvent o una polidora es poden eliminar bores i tares molest pel pacient.

Quan es té la peça acabada definitivament (es determinarà acabada quan el seu acabat superficial sigui polit, net i brillant) començarà el procés de muntatge. El pacient se l'avisarà amb antelació per el muntatge de la ortesis. Tindrà que venir amb els membres afectats nets i desinfectats per evitar possibles humitats.

4.4 Components extres

El muntatge final necessita unes peces o materials primordials per el funcionalitat de la ortesis. Són elements que es poden comprar en llocs especialitzats. Aquestes peces i materials són:

- Dissolvent (pels acabats superficials de les peces impreses).
- 2 unions d'alumini amb els seus visos respectius.
- 1 molla a tensió d'acer inoxidable de $\varnothing = 1.2$ mm per connectar la fèrula de perfil baix i del polze.
- 2 Velcros per ajustar la fèrula i tancar la fèrula base.

Els passos a seguir pel muntatge són:

1. Unir la fèrula base amb el perfil baix mitjançant la unió d'alumini.
2. Unir la fèrula del polze amb el perfil baix mitjançant la unió d'alumini.

3. Fixar la molla a la fèrula de perfil baix i la del polze.
4. Col·locar el membre del pacient a la ortesis.
5. Ajustar la base de la fèrula mitjançant els velcros.

Si seguim tots els passos adequadament, obtenim un resultat òptim i una gran satisfacció del pacient. L'únic requeriment que queda és la constant supervisió per part del fisioterapeuta en la fase de recuperació del pacient (vegeu la taula de requeriments.).

5 RESUM DEL PRESSUPOST

Els costos derivats en concepte de disseny i desenvolupament del projecte són de **6.062'61 € (SIS MIL SEIXANTA DOS euros amb SEIXANTA U cèntims)**.

El pressupost global (es pot trobar complet en el Document Nº 5: Pressupost), és d'un total de **153'15 € (CENT CINQUANTA TRES euros amb QUINZE cèntims)**.

En resum, es podria considerar que no s'ha aconseguit l'objectiu del pressupost (vegeu 1.3.1 Requeriments) de no superar els 60-80 €.

6 CONCLUSIONS

El treball final de grau “Re-disseny d’una fèrula immobilitzadora dinàmica de canell” ha permès avançar en l’evolució del disseny d’una ortesis que ajuda en la recuperació d’un pacient afectat per una lesió del nervi radial situat en l’extremitat superior. La col·laboració entre els membres del GREP, del tècnic Xavier Bosch de Handy Free Solutions, dels fisioterapeutes de la universitat EUSES representat pel Sr. Daniel Marcos Ruiz i Tiffany Clemenson , i el DR. Carles Puente, cirurgià de mà de renom del Parc Euli de Sabadell , que han intervingut en algunes de les diverses fases del projecte, demostren que es pot avançar bastant en el camp de la biomedicina.

Per la part corresponent a l’estudi de materials del projecte, és necessari emfatitzar el fet de que, a la hora d’escollir el material final del que es fabricaria la ortesis, se ha optat per triar materials ja coneguts com l’ABS o el PLA. Per utilitzar aquests materials o d’altres semblants, es creu en la necessitat de realitzar un estudi exhaustiu on les característiques i les propietats d’aquests siguin definits d’una manera més extensa i profunda.

Per l’altre banda, centrant-se en els dissenys de les ortesis actuals i recomanacions donades per professionals, s’ha aconseguit dissenyar un model que s’adapta millor als detalls exposats pels metges i fisioterapeutes, i a la vegada s’ha aconseguit complir amb la majoria dels requeriments mencionats, la qual és una millora respecte a anteriors propostes realitzades. És necessari remarcar la necessitat de millora d’alguns aspectes, com les unions entre peces o els mètodes de conformació de la ortesis, ja que s’obtindria un disseny més proper a la “ortesis ideal”.

Finalment, és important mencionar el fet de que , gracies al projecte , s’ha aconseguit plantejar un conjunt de línies d’investigació destinades a millorar el disseny de la ortesis, mostrant d’aquesta manera variis camins a seguir a fi d’aconseguir un disseny més proper a les ortesis comercials. Tot aquest conjunt de camps de treballs o estudis futurs es poden veure exposades en el següent apartat.

6.1 Estudis futurs

Per poder continuar amb el desenvolupament de la fèrula es plantegen variis estudis o línies de treball.

Per exemple, una línia de treball tindria que centrar-se en la simulació de la fèrula mitjançant programes d'elements finits, per poder contrastar si el disseny és viable i a la vegada verificar si serà capaç de portar a terme la seva funció. Actualment no existeix cap simulació en elements finits de la fèrula dissenyada, per aquest motiu es proposa poder realitzar una simulació amb les forces a les que poden ser sotmeses la fèrula.

Paral·lelament, aquesta línia tindria que anar enfocada a una segona línia de treball, ja que seria d'un gran interès poder realitzar assajos que mesurin les forces a la que es poden sotmetre el canell i la mà. Aquests assajos es podrien aconseguir mitjançant diferents rangs d'edat y sexe, cobrint la majoria de pacients.

Finalment, la tercera línia de treball es centraria en la fabricació de la fèrula utilitzant materials bio-compatibles, preferiblement a escala real. El material escollit en aquest projecte és l'ABS, un material fàcil de trobar actualment. Es proposa realitzar la fabricació en tallers especialitzats, com en el Parc Tecnològic de Girona, ja que tenen la maquinaria i la precisió necessària per realitzar la fèrula.

7 RELACIÓ DE DOCUMENTS

Els documents que formen aquest projecte són els següents:

Document N° 1: Memòria i annexos

Document N° 2: Plànols.

Document N° 3: Plec de condicions.

Document N° 4: Estat d'amidament.

Document N° 5: Pressupost.

8 BIBLIOGRAFIA

Llibres i catàlegs consultats

John D. Hsu, John W. Michael, John R. Fisk (2009) AAOS. Atlas de Ortesis y dispositivos de ayuda Cuarta edición Elsevier España S.L *Ortesis de las extremidades superiores* (pàg 169 – 179), *Terminologia de la ISO* (pàg 3 – 14), Holanda

Regis Logghe, Elisabeth Ziekenhuis Tilburg (1996) TURBOCAST: Material Termoplàstic *Turbocast* (pàg 6 – 16), Holanda.

Brenda M. Coppard, Helene Lohman (1996) Introduction to Splinting: A Critical thinking & Problem-Solving Approach, ed. Mosby, Londres.

Catalogo de productos de Uniprox: *Componentes protésicos, ortesis y material* (2016), Empresa del Grupo Bauerfeind, Alemanya.

Catalogo de Termoplásticos PRIM (2016), Madrid.

Total Therapy Solutions (2009), Patterson Medical Company Homecraft Rolyan, UK.

Hand Therapy Catalog (2007-2008), North Coast Medical, California

Catalogo ORFIT Industries (2009), Aplicaciones de férules en rehabilitación, Alemanya.

Jamal Najjari Randa (2013), *Diseño de potesis alternativas para resolver la inestabilidad del ligamento escafolunar*, Projecte final de carrera, Girona

Hoarau, Idris (2016), *Eficacia de las órtesis dinámicas combinadas con fisioterapia para el tratamiento de la parálisis del nervio radial: ensayo clínico aleatorio*, Projecte final de carrera, Salt.

Pàgines webs consultades

Wikipedia. (2017) *Anatomia* Recuperat 23 maig 2017 des de [https://es.wikipedia.org/wiki/Extensi%C3%B3n_\(anatom%C3%ADa\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Extensi%C3%B3n_(anatom%C3%ADa))

Instituto GenteNatural (2006) *Movilización pasiva y activa* Recuperat 12 abril 2017 des de http://www.gentenatural.com/psicologia/ancianos/incapacidad_movimiento.html

Medline Plus (2017) *Disfunción nervio radial* Recuperat 6 de març 2017 des de <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/000790.htm>

UB (2016) *ABS* Recuperat 15 de maig 2017 des de <http://www.ub.edu/cmematerials/es/content/acrilonitrilo-butadieno-estireno-abs>

Impressoras3d.com (2017) *El material de impresión ABS y sus características* Recuperat 15 de maig 2017 des de <https://impresoras3d.com/blogs/noticias/102832135-el-material-de-impresion-abs-y-sus-caracteristicas>

Amaranto Terapia Ocupacional (2015) *Mano: Prensión y pinzas* Recuperat 10 de març 2017 des de <https://amarantoterapiaocupacional.com/2015/07/25/mano-prension-y-pinzas-parte-1/>

Slideshare, Linkedin (2017) Lic Pineda Carolina, *Biomecanica de la mano* Recuperat 28 abril 2017 des de <https://es.slideshare.net/alexpatrinis/16-biomecanica-de-la-mano>

Salud y algo más (2009) *Peso de distintos partes del cuerpo* Recuperat 20 de març 2017 des de <http://www.saludyalgomas.com/tablasnutricionales/peso-de-distintas-partes-del-cuerpo/>

ANNEX A: CÀLCULS

ANNEX A: CÀLCULS

A.1 Introducció.

En aquest apartat s'explica com es calcula els diferents gruixos, dels elements de la fèrula, mitjançant càlculs molt senzills. Gràcies a les indicacions del professor d'Estructures de la Universitat de Girona, Enric Simon Madrenas, la fèrula de perfil baix s'ha calculat mitjançant el segon teorema de Mohr. En el següent apartat es demostren els càlculs esmentats.

A.2 Càlculs preliminars a la personalització dels components.

En aquesta secció es demostra com es troba el gruix de la part més important de la ortesis: la fèrula de perfil baix. Perquè el càlcul sigui senzill, els valors utilitzats per calcular, com el pes i mides de la mà, són de l'autor d'aquest projecte. Els valors són:

Pes persona: 60 Kg

Talla de la mà del pacient: 80 mm

Talla dels metacarps: 30 mm

Amplada del canell: 50 mm

Es comença pel càlcul de la fèrula de perfil baix. Per trobar el gruix òptim, s'ha utilitzat el 2on Teorema de Mohr, que és la següent formula:

$$\delta = \frac{S \cdot d}{E \cdot I} \text{ (mm)}$$

δ : Fletxa

S : Àrea dels moments en biga conjugada

d : centre de gravetat de l'àrea del moment

E : Mòdul de Young, en aquest cas de l'ABS : 1700 N/mm²

I : Inèrcia

Segons una petita investigació, els pes de la mà és un 0.7% del pes d'una persona. Per la ortesis, és interessant fixar un valor a la fletxa, que serà 10 mm. En l'anàlisi funcional es mostra el posicionament òptim de la mà (fig.14):

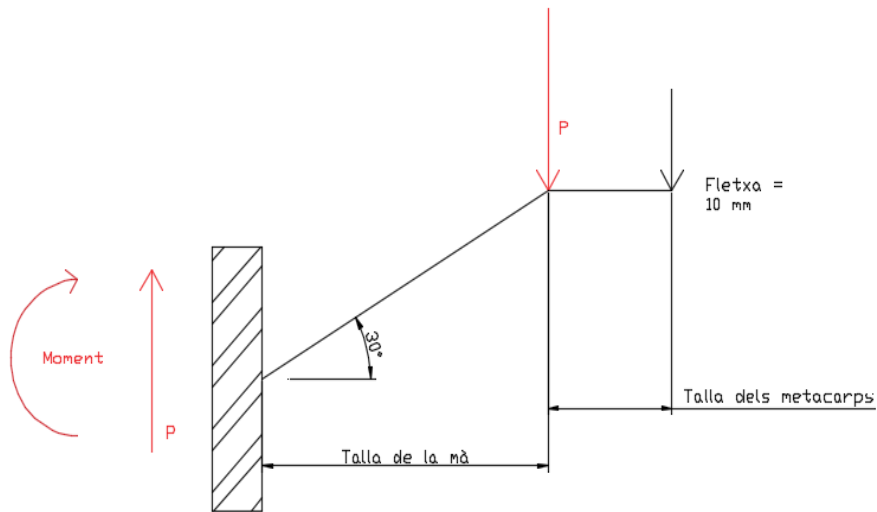


Figura 32: Estructura d'una mà

$$E = 1700 \text{ N/mm}^2$$

$$P = 0.007 \cdot 60 \text{ kg} \cdot 9.81 \text{ m/s}^2 = 4.1202 \text{ N}$$

$$M = 4.1202 \text{ N} \cdot 80 \text{ mm} = 328 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Al ser una barra inclinada i encastada, la força vertical es reparteix en dos segons les coordenades de la barra:

$$P_Y = \frac{4.1202}{\cos 60^\circ} = 8.2 \text{ N}$$

Interessa aquesta component en concret per poder desenvolupar els següents diagrames: **Verticals** (fig 33) i **de Moment** (fig 34):

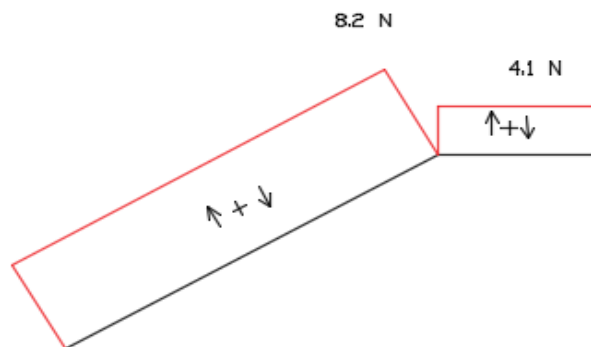


Figura 33: Diagrama forces verticals

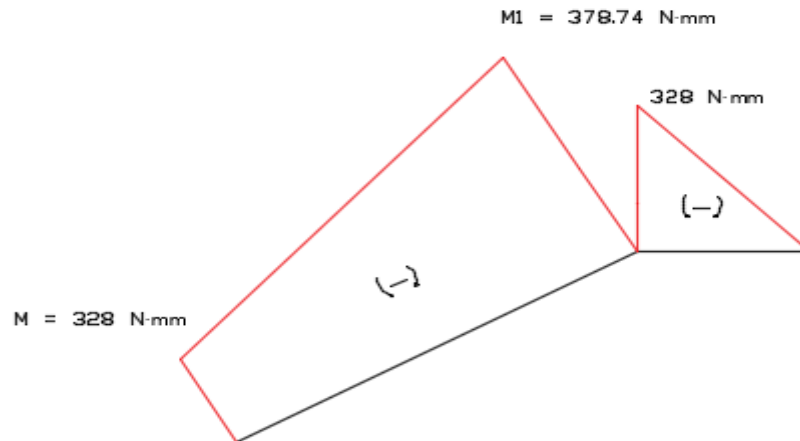


Figura 34: Diagrama de moments

El diagrama de la figura 34 ensenya dos moments diferents: M calculat anteriorment i M_1 , que es calcula de la següent manera:

$$M_1 = \frac{8.2 \text{ N} \cdot \frac{80 \text{ mm}}{\cos 30^\circ}}{2} = 378.8 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

El pròxim pas és utilitzar el 2n teorema de Mohr per trobar la Inèrcia i d'aquesta manera, aconseguir el gruix:

$$\delta = \frac{S \cdot d}{E \cdot I} = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Fletxa} = -\frac{1}{E \cdot I} \cdot \left[\left(\left(328 \cdot \frac{80}{\cos 30^\circ} + \frac{(378.8 - 328) \cdot 92.376}{2} \right) \cdot \left(30 + \frac{92.376}{3} \right) \right) + \left(\left(\frac{328 \cdot 30}{2} \right) \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot 30 \right) \right) \right]$$

$$10 \text{ mm} = \frac{296842.462 \text{ N} \cdot \text{mm}^2}{1700 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot I}$$

$$\text{Inèrcia} = 122.6 \text{ mm}^4$$

Degut a aquesta nova dada, es pot calcular el gruix necessari per la fèrula del perfil baix. Es planteja que aquesta part de la ortesis que té una secció rectangular:

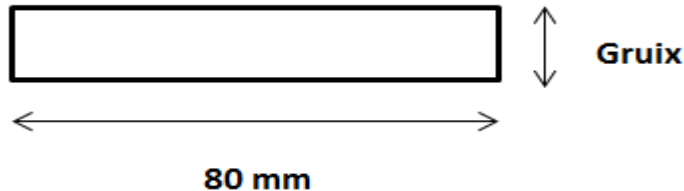


Figura 35: Secció rectangular

Si la formula d'inèrcia d'un rectangle és:

$$I = \frac{\text{base} \cdot \text{gruix}^3}{12}$$

Per tant el gruix serà:

$$\text{Gruix} = 2.6 \text{ mm (com a mínim)}$$

Segons aquests càlculs, es pot demostrar les tensions normals degudes a la flexió. Es per veure si són factibles aquests gruixos i comprovar si la ortesis aguantarà els esforços mitjançant la formula de Navier:

$$\sigma = \frac{\text{Moment màx.} \cdot \frac{\text{gruix}}{2}}{\text{Inèrcia}}$$

$$\sigma = \text{Tensió normal deguda a flexió (MPa)}$$

Per comprovar si la ortesi aguanta les tensions segons el material utilitzat (ABS), necessitem conèixer la tensió admissible del material. Segons un article d'enginyeria mecànica de la Universitat Veracruzana (Mèxic) *Cálculo de engranages de plástico* el valor és el següent:

$$\sigma = 27.7 \text{ MPa amb factor de seguretat de 1.7}$$

D'aquesta manera es poden iniciar els càlculs:

$$\sigma \leq \sigma_{adm}$$

$$\sigma = \frac{378.8 \text{ MPa} \cdot \frac{2.6}{2}}{122.6 \text{ mm}^4} = 4.0166 \text{ MPa} \leq \frac{27.7 \text{ MPa}}{1.7} = 16.294 \text{ MPa}$$

Per tant, queda demostrat que la ortesi aguanta les tensions suposades i compleix els requisits.

En el següent apartat, s'explica com triar la longitud ideal de la fèrula base pel nostre pacient. Són uns càlculs molt senzills, relacionat amb els càlculs anteriors, la qual també es poden parametritzar.

Totes les fèrules s'acomoden amb les lleis de palanca. Així que cada ortesis necessita per lo menys 3 punts de contacte amb el membre.

El principi de palanca s'ha de considerar un dels principis bàsics en la construcció de la ortesis. L'anomenat "sistema de 3 punts" implica que hi ha 3 forces formant una balança. Per una ortesis de canell, per exemple, les següents forces són:

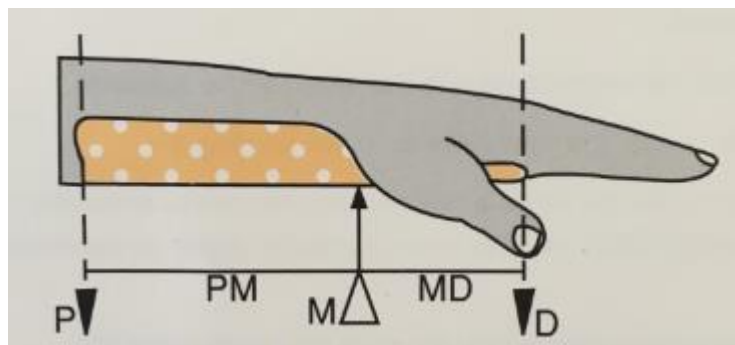


Figura 36: Balança de forces

P: És la força proximal causada pel pes del braç (9.42 N).

D: És la força distal causada pel pes de la mà (4.12 N).

M: És l'articulació del canell. Aquí és on la força oposada troba el seu punt d'aplicació.

En l'articulació es sap que tenim un moment de 328 N·mm (veure fig.32), per tant:

$$\Sigma M_M = 0$$

$$328 \text{ N} \cdot \text{mm} - 9.42 \text{ N} \cdot \text{PM} = 0$$

$$\text{PM} = 34.83 \text{ mm}$$

$$L_T = \text{MD} + \text{PM} = 80 + 34.83 = \mathbf{114.83 \text{ mm}}$$

Quan es realitzarà la personalització dels components, es crearà un programa Excel senzill, només s'haurà d'introduir les dades del pacient (pes, talla de la mà, dels metacarps i l'amplada del canell) i directament es mostrarà un resultat aproximat del gruix la qual s'ha de fabricar la peça. Cada pacient tindrà la seva talla personalitzada.

A.3 Personalització dels components.

Aquest apartat es mostra el programa Excel esmentat en el paràgraf anterior. Servirà per tenir una atenció personalitzada al nostre pacient. Introduint les dades del pacient , s'aconsegueix d'una forma segura i amb valors precisos, el dimensionament de la ortesis (veure fig.37).

BASE DE LA FÈRULA (TURBOCAST)	
Talles disponibles	Longitud Ferula Avant Braç (mm)
M	114,9
Gruix a seleccionar	3,2 mm

PERFIL BAIX DE LA ORTESIS	
Longitud mínima Ortesis (mm)	Gruix Ortesis (mm)
110	2,6

TENSÍO A FLEXIÓ σ (Mpa)	TENSÍO A FLEXIÓ MÀX σ (Mpa)
3,5	4
OK	

Pes persona (Kg)	60
Talla de la mà del pacient (mm)	80
Talla dels metacarps (mm)	30
Amplada del canell (mm)	50

Figura 37: Programa Excel "Personalització dels components.

ANNEX B: MATERIALS

ANNEX B: MATERIALS

B.1 Introducció

En aquest annex s'explica quins materials s'utilitzen per la ortesis. Des del principi, s'ha tingut molt clar que s'empraria materials derivats del plàstic. En ple S.XXI, el plàstic està present en totes facetes de la vida diària, des de productes d'utilització quotidiana (envasos alimentaris i cosmètics, aparells electrònics, vehicles motoritzats , etc.) fins a productes especialitzats o enfocats a la recerca (pròtesis, edificació, aeroespacial, etc.). A més, gracies a l'aparició de les impressores 3D, facilita l'ús d'aquest material en infinites aplicacions i productes.

La utilització de les impressores 3D és un actiu present en aquest projecte. Al tenir un disseny més complicat on es té variacions de gruixos i superfícies, una geometria poca comuna i precisa, facilita el procés de fabricació de la ortesis i també el cost. Per tant s'ha de tenir present que es necessita un material que es pugui aplicar o incorporar en la impressora. I aquest material és l'ABS. Més endavant s'explica el perquè d'aquesta selecció d'aquest plàstic en concret.

També s'emprarà materials termoplàstics, que es caracteritzen per la seva memòria de forma. Té moltes aplicacions, però en aquest cas, s'enfocarà a termoplàstics d'ús mèdic. Anomenat també TURBOCAST, té unes característiques adients i interessants pel prototip.

A continuació s'explicarà amb detall les característiques d'aquests materials: el termoplàstic TURBOCAST i l'ABS.

B.2 TURBOCAST

B.2.1 Definició

TURBOCAST és un material termoplàstic de baixa temperatura, composta de poliuretà i policaprolactona, i externament cobert d'una espuma de 0.6 mm.

B.2.2 Característiques i avantatges dels embenats realitzats amb material termoplàstic

El producte termoplàstic té una memòria molecular interna, creant una inhibició molecular constant durant el procés d'enduriment. Després de l'escalfament, el material troba el seu propi camí a través de la força natural de la llei de la gravetat.

Manté les seves característiques fins a un 10% de deformació de les mesures del material. La possibilitat del procés s'aconsegueix des dels 70°C.

L'escalfament superior a 180°C pot induir a un enduriment de la capa d'espuma, convertint-se en un material aspre i fent-li perdre les seves funcions específiques.

L'avantatge característica de la capa d'espuma es que el termoplàstic no s'enganxa a si mateix en l'aigua calenta. D'aquesta manera, les plaques doblegades poden ser ficades en un petit contenidor.

La capa d'espuma crea una diminuta pel·lícula d'aire entre la pell del pacient el termoplàstic, reduït la possibilitat d'irritació de la pell.

Els embenats realitzats amb material termoplàstic suporten un carga axial sense deteriorament que impliqui danys per l'estructura lesionada.

Permet el temps suficient de maneig en la confecció d'embenats especials tal com poden ser ossos o ortesis funcionals.

Una vegada realitzada l'embenat, permet curar ferides, valoracions de l'estat de la pell i parts toves, valoracions i estat de ferides quirúrgiques i sutures, elimina suports quan es confecciona ortesis.

Es radiotransparent, permeten així la valoració radiològica i l'evolució de lesions.

L'embenat confeccionat amb material termoplàstic posseeix poc pes, dotant a l'individu major capacitat funcional, un aspecte important en quan respecte a l'aplicació de tractaments ortopèdics a malalts crònics.

Es pot modelar perfectament en posicions especials.

Permet l'aeració i higiene de la pell i del pacient.

És un material recuperable en cas d'equivocació de mesures en la confecció de l'embenat per part del tècnic; té capacitat de correcció en el mateix embenat en canvis posicionals posteriors o necessitats d'ajustament després de cedir el component inflamatori inicial de la fase aguda.

Té una perfecte adaptabilitat i una ampla capacitat per la conformació dels embenats.

Permet la incorporació de reforços en l'embenat inicial amb facilitat de maneig en quan respecte la incorporació del mateix.

Pot utilitzar-se per la fabricació de suports en processos que requereixen una mobilització controlada amb una sensible disminució del cost econòmic en comparació amb altres ortesis o suports estàndards del mercat.

Si poden incorporar fàcilment diversos additaments a l'embenat com: encoixinats de làtex o *foam* en les ortesis, malles de protecció dèrmica, velcros de subjecció, etc.

No li produeix a l'individu dermatitis de contacte.

Té una fàcil col·locació i retirada de les ortesis fabricades amb material termoplàstic inclús pel mateix pacient, lo que li dona d'una capacitat funcional de maneig.

El temps invertit en l'aplicació o confecció de l'embenat pel tècnic no excedeix i inclòs en ocasions és inferior a l'invertit en la confecció d'embenats amb altres tipus de materials.

Els acabats dels embenats del material són estètics.

Té una fàcil confecció de la peça d'embenat degut a l'existència de plantilles adaptades per l'ús d'adults i nens.

Té una capacitat per confeccionar embenats extens i també reduïts.

B.2.3 Camps d'aplicació dels embenats confeccionats amb material termoplàstic

Els embenats confeccionats amb material termoplàstics poden utilitzar-se tant per tractaments de patologies o afeccions de parts dures (osta articulars) com de parts toves (l·ligaments, tendons, beines, musculatura , etc.) Igualment, es poden confeccionar embenats "parcials" o embenats completament tancats com si fos un guix.

Principals camps d'aplicació

Es divideixen en 3 grups:

- 1) Traumatologia i Cirurgia Ortopèdica:** fractures òssies, contusions de parts toves, esquinços lligamentosos , etc.
- 2) Ortopèdia/Podologia:** Confecció de plantilles ortopèdiques (peus plans , etc.), confecció de ortesis de descarrega/analgèsia, fèrules de diversos tipus (digitals, *antiequino* , antirotatoris).
- 3) Cirurgia:** Ferulitzacions pel tractament i manteniment de la posició funcional del membre superior i inferior en cremats; ferulitzacions dinàmiques per evitar anquilosis i rigideses posteriors conseqüents a cremades.
- 4) Medicina Deportiva:** Pel tractament de patologies d'estirp traumàtic o funcional (sobrecarregues); per la confecció d'elements de suport o protecció, com per exemple canyelleres de futbol.

B.2.4 Estudi dels efectes biofísics i del compliment de normes en quan respecte el funcionalisme i adequació.

Partint de la base que el material termoplàstic és un material concebut o ideat per la resolució, correcció o pal·liació de patologies mitjançant l'aplicació d'embenats, s'analitza uns fets biofísics i uns requeriments necessaris per que aquests embenats compleixin els requisits de funcionalitat necessaris, així com una tècnica ortodoxa d'aplicació i una resolubilitat adequada a les patologies.

Capacitat: Consecució d'un grau de densitat uniforme de un medi o cos amb la fi d'obtenir una tensió interna uniforme a expenses de:

- A)** Consecució de una adaptabilitat del material al medi o cos.
- B)** La capacitat de conformació d'aquest material, entenent per conformació la capacitat de poder adaptar a eminències i depressions de un cos o segment d'un determinat material de forma intencionada i selectiva de tal manera que les parts o medis més durs (ex. Ós) siguin sotmesos a menys pressió i les més toves (ex. Múscul) a major pressió,

amb el fi de crear tantes derivacions com d'absorcions de forces per fregament per descarregar el focus lesionat o estructura danyada.

Igualment, la longitud major o menor del segment sotmès a embenats i compactat mitja serveix per la major o menor absorció de forces i en conseqüència la descarrega del focus lesionat, sent aquesta l'absorció directament proporcional a la longitud del segment embenat.

El pes del conjunt de l'embenat es un criteri de major o menor funcionalisme del mateix.

Així mateix, un embenat ha de permetre la transmissió d'impuls controlat sense que la intensitat d'aquest sigui la productora de danys al focus lesionat en la carrega axial.

Qualsevol tipus d'embenat definitiu s'ha de romandre sense alteracions o deformacions ja sigui per "stress" del material o per l'acció d'agents externs, com per exemple l'aigua.

Sempre que el material amb el que es confecciona un embenat no sofreixi deformacions permanents (poden existir fenòmens elàstics de deformació – recuperació) condiciona un efecte de contenció i fixació d'estructures on s'ha aplicat l'embenat, evitant així moviments de rotació, cisallament, etc. , de l'estructura danyada.

Després de veure les possibilitats i utilitats que té el material TURBOCAST, ara es parla de l'altre material utilitzat en el prototip i d'igual d'importància: L'ABS.

B.3 ABS

L'acrilonitril butadiè estirè o ABS és un plàstic molt resistent a l'impacte, utilitzat especialment en la indústria de l'automoció però en ocasions també en la domèstica. Es considera un termoplàstic , referint-se que és un plàstic que està sotmès a l'exposició de temperatures relativament altes, la qual es torna deformable o flexible arribant fins i tot a fondre. Quan es refreda s'endureix. Se li sol dir plàstic d'enginyeria, perquè la seva elaboració i processament és una mica més complexa que en els plàstics comuns.

L'ABS és un polímer compost per tres blocs, acrilonitril, butadiè i estirè per la qual cosa se li denomina terpolímer.

Cadascun dels tres blocs aporta característiques diferents:

- L'acrilonitril proporciona rigidesa, resistència a atacs químics, duresa i estabilitat a altes temperatures.
- El butadiè proporciona tenacitat a la temperatura quan aquesta és especialment baixa i resistència a impacte.
- L'estirè proporciona resistència mecànica, rigidesa, brillantor i duresa.

Aquesta barreja de propietats fa que el producte final sigui de gran aplicació en la fabricació d'equips pesats i aparells electrònics. També s'ha de dir que les propietats depenen molt del contingut de butadiè.

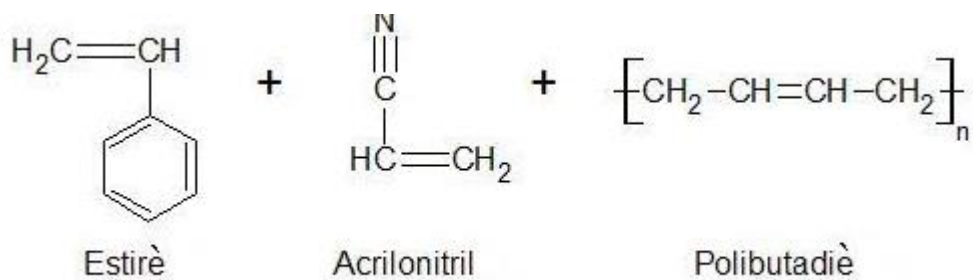


Figura 38: Composició química ABS
(Recurs Wikipedia)

L'ABS és un exemple de compost de materials, que amb la unió de les propietats d'aquests, busca ser una alternativa al desenvolupament de materials nous.

La resistència de l'ABS a temperatures extremes, especialment quan aquestes són de sota zero, el converteixen en un material especialment interessant per entorns freds, mantenint-se inalterable on altres es tornen trencadissos.

A més, l'ABS absorbeix poca aigua i es pot recobrir fàcilment amb capes metàl·liques, ja que és molt receptiu als banys de metalls.

L'ABS és opac i pot ser de color fosc o marfil. Es pot pigmentar en la majoria dels colors obtenint un bon acabat. No és tòxic, per això el podem trobar en la majoria de les peces plàstiques dels blocs de Lego o Bandai.

Aquest termoplàstic pot ser extruït, modelat mitjançant injecció, solapat i premsat. No és altament inflamable, tot i que manté la combustió. En cas d'aplicar-li un retardant de flama, l'ABS pot ser incombustible.

En el nostre entorn diari, l'ABS és present en múltiples objectes rutinaris com ara carcasses de televisors, ràdios, ordinadors i equips informàtics, així com en grapadores o carpetes.

L'ABS també es pot utilitzar en aliatges amb altres plàstics, com ara el PVC, de la unió s'obté un plàstic d'alta resistència utilitzat en la fabricació de televisors.

També se li pot afegir PTFE (tefló) per reduir el seu coeficient de fricció, o compostos halogenats per augmentar la seva resistència al foc.

Un dels inconvenients de l'ABS és el seu preu. Al no ser capaços de disminuir el cost d'aquest material és el que està fent que en els últims anys en alguns països d'Amèrica Llatina i els EUA, estigui sent substituït pel Poliestirè d'alt impacte.

B.3.1 ABS a la impressió 3D

En el món de la impressió 3D, l'ABS és un dels materials que en l'actualitat més s'utilitza per dur a terme els processos d'impressió. L'ABS conviu amb altres materials substitutius com el PLA, encara que les seves aplicacions són molt semblants, un és més indicat que un altre segons l'objectiu.

L'ABS és l'indicat quan es busca la força en el resultat o quan el que es vol imprimir quedarà exposat a temperatures extremes. Està disponible en un ventall molt ampli de colors, sobretot per la bona tolerància d'aquest a la pigmentació de si mateix, encara que el seu preu és més elevat que el PLA. Alguns usuaris consideren que l'ABS és més difícil d'utilitzar però això, és qüestió d'opinions.

Els principals productors d'ABS a Amèrica i Europa són BASF (sota el nom comercial de Terluran); Lanxess, actualment INEOS ABS; i SABIC. A nivell mundial el primer productor és CHIMEI de Taiwan, i el segon LG Chem de Korea.

B.3.2 Propietats generals de l'ABS

Propietats generals de l'ABS	
Densitat	1.01 – 1.21 g/cm ³
Preu	1.59 – 1.74 €/kg
Propietats mecàniques	
Mòdul elàstic	1.1 - 2.9 GPa
Coefficient de Poisson	0.391 - 0.422
Resistència mecànica a compressió	31 - 86.2 MPa
Resistència mecànica a flexió	47.8 - 76 MPa
Resistència mecànica a tracció	27.6 - 55.2 MPa
Tenacitat a fractura	1.19 - 4.29 MPa/m ²
Duresa a Temperatura ambient	5.6 – 15.3 HV

Observacions: Té una bona resistència mecànica i rigidesa a baixa temperatura. Si afegim fibra de vidre, podem augmentar la resistència a tracció i el mòdul de Young però disminuïm la resistència d'impacte.

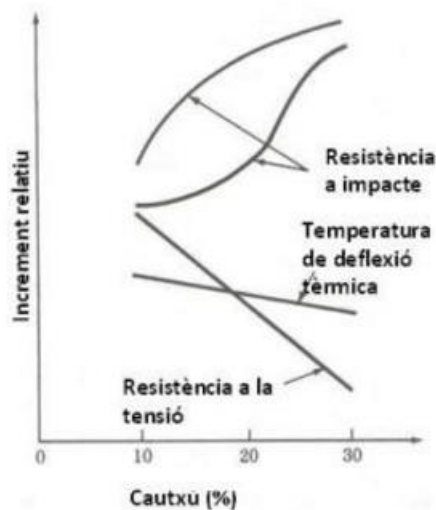


Figura 39: Propietats de l'ABS en funció del contingut en cautxú. (Recurs UB)

Propietats tèrmiques	
Temperatura de transició vítria	87.9 – 118°C
Temperatura de fusió	200 – 245°C
Coeficient de dilatació tèrmica lineal a Temperatura ambient	$9 \cdot 10^{-5} - 11 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$
Conductivitat tèrmica a Temperatura ambient	0.188 – 0.355 W/m·K
Capacitat calorífica específica a Temperatura ambient	$1.39 \cdot 10^3 - 1.92 \cdot 10^3 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$

Observacions: Té una bona estabilitat al calor. Crema generant un fum dens sense degoteig.

Propietats òptiques	
Índex de refracció	1.53 – 1.54

Observacions: Es tracta d'un material opac. Té una baixa resistència als raigs UV.

Propietats tecnològiques	
Temperatura mínima d'utilització	-123 – (-73.2°C)
Temperatura màxima d'utilització	61.9 – 76.9°C
Mecanització	Es pot barrinar, fresar, tornejat i encunyar
Soldabilitat	Molt alta amb altres materials polimèrics. Es pot realitzar amb gas calent, amb elements calents, per fricció i per ultrasò. Es pot soldar amb PMMA o aquells que tinguin pèrdues dielèctriques altes.
Propietats químiques	
Resistència als àcids	Baixa, es degrada a altes concentracions d'àcids inorgànics.
Resistència als àlcalis	Bona resistència, tant als forts com als dèbils.
Resistència als dissolvents orgànics	Apareix la degradació en dissolvents orgànics com: el metanol, gasolina,

	Acetona i dissolvents halògens i aromàtics.
Absorció d'aigua	0.3 – 0.7% en 24h
Resistència a l'oxidació	Baixa a 500°C

Observacions: Es tracta d'un material inflamable i té una bona resistència a l'aigua salada i dolça.

B.3.3 Obtenció de l'ABS

En aquesta secció s'explica l'elaboració del material ABS. L'ABS comercial es pot obtenir per 3 processos: mitjançant emulsió, en massa o en massa-suspensió. No obstant, les propietats físiques de l'ABS varia en funció de la manufactura i de la composició. Generalment s'utilitza el procés d'emulsió per materials amb elevada resistència a l'impacte, mentre que el procés en massa s'utilitza per aquells materials que requereixen menys resistència a l'impacte. El procés en massa presenta dos avantatges sobre les altres dues; la primera és que el tractament d'aigües residuals és mínima i s'estalvia energia al evitar una etapa de separació i una d'assecat de la resina. Per l'altre banda, crea un ABS menys pigmentat, de manera que redueix la concentració de colorants necessaris. El procés de polimerització en massa-suspensió consisteix en una reacció en massa per produir una barreja en la que hi ha material parcialment transformat en polímer i monòmer; quan la conversió de monòmer arriba a un 15-30%, s'introdueix un agent de suspensió a la fracció que no ha reaccionat i es continua. S'obté ABS amb una morfologia i propietats semblants a la que s'obtenen amb el procés de polimerització en massa, però amb una viscositat inferior.

Polimerització per emulsió

Consta de 2 etapes: primer es produeix un làtex de cautxú i després es polimeritza amb estirè i acrilonitril, creant làtex d'ABS. Posteriorment aquest làtex es processat per aïllar la resina d'ABS. La reacció dura entre 12 i 24h.

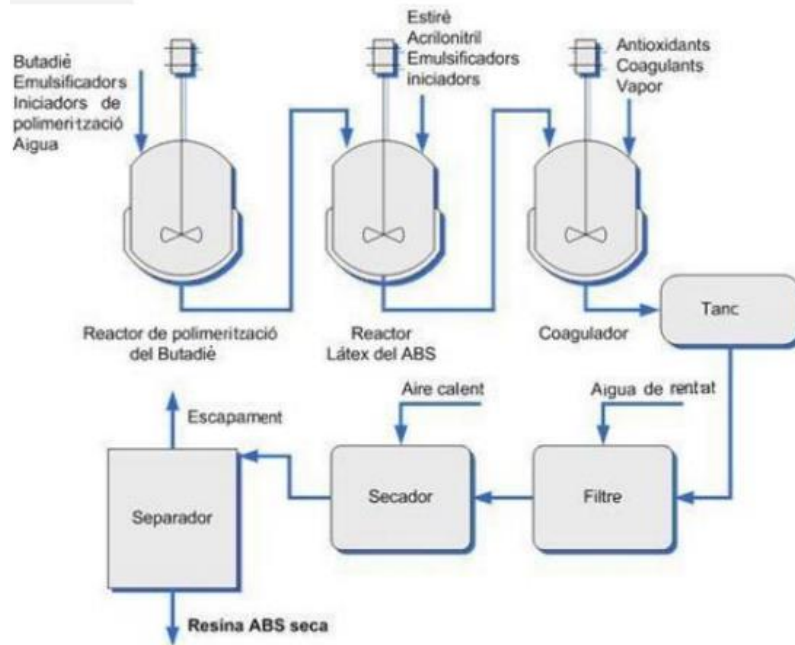


Figura 40: Procés de polimerització per emulsió. (Recurs UB)

Polimerització en massa

Per realitzar aquest procés es connecten en sèrie dos o més reactors en continu. En aquest cas un monòmer condueix la polimerització. És habitual utilitzar una solució polimeritzada de polibutandiè lineal o un copolímer d'estirè per substituir el cautxú, encara que en alguns processos s'utilitza una emulsió polimeritzada d'ABS amb un elevat contingut de cautxú.

El reactor conté una barreja de monòmers i del copolímer SAN (estirè i acronitril). Si s'utilitza un cautxú lineal com alimentació, aquest es torna insoluble formant partícules discretes. De manera que passant d'una fase continua de cautxú a una fase continua de copolímer SAN amb partícules discretes de cautxú en la seva matriu.

La barreja de monòmers acronitril i estirè en presència de polibutandiè és polimeritzada mitjançant un canvi de fase fins el 30% de la conversió. Posteriorment és bombejada al polimeritzador en massa, on la conversió es produeix fins un 50-80%. Els polimeritzadors en massa operen contínuament a 120 – 180°C. El calor de la polimerització és eliminada per evaporació. Els vapors són condensats, reciclats i reconduïts al reactor, on alimenten la corrent del monòmer. Després de la reacció, el polímer és bombejat a un evaporador on els monòmers que encara no han reaccionat són remoguts per aspiració i reciclats. Aconseguim un producte final que és resina d'ABS i posteriorment transformats en pèl·lets.

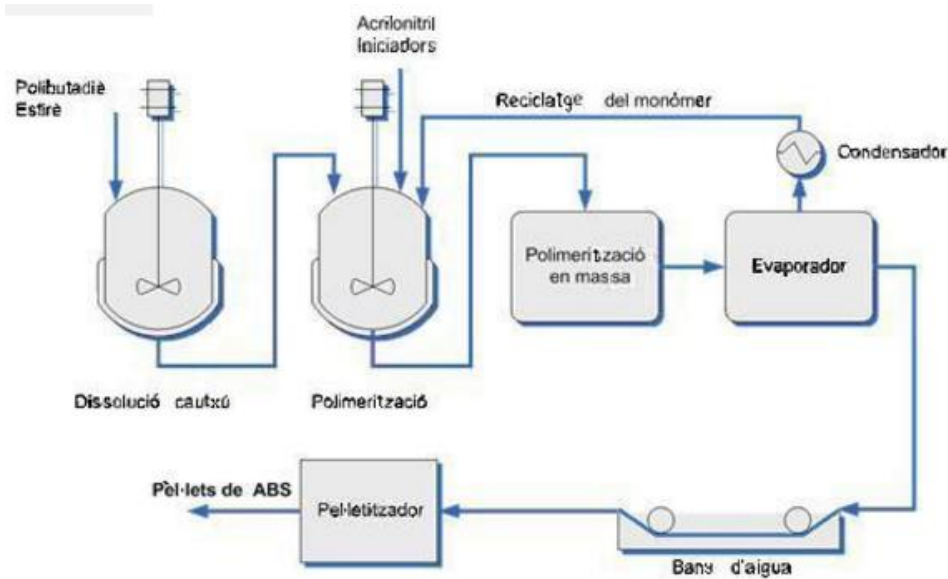


Figura 41: Procés de polimerització en massa. (Recurs UB).

B.3.4 Conformació de l'ABS

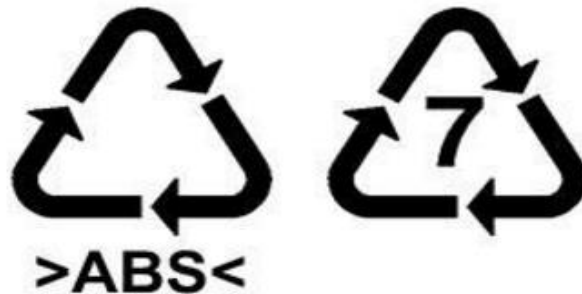
Es pot conformar per extrusió, amb emmotllat per injecció, per bufat i premsat. Abans d'injectar o extrudir és recomanable assecar el producte durant 2 hores a 80-90°C en una estufa. L' injecció no dóna gaires complicacions, però s'ha de realitzar a temperatures de massa entre 200-240°C a una pressió de 800 a 1800 bars. Tampoc presenta problemes per ser extruït o termo-conformat. En el termo-conformat cal que la superfície de les planxes estigui ben seca ja que si no es formarien bombolles; no obstant mantenen l'escalfor i es deformen bé. Els plàstics amb base d'estirè són els més utilitzats per a termo-conformar. Addicionalment es poden realitzar procediments especials, com un conformat en fred, un acabat metal·litzat o decoratiu o realitzar un marcat amb làser. Pel que fa al color, el poliestirè és transparent, mentre que en copolímer d'ABS té un to marronós.

B.3.5 Reciclatge

L'ABS és un material reciclable. Les components d'ABS han d'estar etiquetades segons la norma ISO 11469.

En el cas específic de l'ABS, els fabricants recomanen tres alternatives depenent de l'origen del residu:

1. Si són peces que van ser mollejades soles i no contenen ninguna substància nociva poden ser mecànicament reciclades al acabar els seu ús.
2. Si les peces contenen substàncies perilloses, es poden fer: O un reciclat termoquímic o una recuperació energètica per combustió amb el posterior tractament de gasos.



**Figura 42: Símbol del reciclatge per l'ABS,
que engloba el dels plàstics en general**
(Recurs UB)

B.3.6 Aplicacions

Entre altres aplicacions l'ABS s'utilitza per: carcasses per televisors, camares, telèfons, calculadores, rellotges, carrosseries en automobilisme, peces cromades, caixes per bateries, poms per portes, màquines d'afeitar, cadires, raspalls de dents elèctrics, maletes, material sanitari, cascs de motos, contenidors, instruments pels esports, etc.

Degut a que l'ABS és relativament econòmic i aporta una resistència a l'impacte superior al PVC, s'utilitza per realitzar barreges i aliatges de polímers, donant lloc a nous plàstics.

ANNEX C: BIOMECÀNICA, PRINCIPIS I COMPONENTS DE LES ORTESIS D'EXTREMITATS SUPERIORS

ANNEX C: BIOMECÀNICA DE LES EXTREMITATS SUPERIORS

En aquesta secció s'ha de tenir en compte uns punts claus:

- S'ha d'assolir una amplitud de moviment funcional, més que una amplitud de moviment normal, potser un objectiu acceptable. No obstant, aquesta amplitud de moviment funcional potser representada com una mitjana global o específic de tasques.
- En el seu nivell més fonamental, una mà funcional requereix una base estable del canell i de l'avant braç i almenys dos dits amb sensibilitat i amb força d'oposició.
- Un moviment sinèrgic entre el canell i els dits es eficient i s'ha d'incorporar quan sigui possible als dissenys ortòtics.
- El moviment i funcionalitat del polze han de constituir prioritats fonamentals pel seu paper crític en la funció de la mà.
- L'estabilitat articular és igualment important pel moviment articular com ha consideració funcional per la ortesis.

La funció de l'extremitat superior permet complir tasques complexes, com agafar un objecte, fer-li pressió i manipular-lo. L'extremitat superior es pot explorar com un sistema de connexió. El principal efector de l'extremitat superior és la mà; el canell, el colze i l'espatlla actuen per col·locar la mà en l'espai. La descripció i anàlisi de la funció es pot complementar amb estudis que utilitzen els principis de la biomecànica. L'aplicació d'aquesta informació es especialment rellevant en relació amb el disseny i la prescripció de la ortesis. Aquest capítol comenta la biomecànica de l'extremitat superior d'acord amb les principals funcions articulars del moviment, l'estabilitat i la força. La secció final considera les necessitats específiques creades pels traumatismes o deformitats congènites.

C.1 Descripció del moviment

Les articulacions anatòmiques es descriuen des de un punt vista biomecànic segons els eixos articulars i el grau de llibertat. Per exemple, es considera que l'articulació interfalàngica (Font 1) és una articulació uniaxial amb un grau de llibertat, que permet el moviment en un pla. El tipus i l'amplitud del moviment dels moviments d'una articulació depèn de la limitació passiva que proporciona la forma i el contorn de les superfícies articulars, els lligaments i els teixits tous, així com per la facilitació activa del sistema neuromuscular.

La descripció del moviment es torna detallada quan s'estudia les articulacions multiaxials. El sistema d'angles eulerians és un mètode útil en la descripció de la rotació tridimensional. Aquest mètode agafa en consideració el fet de que la rotació tridimensional depèn de la seqüència. Aquesta descripció pot ser aplicada clínicament per descriure l'amplitud del moviment articular, així com per especificar la posició articular en la prescripció d'ortesis. Vegeu a continuació a la fig. 43 les parts que component un canell:

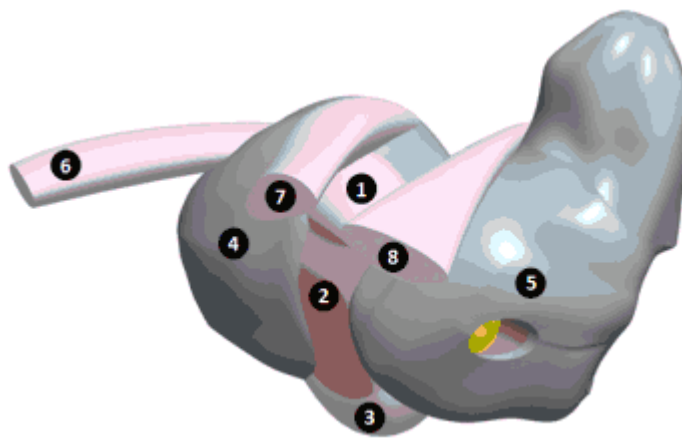


Figura 43: Modelització en elements finits del canell: (1) Palmar, (2) Proximal, (3) Dorsal, (4) Semilunar, (5) Escafoides, (6) Ulna lunar, (7) Radio lunar, (8) Radio escafoides, (9) Lligament escafolunar.

C.1.1 Arc normal d'amplitud de moviments contra els requeriments de moviments funcionals.

Al estudiar el moviment de la extremitat superior es important separar els estàndards normals de l'arc de moviment d'una articulació específica i l'arc de moviment funcional requerit per la majoria de les activitats quotidianes. Per exemple, el canell té un arc de flexió normal de 80-85 graus, 70 graus d'extensió, 20 graus de desviació radial i 30 graus de desviació cubital. Segons un estudi realitzat a 40 individus normals (20 homes i 20 dones) per determinar l'amplitud de moviment requerit per portar a terme activitats de la vida diària. Es va determinar simultàniament la quantitat de flexió i extensió del canell, així com la desviació radial i cubital, amb un electrogoniometre de canell biaxial. Es va arribar a aconseguir el conjunt complet de tasques avaluades amb 60 graus d'extensió, 54 graus de flexió, 40 graus de desviació cubital i 17 graus de desviació radial. La majoria de les tasques de col·locació de la mà i d'amplitud de moviment estudiades s'aconsegueix amb el 70% de l'amplitud màxima de moviments del canell. Això es converteix en 40 graus de flexió i 40 graus d'extensió del canell i 40 graus de desviació radial-cubital combinada (30 graus de desviació cubital, 10 graus de desviació radial). El coneixement dels requeriments funcionals de l'amplitud de moviment per les activitats de la vida diària pot actuar com a guia al elaborar-se dispositius ortopèdics auxiliars. Proporcionar dispositius que permeten el moviment amb la finalitat de complir tasques funcionals i ocupacionals ha de ser un objectiu.

C.1.2 Moviments sinèrgics del canell i de la mà.

Per entendre el control motor dels dits i de la mà, és essencial conèixer la relació entre la posició de l'articulació del canell i el seu recorregut tendinós. Posicionar el canell en la direcció oposada a la dels dits altera la longitud funcional dels tendons dels dits, d'aquesta manera es pot aconseguir un moviment sinèrgic dels dits. L'extensió del canell és sinèrgica a la flexió dels dits i augmenta la longitud dels músculs flexors dels dits, lo que permet un augment de la flexió amb l'estirament. La flexió del canell és sinèrgica a l'extensió dels dits, i la flexió del canell fica tensió sobre els extensors llargs, facilitant l'extensió dels dits. Aquesta relació es pot aplicar en les tècniques de protegir el tendó amb una fèrula amb respecte a l'afectació del recorregut del tendó per posicionament i els beneficis potencials del moviment sinèrgic del canell i del moviment de l'articulació metacarpofalàngica (MCF) en la promoció d'un

liscament del tendó flexor després de la reparació. Igualment, els principis sinèrgics del moviment del canell són la base de molts dissenys ortopèdics que proporcionen una funció auxiliar de la mà amb tetraplegia. Tot s'ha de dir que es requereix un estudi més ampliï per provar nous dissenys de fèrules *in vivo*.

C.2 Estabilitat

Es creu que qualsevol limitació articular, en part, consta d'elements estàtics i dinàmics. Es poden dividir els factors estàtics en components articular, capsular, lligamentosa i de pressió intró articular. L'estabilitat dinàmica s'origina en l'activitat muscular.

C.3 Força

Normalment s'ha utilitzat 3 paràmetres per descriure la mida i la morfologia del múscul. La longitud de la fibra muscular es relaciona amb el potencial del recorregut tendinós. L'àrea transversal fisiològica del múscul és proporcional a la tensió màxima del múscul. Donat que el treball és igual a la força per la distància, la massa o el volum muscular és proporcional a la capacitat de treball total.

C.3.1 Components funcionals essencials de la mà.

En aquesta secció es parla de les funcions essencials que ha de poder fer la mà. La mà consta d'un canell estable i almenys dos dits que poden oposar-se amb una certa força. Un dit ha de ser capaç de aconseguir un moviment, d'aquesta manera pot agafar objectes. L'altre dit només ha d'actuar com ha base estable, d'aquesta manera el dit mòbil pot realitzar la pinça. Per permetre els moviments de pressió, els dits requereixen una certa forma oberta per realitzar-les, lo que permetrà l'acomodació d'objectes. És precís que els dits tinguin sensibilitat i no pateixin dolor. Uns dits insensibles o crònicament dolorosos poden oferir un escàs benefici sobre la substitució per una pròtesis. S'ha definit els requeriments per una sensibilitat funcional com una discriminació de dos punts menor de 10 a 12 mm.

La mà permet la prensió , que és la capacitat per agafar i manipular objectes. La prensió requereix que la mà sigui capaç d'aproximar-se , agafar i alliberar un

objecte. Així, si només queden dos dits sensibles per oposar-se, és possible una certa prensió.

En terminis de moviment biomecànic, la mà efectua aproximadament 7 maniobres bàsiques que componen la major part de la funció de la mà:

1. **Pinça de precisió o terminal** (fig.43)
2. **Pinça d'oposició o subterminal** (fig.44)
3. **Pinça de clau** (fig.45)
4. **Arpa direccional o centrada** (fig.46)
5. **Arpa de ganxo** (fig.47)
6. **Presa de força** (fig.48)
7. **Presa palmar** (fig.49)

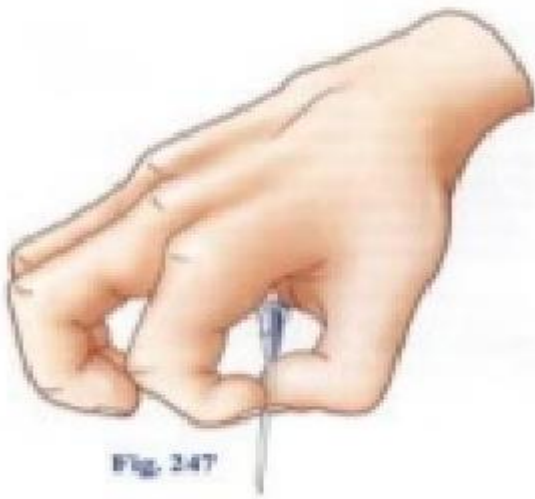


Figura 43



Figura 44



Figura 45



Figura 46



Figura 47



Figura 48



Figura 49

C.4 Principis i components de les ortesis de l'extremitat superior

Les ortesis de l'extremitat superior són acceptades amb major freqüència pels pacients quan existeix un programa terapèutic ben definit i proporciona una funció desitjada que no pot aconseguir-se d'un altre manera.

Les ortesis amb materials termoplàstics de baixa temperatura els confeccionen amb freqüència el terapeuta ocupacional, la qual la seva funció inclou l'avaluació de la necessitat d'ortesis, la recomanació de dispositius i la instrucció del pacient per la seva feina. El paper de l'ortoepista sol ser recomanar, dissenyar, confeccionar, adaptar i controlar les ortesis definitives de l'extremitat superior que es confeccionen amb aliatges duradores de metall i de plàstic.

C.4.1 Ortesis de materials termoplàstics de baixa temperatura

Per la seva facilitat de confecció, aquest grup d'ortesis satisfà la necessitat d'ortesis ràpidament disponibles en el marc clínic. Però, donat que una combinació de la tècnica per confeccionar la ortesis i les males propietats mecàniques del material, no són idònies per utilitzar-les a llarg termini o quan es requereix una adaptació molt íntima para la seva funció.

Aquestes ortesis provisionals es confeccionen generalment amb materials termoplàstics de baixa temperatura, que es poden formar en aigua calenta a 60-76 °C. Es poden utilitzar materials termoplàstics d'alta temperatura, però s'ha de fer un motlle de guix de l'avantbraç, del canell o de la mà del pacient per evitar causar-li cremades. A més, no es poden tallar amb tisores, això vol dir que s'ha d'utilitzar una font d'energia.

Els principals avantatges d'aquest tipus d'ortesis són que poden ser adaptades poc després del traumatisme o lesió i que pesen poc. Els desavantatges són que no tenen suficient rigidesa per mantenir la seva forma i prevenir les marques d'alta pressió i que la seva adaptació és menys precisa com a conseqüència de la forma de la mà.

Les ortesis dinàmiques d'aquest tipus de material s'han de dissenyar per proporcionar forces específiques en la direcció correcta, utilitzant prolongacions que s'insereixen en el cos de la ortesis principal. La utilització d'articulacions mecàniques en paral·lel amb articulacions anatòmiques poden disminuir les

adherències articulars, mantenir la funció articular i prevenir la rigidesa de l'articulació. Un gran percentatge d'individus que requereixen aquestes ortesis es tracten en l'hospital en la fase aguda després de cirurgia o traumatisme en l'avantbraç i mà, i posteriorment es tracten en centres de rehabilitació ambulatoria.

En el següent capítol es mostra en quina ortesis s'ha inspirat el prototip.

C.4.2 Ortesis de repòs del canell i mà

L'aplicació clínica està dissenyada per mantenir els arcs de la mà, mantenir el polze en abducció i flexionat i mantenir el canell en posició funcional (30º). Es confecciona la ortesis (fig.50) col·locant l'extremitat del pacient sobre un paper i dibuixant un patró que embarqui les puntes dels dits, es prolonga en l'avantbraç per embolicar i s'adapta. D'aquesta manera es pot separar el polze dels altres dits. Si no es pot redreçar el costat afectat per dibuixar el patró, es pot utilitzar el costat no afectat i després invertir-lo. S'ha de concedir una amplada extra per l'encoixinat. Es maquen les articulacions i els punts de referència pertinents. Es poden utilitzar tisores per tallar el material triat. Serà més fàcil tallar-la escalfant la línia de tall amb una pistola de calor. S'escalfa el material en una cassola d'aigua calenta llarga i superficial fins que el material queda gomós, es neteja i després es modela a l'extremitat del pacient i es fixa. Després de que s'hagi refredat, es poden afegir accessoris mitjançant coles especials o dissolvent.



Figura 50: Ortesis de repòs
(Recurs Wikipedia)

C.4.3 Plantejament de l'equip en relació amb el tractament ortopèdic

En quan l'abordatge del tractament ortopèdic ho realitza un equip ben organitzat s'afavoreix que el pacient accepti la ortesis. Tant l'ortoepista com el terapeuta ocupacional té un paper fonamental per assegurar un resultat satisfactori. El terapeuta ocupacional avalua la necessitat de la ortesis, recomana els dispositius i instrueix als pacients en la seva utilització. En alguns casos, el terapeuta ocupacional confecciona ortesis de baixa temperatura que poden adaptar-se fàcilment durant la visita. El paper de l'ortoepista sol ser dissenyar, confeccionar i adaptar les ortesis definitives de l'extremitat superior fabricades amb metall i plàstics d'alta temperatura.

Per aconseguir els objectius de recuperació del pacient, es suggereix un equip clínic. Durant aquestes sessions clíniques, l'ortoepista, el terapeuta ocupacional i el metge valoren el pacient. Els objectius de l'equip clínic són:

- Assegurar una adaptació i reavaluar aquesta adaptació en el temps, ja que poden canviar els contorns de la mà del pacient i les seves necessitats funcionals.
- Facilitar el compliment del pacient incorporant la retroalimentació del pacient al equip de discussió i ensenyant-li sobre l'adaptació i la funció de la ortesis.
- Proporcionar una preparació "manual" activa als estudiants orto proteics i de teràpia ocupacional, i a la resta del personal.
- Proporcionar un marc pel diàleg actiu entre l'ortoepista, el terapeuta i el pacient.
- Facilitar solucions als problemes específics i aconseguir resultats de concrets.

C.4.3.1 Preparació

Per aconseguir una màxima eficàcia de la ortesis, el pacient ha de ser instruït a consciència. El procés de preparació del terapeuta implica les següents etapes:

Educació: S'instrueix el pacient sobre l'objectiu i funció de la ortesis. Aquest aprenentatge ho pot facilitar un company que hagi obtingut un bon resultat amb la mateixa ortesis.

Exploració i experimentació: Abans de començar amb les tasques funcionals, el terapeuta adapta la ortesis al pacient, i el pacient aconsegueix sentir-la, obrir-la, moure-la i examinar-la. Es donen instruccions pas a pas. En aquest moment, el pacient observa com es fica la ortesis, però tampoc s'espera que ho intenti. Se li anima a que experimenti amb la ortesis i que es familiaritzi amb els principis mecànics abans d'introduir objectes o de realitzar activitats.

Preparació pre-funcional: Aquesta etapa implica practicar la prensió, adherència, la col·locació i la alliberació d'objectes de varies mides, formes, textures i pesos.

Activitats funcionals: La seqüència sol començar com el manteniment passiu del pessic de la pinça mentre el pacient realitza alguna activitat. Amb freqüència s'utilitza activitats inicials com teclejar, escriure i menjar amb els dits. La preparació per alimentar-se es gradua inicialment proporcionant un equip per tallar carn, obrir recipients i col·locar estris.

Posar i retirar la ortesis: Una tendència sobre l'ús de les ortesis es que només es deu ensenyar al pacient aquestes tasques després de que hagi aconseguit una certa perícia en l'ús de la ortesis, perquè és una capacitat més avançada i pot resultar-li inicialment frustrant. Es prepara el pacient per que es retiri la ortesis primer perquè és més fàcil retirar-se la que ficar-se la. L'altre tendència, no obstant, és que quan abans pugui el pacient ficar-se i retirar-se la ortesis, abans es torna menys dependent de l'ajuda d'un altre persona. Quina tendència seguir depèn del temps de tractament disponible i dels desitjos del pacient.

Sequiment: Després de que el pacient hagi abandonat el centre de rehabilitació, ha d'avaluar-se periòdicament les seves necessitats ortòstics pel manteniment d'una adaptació apropiada i una funció optima.

Resum:

La complexitat de la mà humana requereix que el disseny concedeixi la mateixa importància a la eficiència mecànica que a l'exactitud de l'adaptació perquè la comoditat és fonamental per que al pacient accepti la ortesis. Es requereix una preparació i unes capacitats específiques para satisfer les elevades demandes de disseny i fabricació que resulten dels petits segments, de l'encoixinat limitat dels teixits tous i de la multiplicitat d'articulacions.

Els pacients accepten amb major freqüència les ortesis d'extremitat superior quan hi ha un programa terapèutic ben definit i que les ortesis proporcionen una funció desitjada que no es pot realitzar d'una altra manera. Potser el factor més important per l'acceptació sigui el reconeixement obert de l'equip ortopèdic de que es requereix un cert nivell de compromís. Serà beneficiós pel pacient conèixer quines exigències reals condueixen a la adequada adaptació a una ortesis.

