



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



TREBALL FINAL DE GRAU

Disseny de pròtesis inferiors
impreses en 3D per a persones
amputades a Camerun

Grau en Enginyeria del Disseny Industrial i
Desenvolupament de Productes

Autora: Maria del Mar Martínez Belda
Tutor: Manuel Martínez Torán

València, setembre 2020

Pel recolzament incondicional que m'han donat al llarg de la meua vida, i en els moments més complicats de la vida acadèmica, vull dedicar-lo als meus pares, Julián i Mari Carmen, al meu germà, José David, i a Aitor.

Agraïments

- Al meu tutor, el doctor Manuel Martínez Torán per oferir-me l'oportunitat de participar en aquest projecte tant interessant i amb uns objectius tant admirables.
- A la ETSID, per permetre'm fer ús de les seues instal·lacions per a imprimir el primer prototip de pròtesi inferior.

Resum

El present treball de fi de grau (TFG) mostra el desenvolupament del procés de disseny d'una pròtesi inferior per a pacients amb amputacions causades per la malaltia del peu diabètic, així com l'elaboració d'un protocol de fabricació on plasmarem les diverses fases a seguir per a reproduir aquest procés. Aquest protocol s'enviarà a la leproseria de la Douala, a Camerun, on realitzarem la implantació d'un laboratori de fabricació digital on les Germanes Carmelites Missioneres podran fabricar les pròtesis de manera autònoma gràcies a la tecnologia d'impressió 3D.

Aquestes pròtesis hauran de complir diversos requisits, entre els quals es troben la simplificació del procés de fabricació, la reducció del cost del producte, l'estètica i la resistència. Per tant, realitzarem un estudi per analitzar quins materials són els més assequibles alhora que resistents, com podem reduir el nombre de peces, les possibilitats de realitzar una pròtesi modular per poder adaptar-la als diferents pacients i un estudi per determinar quins seran els productes que implantarem en el laboratori.

Entre aquests requisits, destaquem la reducció del preu de les pròtesis. Tractarem que el preu es situe sota els 100 € per tal de fer-les accessibles per a tota la població, ja que la major part de la població de Camerun no té els recursos suficients per a pagar les taxes del sistema sanitari per rebre atenció mèdica i adquirir una pròtesi. Tot açò serà possible gràcies a l'ús de la tecnologia de fabricació digital, que suposa una gran reducció tant del temps de fabricació com del cost de producció.

Paraules clau: pròtesi inferior, peu diabètic, fabricació digital, impressió 3D, reducció.

Resumen

El presente trabajo de final de grado (TFG) nos muestra tanto el desarrollo del proceso de diseño de una prótesis inferior para pacientes con una amputación causada por la enfermedad del pie diabético, cómo la elaboración de un protocolo de fabricación donde plasmaremos las diversas fases a seguir para reproducir dicho proceso. Éste protocolo se enviará a la leprosería de Douala, en Camerún, dónde se realizará la implantación de un laboratorio de fabricación digital donde las Hermanas Carmelitas Misioneras podrán fabricar éstas prótesis de manera autónoma gracias a la tecnología de impresión 3D.

Estas prótesis deberán cumplir varios requisitos, entre los cuales encontramos la simplificación del proceso de fabricación, la reducción del coste del producto, la estética y la resistencia. Por lo tanto, realizaremos un estudio para analizar cuales son los materiales más asequibles a la vez que resistentes, cómo poder reducir el numero de piezas, las posibilidades de realizar una prótesis modular para que se adapte a diferentes pacientes, y un estudio para determinar cuales serán los productos que se implantaran en el laboratorio.

Entre estos requisitos, destacamos la reducción del precio de las prótesis. Intentaremos que el precio se sitúe por debajo de los 100€ para que sea accesible a una gran parte de la población de Camerún, ya que la mayoría no tiene los recursos suficientes para pagar los impuestos del sistema sanitario y poder recibir atención médica cuando lo necesitan. De la misma manera, tampoco pueden adquirir una prótesis en caso de necesitarla. Con este proyecto, todo esto será posible gracias al uso de la tecnología de fabricación digital, el cual supone una gran reducción tanto en tiempo de fabricación como en coste de producción.

Palabras clave: prótesis inferior, pie diabético, fabricación digital, impresión 3D, reducción.

Abstract

This final degree project (FDP) shows us both, the development of the design process of an inferior prosthesis for patients with an amputation caused by the diabetic foot disease, and the elaboration of a manufacturing protocol where we will show the different phases to follow in order to reproduce this process. This protocol will be sent to the leper colony in Douala, Cameroon, where a digital manufacturing laboratory will be set up for the Carmelite Missionary Sisters to be able to manufacture these prostheses autonomously thanks to 3D printing technology.

These prostheses will have to meet various requirements, among which are the simplification of the manufacturing process, the reduction of the cost of the product, aesthetics and resistance. Therefore, we will carry out a study to analyse which are the most affordable materials at the same time as being resistant, how to reduce the number of pieces, the possibilities of making a modular prosthesis so that it can be adapted to different patients without any problem and a study to determine which products will be implanted in the laboratory.

Among these requirements, we highlight the reduction in the price of the prostheses. We will try to keep the price below 100€ so that it will be accessible to a greater number of the total population of Cameroon, since most of them do not have sufficient resources to pay the taxes of the health system to be able to receive medical attention and thus receive a prosthesis. All this will be possible thanks to the use of digital manufacturing technology, which means a great reduction in both manufacturing time and cost.

Key words: lower prosthesis, diabetic foot, digital manufacture, 3D printing, reduction.

Índex

I. MEMÒRIA DESCRIPTIVA

1. Introducció.....	23
2. Antecedents.....	25
3. Objectius.....	27
3.1 Objectiu general	27
3.2 Objectiu específic.....	27
4. Metodologia i pla de treball.....	29
4.1 Estudi del problema i elaboració de material formatiu.....	29
4.1.1 Estat de l'art.....	29
4.1.1.1 Pròtesis inferiors.....	29
4.1.1.1.1 Pròtesis inferiors de baix cost.....	30
4.1.1.1.2 Materials i elements prefabricats funcionals.....	32
4.1.1.2 Tecnologia de fabricació.....	33
4.1.1.2.1 Escàners 3D.....	34
4.1.1.2.2 Software de disseny.....	37
4.1.1.2.3 Materials en la impressió 3D.....	39
4.1.1.2.4 Impressores 3D.....	40
4.1.2 Escanejat simulat de monyons.....	41
4.1.3 Comparació dels resultats del escanejat.....	41
4.1.4 Disseny adaptat de superfícies.....	42
4.1.5 Disseny mecànic de les pròtesis.....	42
4.1.5.1 Disseny mecànic de la ròtula.....	42
4.1.5.1.1 Primeres idees.....	42
4.1.5.1.2 Realització de maquetes.....	44
4.1.5.1.3 Disseny 3D.....	45
4.1.5.2 Disseny mecànic del turmell.....	45
4.1.5.2.1 Primeres idees.....	45
4.1.5.2.2 Realització de maquetes.....	49
4.1.5.2.3 Càlculs teòrics.....	50
4.1.5.2.4 Disseny 3D.....	55
4.1.6 Primeres proves impreses.....	56
4.1.6.1 Ròtula.....	56
4.1.6.2 Turmell.....	57
4.1.7 Disseny estètic.....	58
4.1.7.1 Primeres idees.....	58
4.1.7.2 Càlculs teòrics.....	60

4.1.7.3 Disseny 3D.....	66
4.1.8 Segones proves impreses.....	68
4.1.9 Experimentació.....	71
4.1.10 Desenvolupament del protocol de treball.....	71
4.1.11 Avaluació del protocol.....	71
4.2 Integració tecnològica d'un laboratori a l'hospital.....	72
4.2.1 Adquisició tecnològica.....	72
4.2.2 Integració tecnològica.....	72
4.3 Formació del personal de l'hospital.....	72
4.4 Transferència de resultats, promoció del projecte i captació de voluntaris.....	73
4.4.1 Promoció i transferència.....	73
4.4.2 Seguiment	74

II. PLEC DE CONDICIONS

1. Objecte i abast.....	75
2. Normativa.....	76
3. Descripció de la proposta final.....	78

III. PLÀNOLS

IV. PRESSUPOSTOS

V. CONCLUSIONS

VI. BIBLIOGRAFIA

Índex de figures

Figura 1. Pròtesi de baix cost desenvolupada pel MIT.....	30
Figura 2. Pròtesi «Circleg».....	31
Figura 3. Parts modulars de la pròtesi «Circleg».....	32
Figura 4. Sistema C-Leg.....	32
Figura 5. «Pocket Scan».....	37
Figura 6. Impressora «Delta WASP 2040 PRO».....	40
Figura 7. Esbós inicial: ròtula.....	43
Figura 8. Explosionat ròtula (1).....	43
Figura 9. Maqueta ròtula: extensió.....	44
Figura 10. Maqueta ròtula: flexió.....	44
Figura 11. Muntatge ròtula (1).....	44
Figura 12. Muntatge ròtula (2).....	44
Figura 13. Perfil ròtula.....	45
Figura 14. Planta ròtula.....	45
Figura 15- Perspectiva ròtula.....	46
Figura 16. Explosionat ròtula (2).....	46
Figura 17. Detall (1).....	47
Figura 18. Esbós inicial: ròtula.....	48
Figura 19. Posició (1).....	48
Figura 20. Posició (2).....	48
Figura 21. Posició màqueta (1).....	49
Figura 22. Posició màqueta (2).....	50
Figura 23. Esquema de forces.....	53
Figura 24. Esquema de forces resolt.....	54
Figura 25. Perfil: peu i turmell.....	54
Figura 26. Perspectiva: peu i tumell.....	55
Figura 27. Explosionat: peu i tumell.....	56
Figura 28. Impressió ròtula (1).....	56
Figura 29. Impressió ròtula (2).....	56
Figura 30. Impressió ròtula (3).....	57
Figura 31. Impressió ròtula (4).....	57
Figura 32. Impressió turmell (1).....	57
Figura 33. Impressió turmell (2).....	57
Figura 34. Impressió turmell (3).....	57
Figura 35. Impressió turmell (4).....	57
Figura 36. Esbós: disseny estructura (1).....	58
Figura 37. Esbós: disseny estructura (2).....	59

Figura 38. Esquema de forces (2).....	60
Figura 39. Esquema de forces resolt (2).	62
Figura 40. Esquema de forces (3).....	64
Figura 41. Esquema de forces resolt (3).....	65
Figura 42. Perfil pròtesi.....	66
Figura 43. Posició 1.....	66
Figura 44. Posició 2.....	66
Figura 45. Perfil pròtesi amb carcassa.....	67
Figura 46. Perspectiva pròtesi.....	67
Figura 47. Impressió pròtesi (1).....	68
Figura 48. Impressió pròtesi (2).....	68
Figura 49. Impressió pròtesi (3).....	69
Figura 50. Impressió pròtesi (4).....	69
Figura 51. Impressió pròtesi (1).....	70
Figura 52. Impressió pròtesi (2).....	70
Figura 56. Proposta final (1).....	78
Figura 57. Proposta final (1).....	79
Figura 58. Proposta final (1).....	79
Figura 59. Proposta final (1).....	80
Figura 60. Proposta final (1).....	80
Figura 61. Proposta final (1).....	81
Figura 62. Proposta final (1).....	81
Figura 63. Proposta final (1).....	82
Figura 64. Proposta final (1).....	82

Índex d'ecuacions

Equació 1. Fórmula tensió.....	51
Equació 2. Fórmula deformació.....	51
Equació 3. Llei de Hooke.....	51

Índex de taules

Taula 1. Estudi de mercat d'escàners 3D.....	35
Taula 2. Característiques del PLA.....	51
Taula 3. Dades per al càlcul de la resistència (1).....	53
Taula 4. Dades per al càlcul de la resistència (2).....	61
Taula 5. Dades per al càlcul de la resistència (3).....	63
Taula 6. Pressupost part davantera del peu.....	97
Taula 7. Pressupost del conjunt peu-turmell.....	98
Taula 8. Pressupost de la peça de subjecció.....	98
Taula 9. Pressupost del genoll.....	99
Taula 10. Pressupost de la carcassa.....	99
Taula 11. Pressupost del encaix del monyó.....	100
Taula 12. Pressupost de la peça d'unió (1).....	100
Taula 13. Pressupost de la peça d'unió (2).....	101
Taula 14. Pressupost de l'estructura inferior.....	101
Taula 15. Pressupost de l'estructura superior.....	102
Taula 16. Pressupost dels caragols de cap hexagonal M4.....	102
Taula 17. Pressuposts de les rosques hexagonals M4.....	103
Taula 18. Resums dels pressupostos de fabricació.....	103
Taula 19: Cost adquisició impressores 3D.....	105
Taula 20: Cost adquisició escàner 3D.....	105
Taula 21. Pressupost part davantera del peu.....	106
Taula 22. Pressupost del conjunt peu-turmell.....	106
Taula 23. Pressupost de la peça de subjecció.....	106
Taula 24. Pressupost del genoll.....	107
Taula 25. Pressupost de la carcassa.....	107
Taula 26. Pressupost del encaix del monyó.....	107
Taula 27. Pressupost de la peça d'unió (1).....	108
Taula 28. Pressupost de la peça d'unió (2).....	108
Taula 29. Pressupost de l'estructura inferior.....	108
Taula 30. Pressupost de l'estructura superior.....	109
Taula 31. Pressupost dels caragols de cap hexagonal M4.....	109
Taula 32. Pressuposts de les rosques hexagonals M4.....	110
Taula 33. Resums dels pressupostos.....	110
Taula 34. Cost associat al desenvolupament de la plataforma online.....	111
Taula 35. Resum dels pressupostos de la instal·lació del laboratori.....	111
Taula 36. Cost associat a l'estudi de mercat.....	113
Taula 37. Cost associat al desenvolupament de la proposta.....	113

Tabla 38. Cost associat a l'elaboració del plec de condicions i els presupostos.....	114
Tabla 39. Cost associat a la redcció de la memòria TFG.....	114
Tabla 40. Cost associat al pressupost de conceptualització i desenvolupament de la pròtesi.....	114
Tabla 41. Cost total del projecte.....	115

I. MEMÒRIA DESCRIPTIVA

1. Introducció

La diabetis és una malaltia crònica que produeix en els que la pateixen un excés de glucosa en sang. Concretament, en la diabetis tipus 2, la qual es la més comú, aquest excés d'insulina esta causat per la disminució de la secreció d'insulina.

Una de les complicacions més importants d'aquesta malaltia es el peu diabètic, el qual es defineix com una infecció, ulceració i destrucció dels teixits. Aquesta situació clínica pot arribar a causar un dany irreversible en els vasos sanguinis i en els nervis dels membres inferiors, el qual, en la major part dels casos, acaba derivant en una amputació. De fet, en els països menys desenvolupats, com es el cas de Camerun, és la principal causa d'amputació de membres inferiors.

Aquest problema, sumat a l'elevat cost que suposen els internaments hospitalaris i les amputacions, suposa una reducció de la capacitat de treball que poden realitzar els pacients en edat productiva, derivant en una disminució de la qualitat de vida de la persona, i, en alguns casos, de la família, ja que en les famílies on el pacient es la principal font d'ingressos, aquesta mancança de treball pot suposar la ruïna de la família.

Amb aquestes dades, resulta imperatiu trobar una solució econòmica que oferir a les persones que necessiten atenció protètica, sobretot en el llocs on adquirir una pròtesi es molt car i complicat.

D'aquesta manera, arribem a l'ús de la fabricació digital, ja que a banda de ser una tècnica de producció més ràpida i econòmica, la impressió 3D i els processos d'obtenció de les geometries del cos, bé a través de TAC o escanejant en 3D els monyons, han generat un important avanç en el seu ajust i permeten la personalització de les pròtesis. A més, la impressió 3D també ens permet realitzar diverses millores estètiques, les quals fan un gran paper en la reducció del trauma psicològic i ajuden al pacient a reintegrar-se més ràpidament en la seua vida.

Per tant, en el nostre projecte contarem amb dues línies molt importants. D'una banda, l'escanejat 3D facilitarà el procés i millorarà la conversió de la informació digital de la superfície del monyó per tal d'adaptar-lo al disseny de l'encaix de la pròtesi. D'altra

banda, la impressió 3D serà fonamental per al disseny tant de la part estructural com la part estètica, però sobretot, ens permetrà dissenyar pròtesis modulars adaptables als diferents pacients sense a necessitat de realitzar grans canvis en el disseny.

2. Antecedents

Les Germanes Carmelites Missioneres, baix la necessitat de poder atendre correctament a pacients amb amputacions, principalment en les extremitats inferiors, demanen ajuda per obtenir els recursos necessaris per a poder fer-ho, i se'ls proposa crear un laboratori de fabricació digital de pròtesis mitjançant l'ús de tecnologia d'impressió 3D.

Gracies a la gran varietat de possibilitats que ens ofereix aquesta tecnologia, es decideix ampliar la leproseria amb un laboratori on es desenvoluparan les pròtesis. Tot, en un context on un gran nombre de persones es veuen afectades per les amputacions causades per la diabetis, i en un país on no hi ha un sistema de salut que pugui atendre-les correctament. A més, es suma al problema la pobresa extrema del país, per tant, la majoria de les persones no poden accedir a cap tipus de pròtesis.

La leproseria està ubicada a Douala, capital econòmica de Camerun, i a banda de funcionar com a leproseria, també ofereix assistència medico-quirúrgica a pacients amb ferides cròniques que arriben des de tots els racons del país. Compten amb la col·laboració d'especialistes i voluntaris que treballen les diferents àrees de la salut. Per tant, la seua tasca no només afecta als pacients de lepra, si no que també tracten, entre altres, pacients que pateixen tuberculosi.

3. Objectius

3.1 Objectiu general

L'objectiu general d'aquest projecte es integrar un laboratori de fabricació de pròtesis inferiors a la leproseria de Douala i elaborar un protocol de fabricació d'aquestes per tal que la Congregació de les Carmelites Missioneres siguin autònomes a l'hora de fabricar elles mateixa les pròtesis.

3.2 Objectiu específic

L'objectiu d'aquest projecte és crear un centre de pròtesis en el qual tot el procés es realitzi mitjançant tècniques d'escanejat i d'impressió 3D, tot administrat i gestionat per la Congregació de les Carmelites Missioneres, les quals treballen a la leproseria de la Dibamba.

Aquesta leproseria és un centre social de Douala on acudeix la gent en situació de molta dificultat. Són moltes les persones que s'han de referir a el servei de cirurgia per motius de gangrenes, sense altra possibilitat per salvar la vida que de tallar la cama sobreinfectada, i que majoritàriament són gent diabètica. Els motius pels quals passa això és perquè esperen massa a acudir a l'hospital, per motius de cultura i per falta de recursos econòmics. Per fer-se una idea el cost de sis malalts amb necessitat de pròtesis, es d'uns 4.268 euros, i òbviament les pròtesis a les que tenen accés son de mala qualitat.

Per tant, la idea del projecte és que les germanes, ajudades per l'equip de la leproseria, puguin poder ser autònomes a l'hora de fabricar elles mateixa les pròtesis i amb això garantir pròtesis menys cares i de major qualitat gràcies a la tecnologia d'impressió, accessibles a el màxim de gent. Ja que, alguns estudis conclouen que el 90% dels amputats en els països no desenvolupats no tenen el poder adquisitiu necessari per a poder pagar una pròtesi.

Així que, tractarem de garantir a economia de la pròtesi, intentant produir-les per menys de 100 €, tot gracies a la reducció de costos derivada de l'abaratiment de la producció gracies a l'ús de tecnologia d'impressió 3D.

En definitiva, la nostra proposta tindrà les següents bases:

- Realitzarem dissenys assequibles, pensades per a la gent amb menys recursos econòmics.

- Les pròtesis seran resistents, tant per suportar el propi pes de la persona com per ser el suficientment rígida per rebre pressions externes sense deformar-se.

- El component estètic tindrà un gran paper en el disseny de les nostres pròtesis, ja que l'estètica ajuda a superar el trauma psicològic que suposa dur una pròtesi.

4. Metodologia i pla de treball

La metodologia es el conjunt de mètodes o tècniques a seguir durant un procés d'investigació per tal d'arribar a un resultat teòricament vàlid. Per tant, en el nostre cas ens permetrà conèixer els problemes mèdics als quals s'enfronten els pacients amb amputacions i les seues necessitats ortopèdiques, fer les proves necessàries per a elaborar una pròtesis completament funcional i realitzar la validació d'aquesta una vegada hem finalitzat el treball.

D'aquesta manera, serà possible elaborar un protocol complet per a la fabricació de les pròtesis i que la leproseria de la Dibamba siga capaç de reproduir el nostre procés de fabricació completament.

I finalment, després la instal·lació del laboratori a l'hospital de Douala, també serà possible realitzar un seguiment per a assegurar-nos de que la fabricació de les pròtesis és la correcta.

4.1 Estudi del problema i elaboració de material formatiu

En primer lloc, començarem per la recerca d'informació corresponent amb la problemàtica i realitzarem les proves corresponents per a elaborar el protocol de fabricació.

4.1.1 Estat de l'art

Pel que respecta a l'estat de l'art actual en l'àmbit de la fabricació de pròtesis inferiors de baix cost, s'han de tenir en compte les diferents investigacions sobre pròtesis inferiors que podem trobar i, a més, també s'ha de fer una recerca sobre la tecnologia que anem a utilitzar per a la fabricació d'aquestes, que en el nostre cas es la impressió 3D.

4.1.1.1 Pròtesis inferiors

La recerca sobre les pròtesis inferiors que trobem al mercat es dividirà en dos parts. D'una banda, estudiarem les diferents pròtesis que podem trobar al mercat i que ens puguen servir d'exemple per a elaborar les nostres, per tant, ens centrarem en les pròtesis de baix cost. D'altra banda, també estudiarem diferents elements que puguen ser d'utilitat per al projecte, tant pel seu material com pel conjunt.

4.1.1.1 Pròtesis de baix cost

· Pròtesis biòniques de peu i turmell

L'investigador Joel Huegel va formar una associació civil per desenvolupar pròtesis de peu i turmell de baix cost i alta qualitat, amb la finalitat de garantir que persones de baixos recursos amb amputacions inferiors puguin dur a terme una vida el més autònoma possible.

· Pròtesis de peu sense turmell

El MIT (Institut Tecnològic de Massachusetts) ha desenvolupat un peu protèsic simple de baix cost que s'adapta al pes del cos del pacient perquè aquest pugui caminar de la manera més natural possible.



Figura 1. Pròtesi de baix cost desenvolupada pel MIT

La clau d'aquest peu protèsic és un dispositiu que reproduïx els moviments naturals d'una cama bona a la part inferior d'aquesta. Així, mitjançant un model matemàtic creat gràcies a les lleis cinemàtiques es pot reproduir mecànicament el moviment d'un peu sa.

Però, l'objectiu principal era simplificar la fabricació de la pròtesi per fer-la més assequible, per tant, es van crear pròtesis d'una única peça. Aquesta peça estava feta de niló mecanitzat (el qual permet conservar l'energia generada amb el moviment) i no compta amb cap articulació, ja que no és necessària per al moviment.

A més, per augmentar la seva funcionalitat es poden afegir soles de goma que augmenten el tracció sobre les diferents superfícies i donen una millor estètica a el disseny.

· Pròtesis inferiors fetes a partir de plàstic reciclat

Circleg és una empresa que es dedica a fabricar pròtesis de baix cost per als països en vies de desenvolupament, ja que, el cost de les pròtesis en aquests països és molt elevat i la major part de la població es decanta per utilitzar diferents objectes com a substitut de l'extremitat perduda.



Figura 2. Pròtesi "Circleg"

Les pròtesis són sistemes modulars, els quals estan formats per dos adaptadors, una articulació de genoll, un plançó, una articulació de turmell i un peu. Pel que respecta als adaptadors, aquests es poden ajustar individualment. I les articulacions permeten diferents posicions per garantir la naturalitat dels moviments, com per exemple, el balanceig que podem apreciar en una cama sana al caminar.

Les diferents peces d'aquestes pròtesis es fabriquen per injecció i extrusió d'un material compost format per plàstic reciclat i fibres de vidre, d'aquesta manera es redueix el cost del material i es satisfan les necessitats materials d'una pròtesi de cama.

A més, l'ús de diferents peces permet la reparació individual d'aquestes, per reduir els costos de reparació.



Figura 3. Parts modulars de la pròtesi «Circleg»

4.1.1.1.2 Materials i elements prefabricats funcionals

- **Sistema de genoll C Leg**

Actualment és el sistema més avançat del món, ja que proporciona un alt nivell de seguretat i el màxim nivell de mobilitat. C-Leg està controlat per un microprocessador que adapta el sistema a les necessitats de l'usuari en temps real. A més, la seva tecnologia redueix al màxim la possibilitat d'ensopegar i caure. És un sistema molt car, per tant no entra dins de la recerca de pròtesis i peces assequibles, però el seu sistema pot utilitzar-se per a crear altres més assequibles que copien la funcionalitat d'aquest.



Figura 4. Sistema C-Leg

- **Sistemes d'amortització**

Una gran problemàtica a la que s'enfronten els dissenyadors de pròtesis inferiors es la amortització. Ja que les pròtesis han de suportar correctament l'impacte del pes del pacient contra el terreny. Per tant, s'han desenvolupat uns peus articulats multiaxials, els quals acumulen energia gràcies al moviment per tal de facilitar la marxa amb la pròtesi.

- **Sistema d'encaix de silicona**

En les pròtesis, la part de l'encaix té una gran importància, ja que d'aquesta depèn, en gran part, la comoditat del pacient. Per tant, gràcies a l'ús de la silicona, aconseguim augmentar la comoditat, naturalitat i llibertat de moviment.

4.1.1.2. Tecnologia de fabricació

Per a fabricar les pròtesis utilitzarem la tecnologia d'impressió 3D, en la qual s'ha aconseguit un gran desenvolupament en els últims anys.

Aquest procés es classifica dins dels processos de fabricació additius, es a dir, els objectes tridimensionals es fabriquen mitjançant la superposició de capes successives del material. I per a aquest tipus de procés de fabricació podem trobar diferents mètodes, com pot ser el modelat per deposició fosa (FDM), l'estereolitografia (SLA) o el sinteritzat selectiu per laser (SLS).

Aquest mètodes es diferencien entre ells segons el material a utilitzar, però tots tenen en comú que depenen d'un software que permeti obtenir totes les capes necessàries per a realitzar la impressió a partir d'un model CAD de l'objecte a fabricar.

En definitiva, per a poder dur a terme la fabricació additiva d'un objecte tridimensional primer s'ha de produir un arxiu seguint les següents fases computacionals.

- Realització tridimensional del objecte - model CAD -, o d'alguna de les peces d'aquest si es tracta d'un objecte molt complexe.

- Dividir l'objecte en capes del mateix espessor.
- Configuració del material a utilitzar en la fabricació.
- Configuració de les instruccions que ha de seguir la ferramenta per a fabricar cada capa.

4.1.1.2.1 Escàners 3D

L'ús dels escàners 3D s'ha estés poc a poc des de l'indústria fins a una gran quantitat d'àmbits, com per exemple la medicina, ja que funciona com un sistema que analitza la forma de l'objecte a escanejar per a fer possible la construcció de models tridimensionals a partir de aquestes dades.

I pel que fa als escàners portàtils, podem trobar una gran varietat en el mercat actual, de tots els tipus i de tots els preus.

	Fabricant	Preu	Resolució	Precisió	Volum d'escanejat	Tecnologia
Handheld 3D Scanner	XYZprinting	229 €	1 – 2.5 mm.	/	/	Infrarojos, CCD i vídeo
Sense	3D Systems	350 €	0.9 mm	1 mm	20 cm – 3 m.	Llum infraroja
Occipital Structure Sensor	Occipital	379 €	Fins 0.5 mm	0.5 mm a 40 cm 30 mm a 3 m	40 cm – 3 m	Llum estructurada infraroja
Fuel 3D Scanify	Scanify	1200 €	0.35 mm.	Fins 0.3 mm.	21 x 30 cm	Imatge estereoscòpica
Pocket Scan	Mantis Vision	2900 €.	/	0,2 % de la dimensió mesurada	Qualsevol	Llum estructurada i vídeo.
Einscan-Pro	Shining 3d	3990 €	0.2 – 2 mm	0.05 mm - 0.3 mm	3 cm – 70 cm.	Llum estructurada
Thor 3D	Thor 3d	12.600 €	1 mm	0.2 mm	70 – 90 cm	Llum estructurada
Eva	Artec	13.700 €	0.5 mm	0.1 mm	Des de 1.4 x 14.8 fins 53.6 x 37.1 cm	/
Spider	Artec	15.700 €	0.5 mm	0.1 mm	Des de 9 x 7 fins 18 x 14 cm	/

F5-Sr	Mantis Vision	29.000 €	0.25 mm	0.05 mm	30 – 80 cm	Llum estructurada i vídeo.
Go! Scan 20	Creaform	/	0.1 mm	Fins 0.1 mm	14.3 x 10.8 cm	Llum blanca
Go! Scan 50	Creaform	/	0.5 mm	Fins 0.1 mm	38 x 38 cm	Llum blanca
Handy Scan 300	Creaform	42.900 €	0.1 mm	Fins 0.04 mm	22.5 x 25 cm	/
Handy Scan 700	Creaform	56.900 €	0.05 mm	Fins 0.03 mm	27.5 x 25 cm	/

Taula 1. Estudi de mercat d'escàners 3D

Per al nostre cas, la millor opció és adquirir un escàner assequible i fàcil d'utilitzar per a que les germanes encarregades puguin fer ús d'aquest sense massa complicacions. Per tant, ens decantem pel escàner de butxaca «Pocket Scan». Aquest escàner és còmode, ràpid i fàcil d'utilitzar, però no deixa de banda la qualitat de l'escanejat. A més, les seues dimensions permeten transportar-lo on siga necessari.



Figura 5. Pocket Scan

Pel que fa a les característiques principals de l'escàner, cal destacar les següents:

- Dimensions que s'adapten a la palma de la mà: 120 x 60 x 30 mm.
- Lleuger: 250 g.
- No requereix de preparació prèvia.
- Funciona amb llum ambiental.
- Ús molt intuïtiu, ja que tan sols hem d'apuntar al monyó – o qualsevol objecte que necessitem escanejar – i capturar la imatge.
- Permet digitalitzar models en 360° en un únic procés.

4.1.1.2 Software de disseny

En el procés de creació d'una peça que serà impresa en 3D l'origen sempre és la creació d'un model digital, el qual es crea utilitzant un programari de disseny assistit per ordinador. Mitjançant aquest programa, a més de la creació de la peça, també s'ha de preparar l'arxiu per imprimir, ja que hi ha molts paràmetres a tenir en compte en el procés d'impressió, per exemple la geometria, el pes o el temps d'impressió, entre altres.

Meshmixer és un programa gratuït d'última generació que treballa amb malles triangulars tant per al disseny de peces destinades a la impressió 3D com per a la reparació d'arxius STL.

Aquest programari ofereix una gran varietat d'eines de disseny que garanteixen la llibertat de disseny que les impressores 3D ofereixen. Algunes d'aquestes eines són:

- Creació de superfícies.
- Extrusions.
- Creació de tubs i canals interiors.
- Modificadors booleans, talls i reflexos.
- Esculpit i estampat de superfícies.
- Alineació automàtica de superfícies.

A més, Meshmixer també compta amb eines de millora d'objectes ja dissenyats.

- Modelat de malles: mescla, suavitzat i deformació.
- Creació d'estructures de suport.
- Creació de buits interiors o forats d'escapament.
- Convertidor de superfícies en sòlids.
- Simplificació de malles.
- Ompliment d'orificis.
- Precisió de posicionament 3D i mesurament 3D.
- Optimització automàtica de l'orientació d'impressió.
- Anàlisi d'estabilitat i gruix.

Gràcies a aquestes eines, podem utilitzar Meshmixer per a l'optimització de peces que no són de el tot eficients, ja que ens permet realitzar modificacions com suavitzar la superfície de l'objecte o alleugerar-lo mitjançant cavitats interiors, ja que un pes excessiu suposa un cost molt més gran d'impressió . A més, en alguns casos, com és el disseny de pròtesis, un pes més gran dificulta la comoditat del pacient i li suposa un esforç de mobilitat molt més gran.

Meshmixer també compta amb algunes eines específiques que faciliten la solució de problemes de disseny. Per exemple, mitjançant l'eina "Offset" podem crear connexions entre diferents peces perquè aquestes encaixin correctament.

Meshmixer i l'escanejat 3D

Meshmixer facilita el disseny de peces que s'han d'ajustar d'una manera detallada a contorns obtinguts mitjançant un escàner 3D, la qual cosa resulta molt útil en aplicacions mèdiques, com és el cas de les pròtesis, ja que a partir de l'escàner de l'onyó, podem crear un model 3D específic amb un gran nivell de detall.

En el cas de les pròtesis, després de realitzar l'escanejat de la cama del pacient, fem servir el programa per dissenyar una peça d'encaix que s'ajuste correctament a l'extremitat i permeti una connexió correcta entre la cama i la pròtesi. Amb aquesta metodologia es redueix el temps de disseny de les puntes i es garanteix la personalització de les pròtesis.

4.1.1.2.3 Material en la impressió 3D

Per a la fabricació de les pròtesis s'utilitzarà el procés de modelat per deposició fosa, que com hem explicat anteriorment es un dels mètodes de fabricació mitjançant impressió 3D. Aquest mètode, també anomenat FDM, emprava bobines de filament de diversos materials, com per exemple termoplàstics o ceres, amb diàmetres de 1,75 mm i 3 mm. El filament s'extreu amb un extrusor que garanteix la fusió del material mitjançant l'augment de la temperatura, la qual pot superar inclús els 200°C, segons la temperatura de fusió del material utilitzat.

Com hem dit, hi ha diversos materials que poden utilitzar-se per a fabricar les bobines de filament, però els més habituals són l'ABS, el PLA i el PETG.

D'una banda, l'ABS – Acrilonitril Butadiè Estirè – és un termoplàstic amorf caracteritzat per ser molt resistent als cops i el seu ús en la indústria de l'automoció.

D'altra banda, el PLA – àcid polilàctic – i el PETG són termoplàstics d'origen natural que han despertat un gran interès en les indústries actuals, ja que són grans candidats per a substituir els termoplàstics tradicionals. Ambdós destaquen per la seua facilitat d'impressió, bons resultats i un gran nombre de possibilitats en l'àmbit estètic. Però, el PLA també es caracteritza per ser biodegradable i tindre un preu més baix, a més de ser utilitzat com material

biocompatible en l'àmbit de la medicina. Motiu pel qual es converteix en el material més consumit en el món de la impressió 3D, encara que el PETG tinga un millor comportament mecànic.

4.1.1.2.4 Impressores 3D

Les impressores 3D són màquines creades per a produir peces o productes a partir de un disseny fet per ordinador. En la actualitat el seu ús en el disseny industrial està molt estès, i ha suposat un gran avanç per a la fabricació de pròtesis mèdiques, ja que la impressió 3D permet adaptar cada peça a les característiques exactes de cada pacient.

En el nostre cas, treballarem amb una impressora «Delta WASP 2040 PRO», la qual es caracteritza per ser versàtil i potent, ja que es capaç d'imprimir ràpidament els dissenys amb materials resistents, perfectes per a la impressió de les pròtesis.



Figura 6. Impressora “Delta WASP 2040 PRO”

Aquesta impressora està fabricada, majoritàriament, amb alumini, policarbonat i PMMA, un polímer termoplàstic transparent que s'utilitza com alternativa al cristall. Té un volum de 490 x 440 x 870 mm, i el seu pes ascendeix als 25 kg.

I pel que fa a les característiques tècniques principals trobem:

- Un volum de construcció de: 200 mm² d'àrea per 400 mm d'altura.
- Velocitat d'impressió de fins a 500 mm/s
- Velocitat de desplaçament màxima de 800 mm/s
- Temperatura màxima de 110 C°
- Compatible amb diferents materials d'impressió com ABS, PLA, PETG I PA de carboni.
- Adequada per a bobines de filaments de 1'75 mm de diàmetre.

A més, la impressora WASP treballa amb diferents sistemes operatius – Windows, Mac o Linux – per a facilitar la compatibilitat amb els ordinadors de treball.

4.1.2 Escanejat simulat de monyons

Per tal de garantir la comoditat dels pacients, s'utilitzarà l'escàner de butxaca «Pocket Scan», esmentat en l'apartat anterior. Amb aquest escàner s'escanejarà el monyó dels pacients per tal d'elaborar un model 3D d'aquests, i així, podrà crear-se un encaix que s'ajuste correctament a la cama del pacient.

D'aquesta manera, coneixerem de primera mà la problemàtica d'adaptació de les pròtesis a l'anatomia del monyó i les especificacions mecàniques que han de tenir-se en compte per tal de minimitzar la dificultat i els errors i garantir la precisió necessària en aquest treball.

4.1.3 Comparació dels resultats del escanejat

Totes les dades obtingudes de les proves s'utilitzaran per a elaborar la metodologia a seguir, sempre tenint en compte les possibilitats de la leproseria i adaptant-la a les necessitats dels pacients d'aquesta.

Finalment, la metodologia elaborada es plasmarà en el protocol de fabricació.

4.1.4 Disseny adaptat de superfícies

Després de dur a terme l'escanejat de la superfície del monyó començarem amb el tractament d'aquesta per tal de assegurar que la geometria s'adapta al disseny de la peça d'encaix.

Aquesta part seria la més personalitzada de tot el procés de creació de la pròtesis, per tant, tractaríem d'automatitzar el treball per tal de fer-lo més simple i efectiu.

4.1.5 Disseny mecànic de les pròtesis

Per al disseny de la pròtesis, una part molt important es la part mecànica, la qual s'encarregara de garantir el moviment del pacient. Aquesta part mecànica constara de dos part: la ròtula i el turmell.

Tanmateix, es important que aquesta part contribuïska de manera estètica en que les pròtesis siguen visualment agradables, tant per al pacient com per a les persones que l'envolten.

4.1.5.1 Disseny mecànic de la ròtula

En primer lloc dissenyarem la ròtula, ja que aquesta articulació es la responsable principal del moviment al caminar.

4.1.5.1.1 Primeres idees

Al dissenyar la ròtula, al igual que al dissenyar la resta dels components de la pròtesis, tindrem per norma simplificar al màxim el disseny per tal de fer més assequible la seua fabricació en Camerun.

Per tant, aquesta articulació deuria comptar amb dues peces principals, responsables del moviment, i com a màxim, tres o quatre secundaries que garantiran la unió entre les diferents peces de la ròtula i les de aquesta amb la resta de la pròtesi.

Tenint en compte aquestes premisses junt amb altres bàsiques com l'ergonomia i la resistència, arribem a una primera idea.

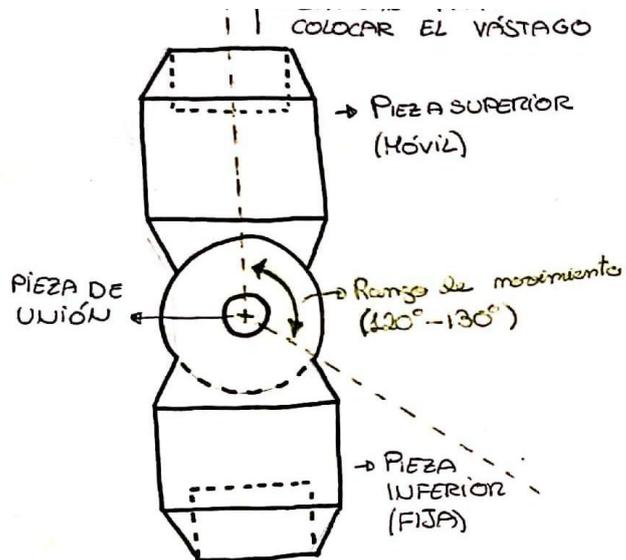


Figura 7. Esbós inicial: ròtula.

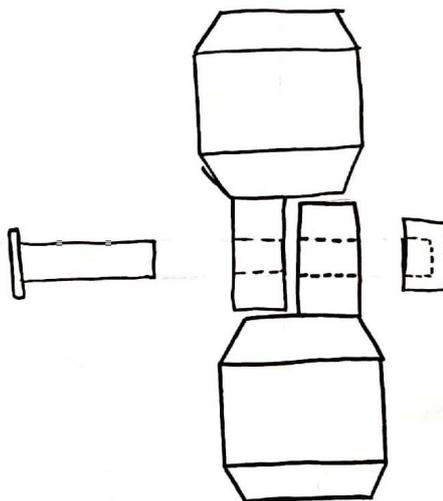


Figura 8. Explosionat ròtula.

4.1.5.1.2 Realització de maquetes

Després d'aquests primers esbossos, durem a terme la fabricació d'unes maquetes ràpides per tal de comprovar visualment el funcionament de la pròtesis i el muntatge.

Gràcies a la fabricació de les maquetes ens adonem que necessitem incloure alguna peça per a restringir el moviment de la peça superior cap endavant.



Figura 9. Maqueta ròtula: extensió.



Figura 10. Maqueta ròtula: flexió.



Figura 11. Muntatge ròtula (1).



Figura 12. Muntatge ròtula (2).

4.1.5.1.3 Disseny 3D

Un cop hem revisat les maquetes per última vegada ens disposem a digitalitzar la nostra proposta.

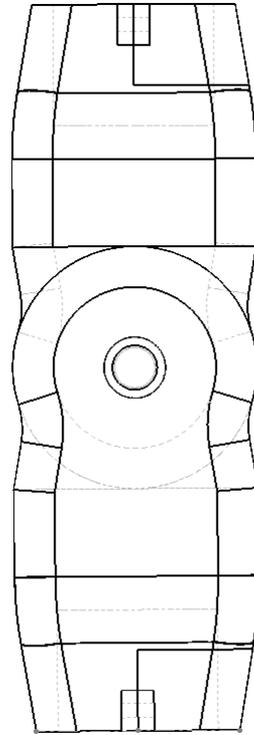


Figura 13. Perfil ròtula.

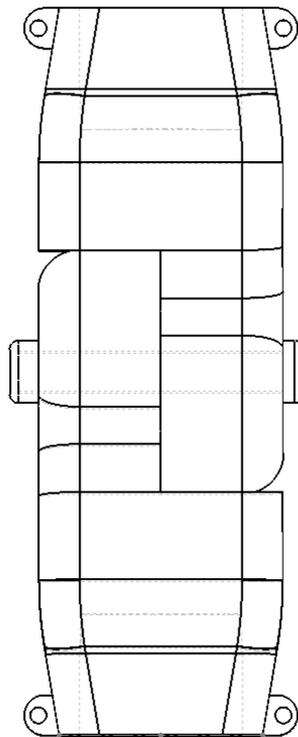


Figura 14. Frontal ròtula.

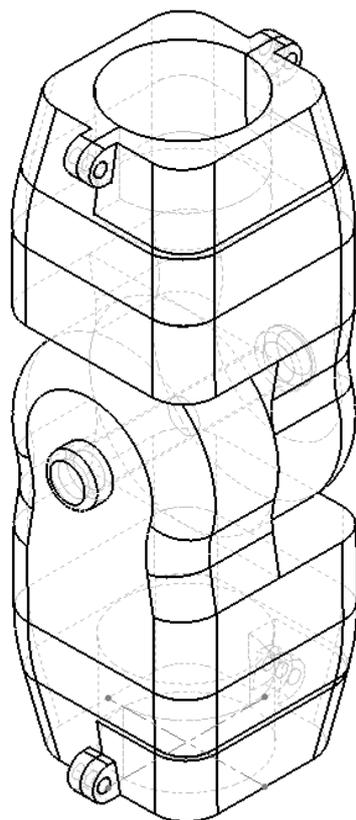


Figura 15. Perspectiva ròtula.

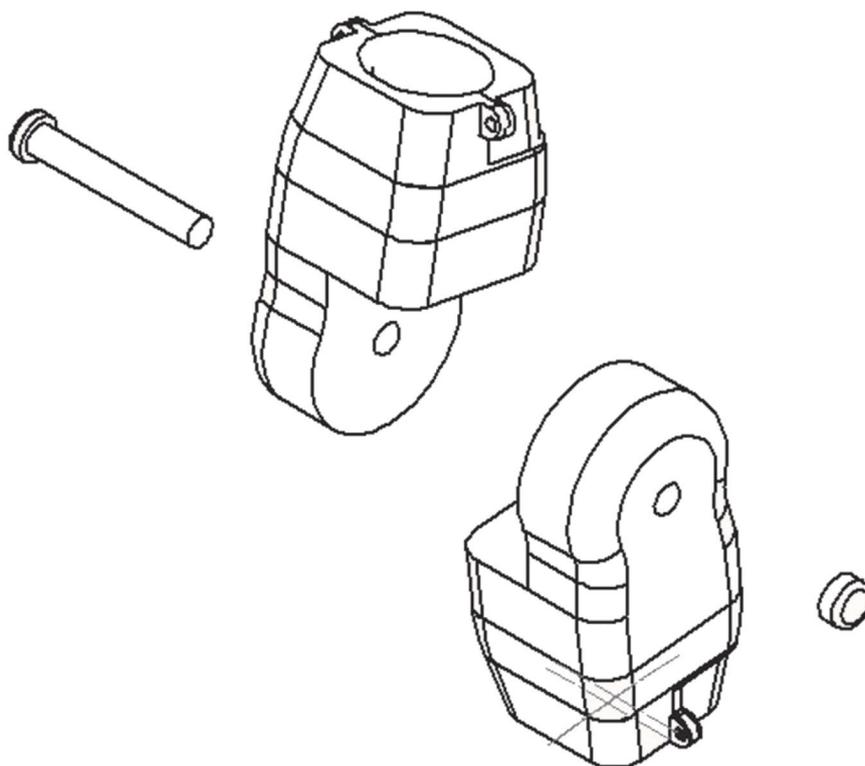


Figura 16. Explosionat ròtula

Tal i com podem observar, en aquesta proposta final inclourem diverses millores:

- Arredoniment dels vèrtexs per tal de donar una aspecte més agradable tant a la vista com al tacte.

- Suprimim de nou la peça de restricció del moviment que havíem inclòs en les maquetes, ja que aquesta resta estètica al conjunt i podem trobar una solució més estètica i igual d'efectiva utilitzant una carcassa exterior, com explicarem en l'apartat 4.1.8 Disseny estètic.

- A més, en un primer moment l'estructura metàl·lica de la pròtesi es col·locava encaixada a la ròtula, tant en la part superior com en la inferior, però, per tal d'assegurar un muntatge més segur, dividim les peces principals per poder col·locar l'estructura i subjectar-la d'una forma segura mitjançant uns cargols.

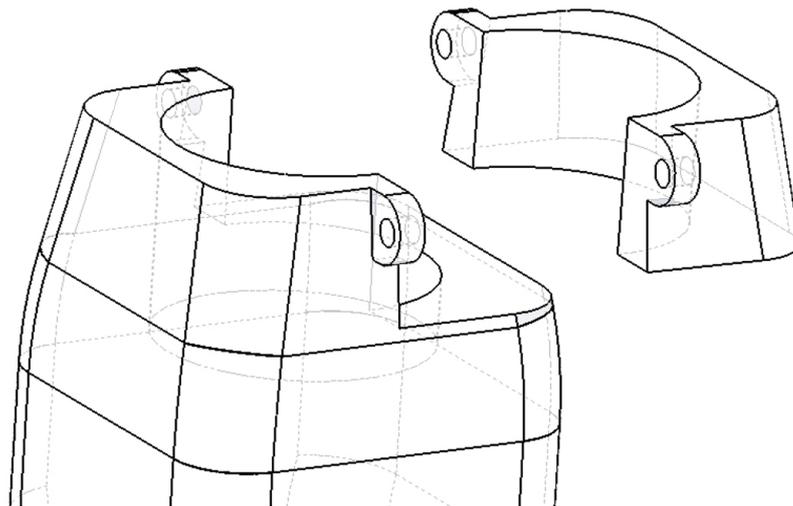


Figura 17. Detall (1)

4.1.5.2 Disseny mecànic del turmell

En segon lloc dissenyem el turmell, el qual ha de garantir la estabilitat però, simultàniament, permetre un moviment natural.

4.1.5.2.1 Primeres idees

Per començar amb el disseny del turmell hem de decidir com assegurar el moviment de l'articulació.

En un primer moment, barallem la possibilitat de fer una articulació amb una mecànica similar a la utilitzada amb la ròtula.

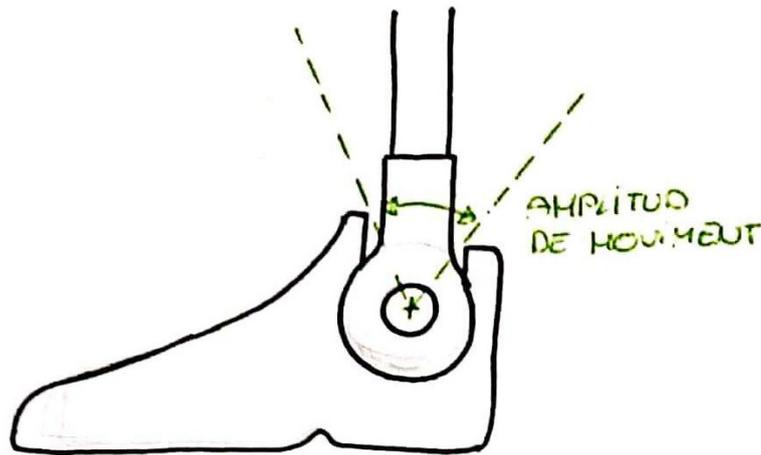


Figura 18. Esbós inicial: turmell.

Però, després d'estudiar el moviment del peu al caminar comencem a estudiar la possibilitat d'eliminar el turmell i substituir-lo per una xicoteta articulació en la part davantera del peu.

D'aquesta manera el pacient podrà caminar amb un moviment natural i nosaltres reduïm notablement el nombre de peces i la complexitat de fabricació i muntatge.

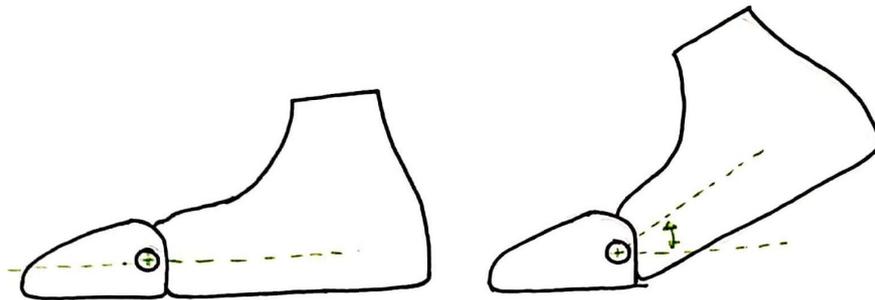


Figura 19. Posició (1)

Figura 20. Posició (2)

4.1.5.2 Realització de maquetes

Gràcies a les maquetes comprovem que el funcionament de l'articulació es correcte i podem seguir endavant amb el disseny.

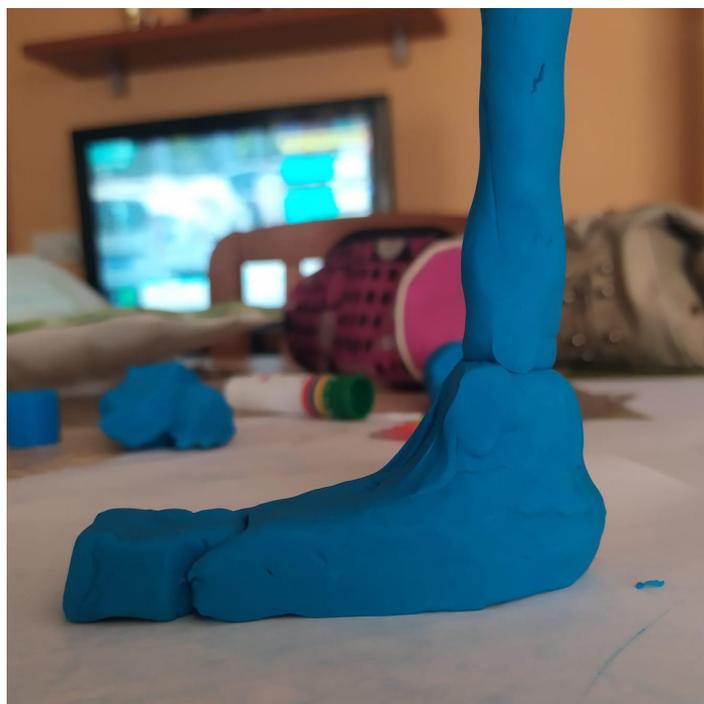


Figura 21. Posició maqueta (1)



Figura 22. Posició maqueta (2)

4.1.5.2.3 Càlculs teòrics

Després de decidir la forma de l'articulació del peu, realitzarem els càlculs pertinents per garantir la resistència d'aquesta part de la pròtesi, ja que haurà de suportar el pes de la resta de la pròtesi en el cas d'una amputació superior o el pes del pacient, si l'amputació es troba a l'altura del turmell.

Per començar, realitzarem un estudi del material utilitzat per a la fabricació de la pròtesi, el qual, com hem esmentat anteriorment, es el PLA (Àcid polilàctic).

Estudiarem algunes de les principals característiques del PLA, esmentades a continuació.

Densitat	1,25 g/cm ³
Mòdul d'elasticitat (Young)	3,5 GPa
Elongació al trencament	6%
Mòdul de flexió	4 GPa
Resistència a la flexió	80 MPa

Temperatura de transició vítria	60°C
Temperatura de deflexió de la calor (a 455 kPa)	65°C
Començament de fusió	160°C
Mòdul de tall	2,4 GPa
Capacitat calorífica específica	1800 J/kg K
Relació força-pes	40kN m/kg
Resistència a la tracció (UTS)	50 MPa
Conductivitat tèrmica	0,13 W/m K

Taula 2. Característiques del PLA

Per calcular els valors dels esforços utilitzarem la fórmula de la tensió, on σ és el valor de la tensió (Mpa), F és la força mitja aplicada (N) i A és l'àrea de la secció inicial (mm^2)

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Equació 1. Fórmula tensió

Amb aquesta fórmula també podrem calcular la tensió màxima o crítica si substituïm F per $F_{\text{màxima}}$.

A més, també calcularem la deformació (ε) mitjançant la fórmula següent. On ΔL_0 és l'increment de longitud (mm) i L_0 el valor de la longitud inicial.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L_0}{L_0}$$

Equació 2. Fórmula deformació

Cal tenir en compte que el valor de la deformació és adimensional, per tant no té unitat de mesura, encara que pot presentar-se en forma de percentatge.

A més, també utilitzarem la llei de Hooke per tal de relacionar la tensió amb la deformació.

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

Equació 3. Llei de Hooke

Una vegada coneixem les característiques del material que anem a utilitzar i les fórmules per a realitzar els càlculs, calcularem les següent variables.

En primer lloc, calculem la tensió màxima que pot suportar el peu protèsic. Per fer-ho, sabem que la deformació màxima (ε_{max}) a la que es pot sotmetre el PLA es del 6%, per tant, amb la llei de Hooke calculem:

$$\sigma_{max} = E \cdot \varepsilon_{max} = 3.500 \text{ Mpa} \cdot 0,06 = 210 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{max} = 210 \text{ N/mm}^2$$

Amb aquesta dada calculada, podem passar al següent pas, que es calcular la força màxima a la qual pot sotmetre's aquesta part de la pròtesi.

Per calcular aquesta força, utilitzarem un A_0 de 1.200 mm^2 , la qual correspondrà a la part més menuda del peu, ja que és en aquesta la part on obtindrem una F_{max} menor, assegurant-nos així de la resistència a aquesta força en la resta de la pròtesi.

Aquesta àrea s'ha calculat a partir del disseny del peu, que s'ha realitzat tenint en compte les dades antropomètriques obtingudes de la norma *UNE-EN ISO 7250: Definició de les mesures bàsiques del cos humà per al disseny tecnològic*.

$$F_{max} = \sigma_{max} \cdot A_0 = 210 \text{ N/mm}^2 \cdot 1200 \text{ mm}^2 = 252.000 \text{ N}$$

Per tant, arribem al resultat següent:

$$F_{max} = 25.200 \text{ kg}$$

Evidentment, la nostra pròtesi mai haurà de suportar una força com aquesta, per tant, sabem que resistirà el pes del pacient i el de la resta de la pròtesi.

Per últim, calcularem l'equilibri del peu amb les dades següents, obtingudes d'un primer disseny 3D amb SolidWorks 2018.

Centre de gravetat (x)	-90mm (respecte a l'eix de referència)
Longitud (L)	250 mm
Àrea de la superfície (A ₀)	36.000 mm ²
Volum (V ₀)	255.000 mm ³
Densitat (d)	1,25 g/cm ³

Taula 3. Dades per al càlcul de resistència (1)

Per a aquestos calculs utilitzarem el supost de que el peu haurà de suportar 60kg, és a dir, 600N.

En primer lloc calculem la massa del peu protèsic per poder aplicar la força del pes propi (F_{pp}).

$$m = d \cdot V = 1.25 \cdot 10^{-6} \text{ kg/mm}^3 \cdot 255.000 \text{ mm}^3 = 0,32 \text{ kg}$$

Però, tenint en compte la reducció de massa que suposa la impressió 3D, ja que no fabriquem peces completament massisses, aplicarem a la massa un coeficient de reducció del 60%.

$$m = 0,32 \text{ kg} \cdot 0,4 = 0,128 \text{ kg}$$

De manera que l'esquema de forces seria el següent:

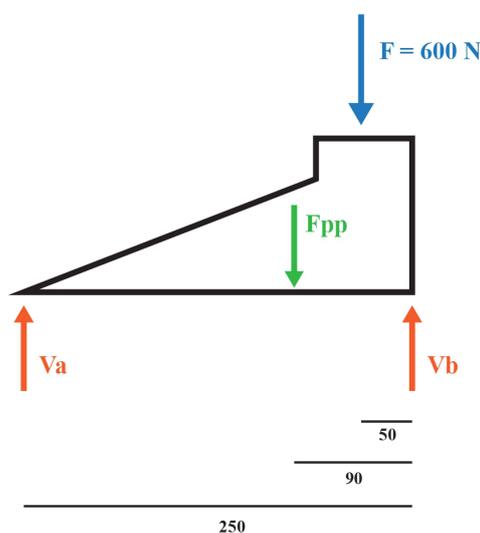


Figura 23. Esquema de forces.

I per garantir l'equilibri de la pròtesi s'ha de complir que:

$$\begin{aligned}\sum F &= 0 \text{ N} \\ \sum MA &= 0 \text{ N}\end{aligned}$$

Per tant;

$$\sum Fy = 0 \text{ N}$$

$$F + F_{pp} = Va + Vb = 601,28 \text{ N}$$

$$\sum MA = 0 \text{ N}$$

$$(F \cdot 50 \text{ mm}) + (F_{pp} \cdot 90 \text{ mm}) - (Va \cdot 250 \text{ mm}) = 0$$

$$(600 \text{ N} \cdot 50 \text{ mm}) + (1,28 \text{ N} \cdot 90 \text{ mm}) - (Va \cdot 250 \text{ mm}) = 0$$

$$Va = [(600 \text{ N} \cdot 50 \text{ mm}) + (1,28 \text{ N} \cdot 90 \text{ mm})] / 250 \text{ mm}$$

D'aquesta manera arribem als següents resultats:

$$Va = 120,46 \text{ N} \quad | \quad Vb = 480,82 \text{ N}$$

I l'esquema de forces seria el següent.

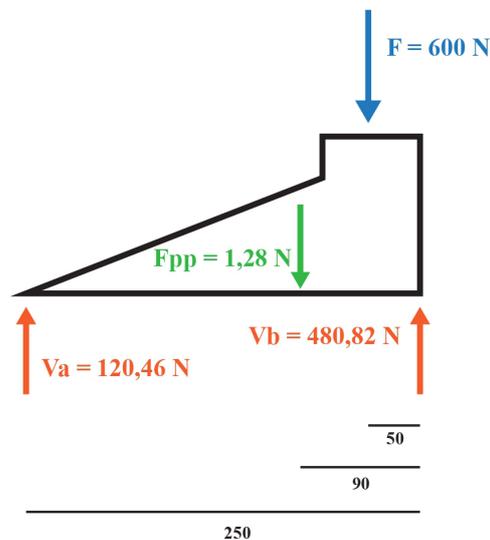


Figura 24. Esquema de forces resultant.

4.1.5.2.4 Disseny 3D

Finalment, digitalitzam la proposta de turmell per tal de realitzar les modificacions corresponents fins arribar al resultat desitjat.

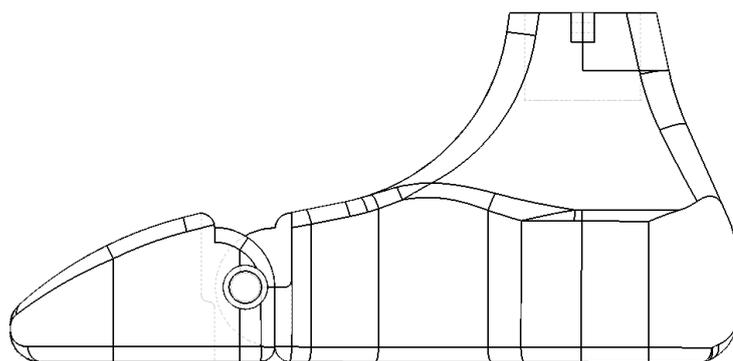


Figura 25. Perfil: peu i turmell.

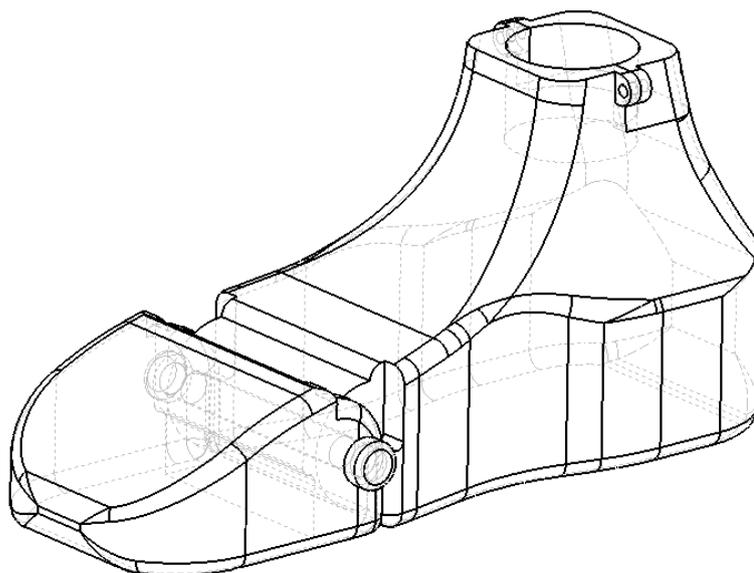


Figura 26. Perspectiva: peu i tumell.

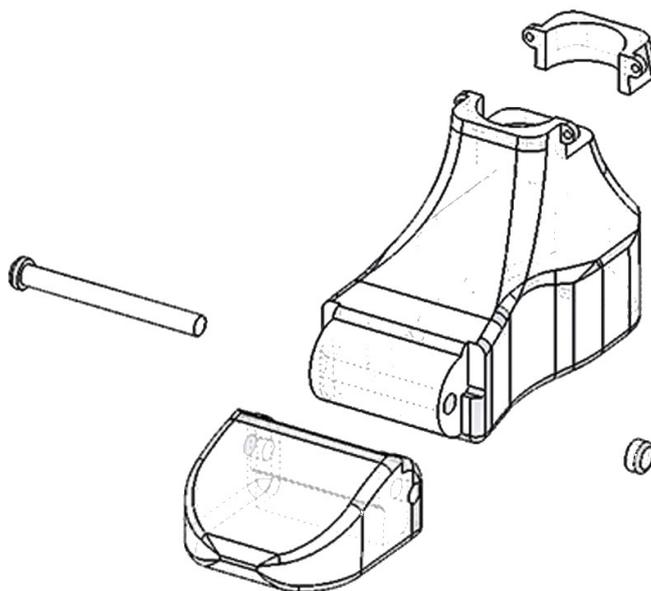


Figura 27. Explosionat: peu i tumell.

4.1.6 Primeres proves impreses

Una vegada hem dissenyat la part mecànica, es a dir, les articulacions, realitzarem les primeres proves d'impressió per tal de comprovar la viabilitat d'aquestes.

4.1.6.1 Ròtula



Figura 28. Impressió ròtula (1).



Figura 29. Impressió ròtula (2).



Figura 30. Impressió ròtula (3).



Figura 31. Impressió ròtula (4).

4.1.6.2 Turmell



Figura 32. Impressió tumell (1).



Figura 33. Impressió tumell (2).



Figura 34. Impressió tumell (3).



Figura 35. Impressió tumell (4).

4.1.7 Disseny estètic

Una vegada hem comprovat que el funcionament de les articulacions es correcte començarem amb el disseny de la resta de la pròtesis: la peça d'encaix, la part inferior de la cama i el peu.

Aquestes peces hauran d'encaixar amb la part mecànica, ser ergonòmicament correctes, i evidentment, ser agradables a la vista.

A més, hem de tenir en compte que la pròtesi ha de ser modular i escalable perquè pugui adaptar-se fàcilment a tots els pacients sense importar la condició de la seua cama. Es a dir, en el cas d'una persona amb una amputació sobre el genoll utilitzarem més peces que si l'amputació sols afecta al turmell, però, les peces que comparteixen els dos casos seran les mateixes. Al igual que en el cas de dos amputacions per dalt del genoll, en cada cas aquesta es trobarà a una altura diferent, per tant, utilitzarem una peça escalable o regulable.

4.1.7.1 Primeres idees

En un primer moment, ens centrem en el disseny d'una pròtesi senzilla i amb poques complicacions estètiques, en la qual, la importància recau en la estructura.

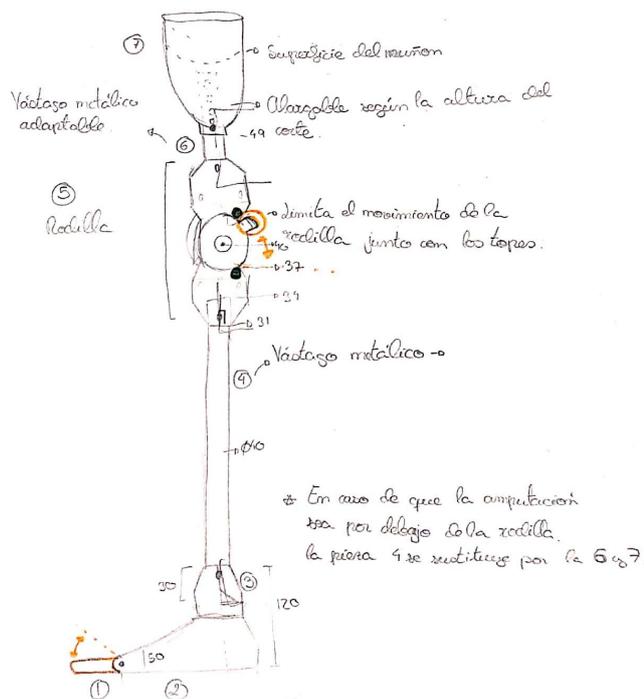


Figura 36. Esbós: disseny estructura (1).

Però tenint en compte tots els complexos i inseguretats que pateixen les persones amb alguna discapacitat física, decidim que és millor decantar-nos per una opció més agradable a la vista.

Per tant, comencem a desenvolupar una pròtesi que simule la forma de una cama sana i on predominen les corbes suaus en compte del vèrtex agressius

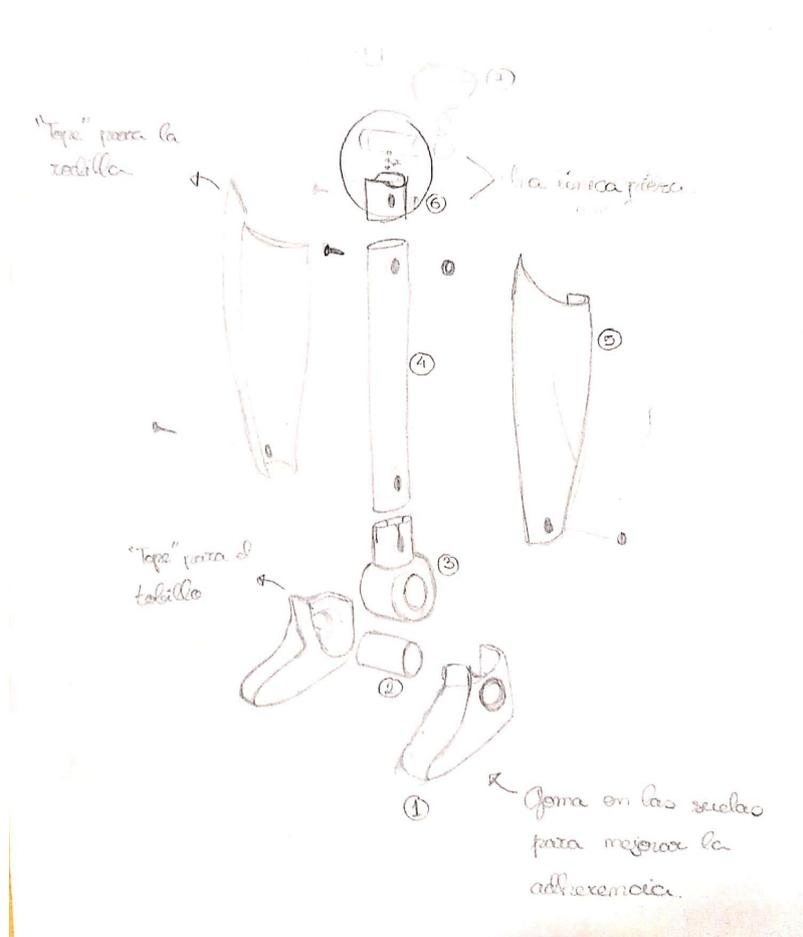


Figura 37. Esbós: disseny estructura (1).

Aquestes idees serán les bases a partir de les quals es desenvoluparà la pròtesi final.

Com hem esmentat abans, hem de tenir en compte l'antropometria per dissenyar unes pròtesis ergonòmiques, però per al nostre disseny inicial partirem de les mesures d'un pacient teòric. Sempre assegurant la proporció d'aquestes per tal de poder escalar-les a altres pacients.

4.1.7.2 Càlculs teòrics

Al igual que amb el peu i el turmell, hem de realitzar diversos càlculs per comprovar la resistència de la pròtesi i saber el pes màxim que aquesta pot suportar en els diferents casos clínics.

• Pròtesi de turmell

En aquest cas, els càlculs seran els mateixos que els realitzats en l'apartat 4.1.5.2 *Disseny mecànic del turmell*, concretament en ell subapartat de *Càlculs teòrics*.

Per tant, sabem que la unió peu-turmell pot suportar un màxim de 25.200 kg .

A més, coneixem l'esquema de forces suposant un pacient, el pes del qual es de 120kg. Per tant, cada cama haura de suportar, aproximadament 60 kg.

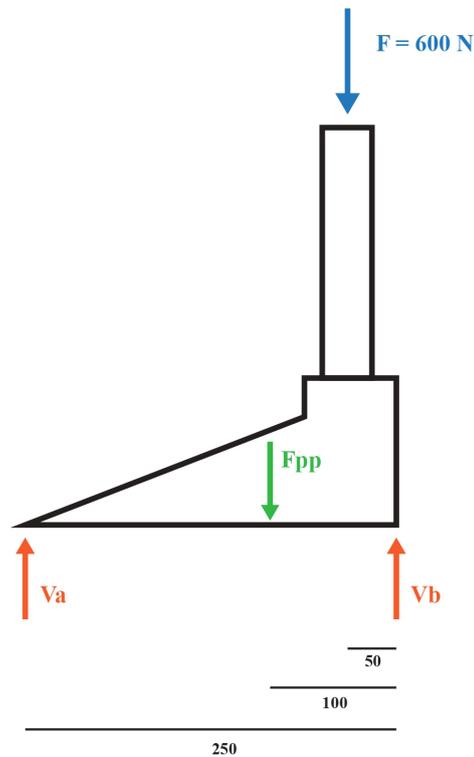


Figura 38. Esquema de forces.

Tal i com havíem comprovat, el peu manté l'equilibri.

• **Pròtesi sota el genoll**

Per als casos on l'amputació s'ha realitzat per baix del genoll, realitzarem un procediment similar al realitzat en l'apartat 4.1.5.2 *Disseny mecànic del turmell*, però afegirem als càlculs la part inferior de la estructura.

En aquest cas, la longitud del peu i l'àrea de la superfície del mateix es mantindran, però el centre de gravetat serà diferent i al volum afegirem la part de la estructura, la qual també influirà en el pes propi de la pròtesi.

En aquest cas teòric, realitzarem el càlculs a partir de suposar que el pacient pateix una amputació que el fa necessitar una estructura de 70 mm d'altura.

Centre de gravetat (x)	-100 mm (respecte a l'eix de referència)
Volum del peu (V_{01})	255.000 mm ³
Volum de l'estructura inferior (V_{02})	34.000 mm ³

Taula 4. Dades per al càlcul de resistència (2)

A continuació calcularem el pes propi total, tenint en compte les dues parts.

- D'una banda, d'acord amb els resultats anteriors, sabem que la massa del peu és de 0,128 kg.

- D'altra banda, hem de calcular la massa de l'estructura inferior, i per fer-ho utilitzarem la densitat del material, que en aquest cas, no serà PLA, si no que serà acer.

$$d_{acer} = 7,85 \cdot 10^{-6} \text{ g/mm}^3$$

$$m = d \cdot V = 7,85 \cdot 10^{-6} \text{ kg/mm}^3 \cdot 34.000 \text{ mm}^3 = 0,27 \text{ kg}$$

Per tant, la masa final de la pròtesi serà de:

$$m_{TOTAL} = 0,128 + 0,27 = 0,398 \text{ kg}$$

Es a dir, el pes propi que haurà de suportar la pròtesi serà de:

$$F_{pp} = 3,98 N$$

Després d'obtenir aquestes dades podem realitzar l'esquema de forces i la posterior comprovació.

$$\sum Fy = 0 N$$

$$F + F_{pp} = Va + Vb = 603,98 N$$

$$\sum MA = 0 N$$

$$(F \cdot 50 mm) + (F_{pp} \cdot 100 mm) - (Va \cdot 250 mm) = 0$$

$$(600 N \cdot 50 mm) + (3,98 N \cdot 100 mm) - (Va \cdot 250 mm) = 0$$

$$Va = [(600 N \cdot 50 mm) + (3,98 N \cdot 90 mm)] / 250 mm$$

D'aquesta manera arribem als següents resultats:

$$Va = 121,43 N \quad | \quad Vb = 482,55 N$$

I l'esquema de forces seria el següent.

• Pròtesi sobre el genoll

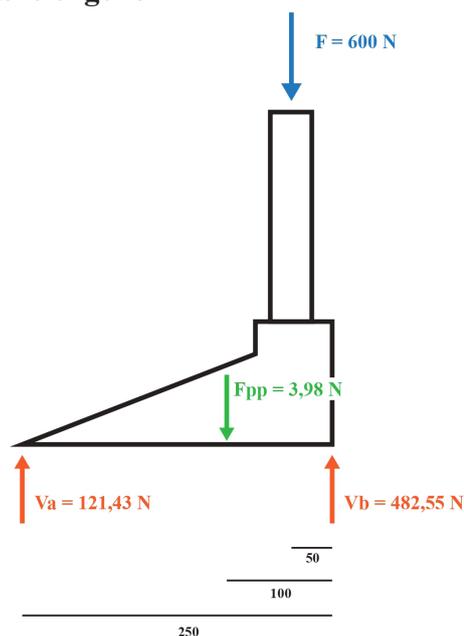


Figura 39. Esquema de forces result (2).

Finalment, en el cas clínic més extrem, on el pacient necessita una pròtesi de cama completa, tindrem en compte totes les parts de la pròtesi: el peu junt amb el turmell, l'estructura inferior, la carcassa, la ròtula i la part superior de l'estructura.

Centre de gravetat (x)	-175 mm
Volum del peu (V_{01})	255.000 mm ³
Volum de l'estructura inferior (V_{02})	34.000 mm ³
Volum de la carcassa (V_{03})	673.000 mm ³
Volum de la ròtula (V_{04})	500.000 mm ³
Volum de l'estructura superior (V_{05})	13.000 mm ³

Taula 5. Dades per al càlcul de resistència (3)

Aquestes peces poden dividir-se en dos grups: les peces fabricades amb PLA mitjançant impressió 3D i les peces d'acer que componen l'estructura.

Pel que fa al primer grup, del qual formen part el conjunt peu-turmell, la carcassa i la ròtula, el volum total és de 1.428.000 mm³

Per tant, la massa total, amb el coeficient de reducció aplicat, serà:

$$m = d \cdot V = 1.25 \cdot 10^{-6} \text{ kg/mm}^3 \cdot 1.428.000 \text{ mm}^3 = 17,85 \text{ kg}$$

$$m = 17,85 \text{ kg} \cdot 0,4 = 7,14 \text{ kg}$$

D'altra banda, el volum total de les peces de l'estructura, considerant que sobre el genoll el pacient necessita 50 mm d'estructura, és de 47.000 mm³

Per tant, la massa es de:

$$m = d \cdot V = 7,85 \cdot 10^{-6} \text{ kg/mm}^3 \cdot 47.000 \text{ mm}^3 = 0,36 \text{ kg.}$$

Amb aquestes dades calculem el pes propi total de la pròtesi.

$$m = 7,5 \text{ kg}$$

$$F_{pp} = 75 \text{ N}$$

Amb aquestes dades podem realitzar el següent esquema de forces:

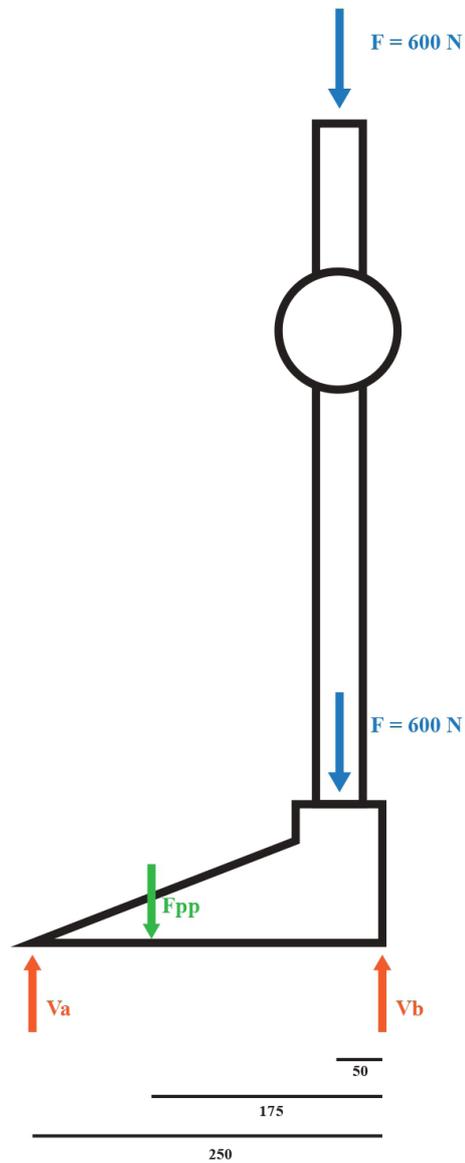


Figura 40. Esquema de forces (3).

A partir del qual realitzem les comprovacions d'equilibri pertinents.

$$\sum F_y = 0\text{ N}$$

$$F + F_{pp} = V_a + V_b = 675\text{ N}$$

$$\sum MA = 0 N$$

$$(F \cdot 50 \text{ mm}) + (F_{pp} \cdot 90 \text{ mm}) - (V_a \cdot 250 \text{ mm}) = 0$$

$$(600 \text{ N} \cdot 50 \text{ mm}) + (75 \text{ N} \cdot 90 \text{ mm}) - (V_a \cdot 250 \text{ mm}) = 0$$

$$V_a = [(600 \text{ N} \cdot 50 \text{ mm}) + (75 \text{ N} \cdot 90 \text{ mm})] / 250 \text{ mm}$$

D'aquesta manera arribem als següents resultats:

$$V_a = 147 \text{ N} \quad | \quad V_b = 528 \text{ N}$$

I finalment, l'esquema de forces final seria el següent:

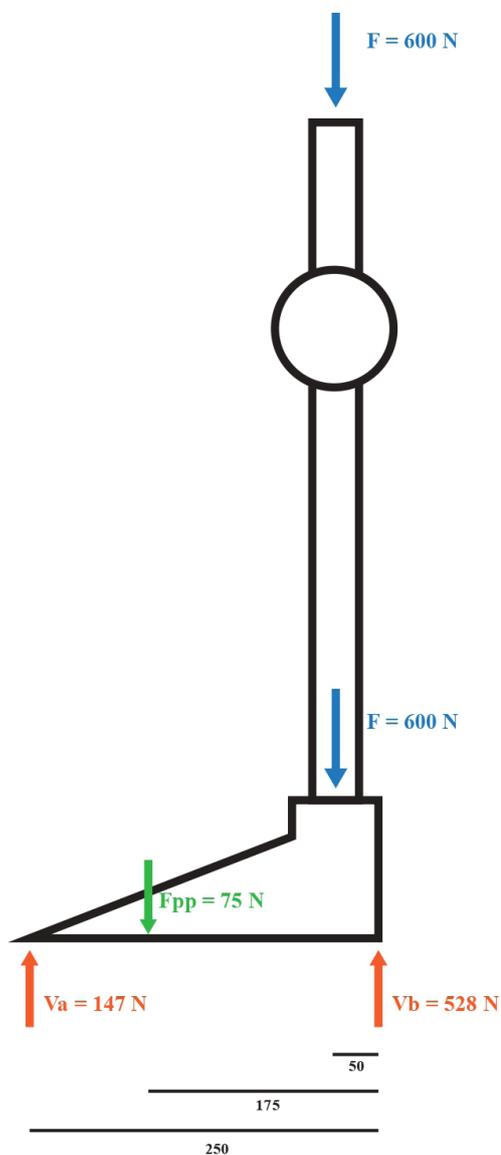


Figura 41. Esquema de forces resultat (3).

4.1.7.3 Disseny 3D

Després de realitzar les comprovacions corresponents, digitalitzem la nostra pròtesi al complet per realitzar diverses millores tant funcionals com estètiques, com per exemple la forma de la carcassa. D'aquesta manera arribem a la nostra proposta final.

En primer lloc, desenvolupem correctament l'estructura de la pròtesi i comprovem que el moviment que pot realitzar es el desitjat.

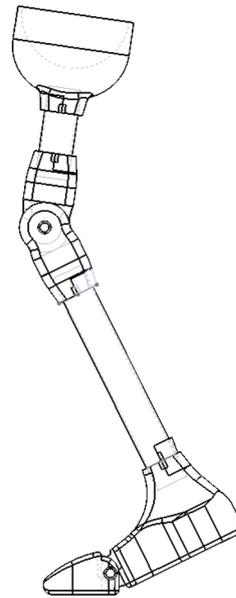


Figura 42. Perfil pròtesi.

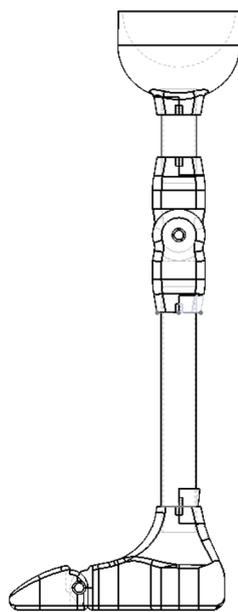


Figura 43. Posició 1.

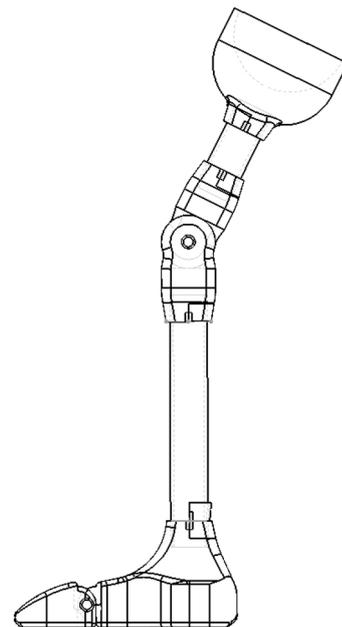


Figura 44. Posició 2.

Finalment, incloem la carcassa en el disseny, la qual s'encarrega de proporcionar una millora estètica al disseny sense dificultar la funcionalitat de la pròtesi.

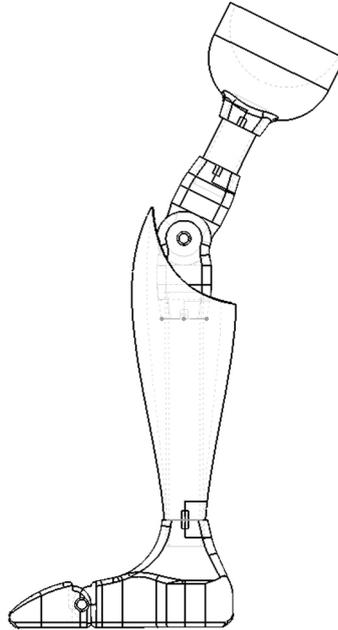


Figura 45. Perfil pròtesi amb carcassa.

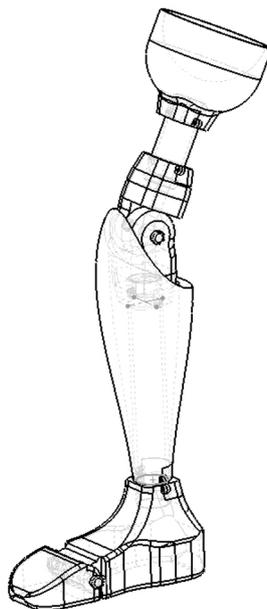


Figura 46. Perspectiva pròtesi.

4.1.8 Segones proves impreses

Amb totes les parts de la pròtesis impreses farem les comprovacions pertinents que garanteixen que totes les peces encaixen correctament, la peça d'encaix es còmoda i s'adapta correctament al monyó, la part mecànica permet un moviment natural i la resistència es la apropiada per a suportar el pes del pacient.



Figura 47. Impressió pròtesi (1).



Figura 48. Impressió pròtesi (2).



Figura 49. Impressió pròtesi (3).



Figura 50. Impressió pròtesi (4).



Figura 51. Impressió pròtesi (5).



Figura 52. Impressió pròtesi (6).

4.1.9 Experimentació

Després del desenvolupament del prototip seria necessari realitzar els tests necessaris en pacients reals per a poder garantir el bon funcionament de la pròtesi. Però, a causa de la situació actual causada pel COVID-19, no podem realitzar les proves amb pacients reals, motiu pel qual posposarem aquest pas fins que la situació millori.

4.1.10 Desenvolupament del protocol de treball

Posteriorment, amb les proves de prototipat acabades, estudiarem quin es el procés més viable per a ser reproduït en Douala pel personal de la leproseria. Necessitarem que siga un procés simple i eficaç, amb els mínims passos possibles i eliminant tota la complexitat possible al procés.

Per tant, el procés realitzat per nosaltres es resumiria en:

- Escaneig del monyó mitjançant amb l'escàner esmentat anteriorment Pocket Scan.
- Adaptació del disseny de la pròtesi a les mesures del pacients utilitzant el software Meshmixer, el qual permetrà escalar els arxius STL base que nosaltres els proporcionarem.
- Impressió 3D de les diferents peces que compondran la pròtesi amb la impressora Delta WASP 2040 PRO.
- Muntatge de la pròtesi, el qual detallarem al complet en el protocol final.

4.1.11 Avaluació del protocol

Després de la redacció i maquetació del protocol a seguir es realitzara una avaluació d'aquest per tal d'assegurar la comprensió del procés per part de les germanes encarregades, ja que es completament necessari que tot el procediment a seguir siga clar, simple i fàcil de seguir. D'aquesta manera garantim la realització d'unes pròtesis adequades amb la conseqüent satisfacció personal de les germanes Carmelites i, per suposat, la satisfacció dels pacients al rebre una pròtesi que pot canviar la seua vida completament.

4.2 Integració tecnològica d'un laboratori a l'hospital

A més de la realització del protocol a seguir, aquest projecte també contempla subministrar a la leproseria de la Douala el material necessari per a crear un laboratori que funcione de manera autònoma i la posterior instal·lació d'aquest.

4.2.1 Adquisició tecnològica

Pel que fa a la subministració de la maquinària necessària, es pretén aconseguir inicialment:

- Dos sistemes d'impressió 3D, els quals seran dos impressores Delta WASP 2040 PRO.
- Un sistema d'escanejat, l'escàner de butxaca Pocket Scan.
- I els sistemes informàtic necessaris que els permeten desenvolupar les pròtesis correctament amb el software Meshmixer.

A més, a banda d'enviar material formatiu, es a dir, el protocol de fabricació, també prepararem una plataforma web que permetrà compartir experiències i donar a conèixer el projecte amb a finalitat de poder arribar a altres llocs amb necessitats similars que puguin beneficiar-se de l'experiència de la leproseria de la Douala.

4.2.2 Integració tecnològica

Aquest material s'enviarà junt amb dos tècnics, els quals es desplaçaran a Camerun per tal de garantir l'arribada del material tecnològic, realitzar la instal·lació del laboratori i encarregar-se de la seua posada en marxa perquè el personal encarregat de treballar amb les impressores i l'escàner pugua conèixer al complet la tecnologia. D'aquesta manera seran capaços d'utilitzar-la i realitzar el manteniment corresponent de manera autònoma.

4.3 Formació del personal de l'hospital

Posteriorment a la instal·lació del laboratori, l'objectiu serà formar al personal de la leproseria perquè realitzen el procés al complet, des de l'escanejat del monyo del pacient, a l'adaptació de la pròtesi, la impressió 3D i el muntatge final.

A més, també caldrà tenir en compte les diferents variables que ens podem trobar, com el manteniment i reparació de la maquinària.

4.4 Transferència de resultats, promoció del projecte i captació de voluntaris

Finalment, després de comprovar l'èxit del projecte, es durà a terme una campanya de sensibilització amb la finalitat de captar nous voluntaris: enginyers, dissenyadors, publicistes o tècnics, entre altres, per tal de seguir avançant i perfeccionant les diferents fases del projecte.

Aquesta campanya comptarà amb dues etapes, una primera etapa de promoció enfocada cap a la comunitat universitària i una segona etapa de seguiment per validar l'èxit del projecte.

4.4.1 Promoció i transferència

En primer lloc, la promoció per donar a conèixer el projecte, que com hem esmentat anteriorment estarà enfocada a la comunitat universitària, es realitzarà a través de presentacions realitzades pels participants del projecte. A més, per facilitar la promoció també es desenvoluparà una plataforma web on es documentarà tota la feina realitzada.

A banda, tractarem de conscienciar la societat sobre els problemes causats per la diabetis mitjançant la celebració de la inauguració del centre dins de la leproseria.

Per poder realitzar aquesta promoció, la Universitat Politècnica de València compta amb el suport de diversos socis:

- La Universitat de la Llacuna (Tenerife), especialitzada en l'ús d'escàners de baix cost.

- L'Associació Espanyola de Creació i Fabricació Digital, coneguda com la xarxa CREFAB, la qual compta amb una xarxa d'organitzacions dedicades a impulsar projectes de desenvolupament com aquest.

Aquesta associació treballa al laboratori Makespace de Madrid, on compta amb especialistes en tecnologies de baix cost.

- L'empresa Lowpoly S.L, ubicada a Madrid, distribuïdora de les impressores 3D WASP a Espanya.

- L'empresa 2NAND, que trobem en València, especialista en digitalització 3D.

4.4.2 Seguiment

En segon lloc, realitzarem un seguiment periòdic a través de la plataforma, per comprovar l'èxit del projecte i poder solucionar qualsevol aspecte que es considere necessari. A més, junt amb els nostres socis espanyols, tractarem d'activar diferents iniciatives que ajuden a millorar les característiques del projecte.

Finalment, validarem el procés per tractar de replicar-lo en altres institucions o alguna ONG amb necessitats similars. D'aquesta manera volem crear un model sostenible de creació de pròtesis que pugui arribar a qualsevol part del món.

II. PLEC DE CONDICIONS

1. Objecte i abast

El plec de condicions té per finalitat recollir els requisits considerats en el disseny del producte desenvolupat en aquest projecte. Per tant, s'exposen els aspectes legals als quals s'acull la pròtesi dissenyada per a garantir la seguretat dels pacients i es detallen totes les característiques de la proposta final amb tots els detalls a tenir en compte.

2. Normativa

La normativa recollida a continuació es divideix d'acord al comitè al que pertanyen, i trobem els següents:

- Comité CTN 153 - Productes de recolzament per a persones amb discapacitat.

Aquesta normativa inclou productes per al moviment independent, cadires de rodes, grues, llits ajustables, pròtesis i òrtesis, sistemes de comunicació, informació i control de l'entorn, ostomia i incontinència. Però, nosaltres ens centrarem en aquelles normes relacionades amb les pròtesis per a extremitats inferiors.

- UNE-EN ISO 22675:2017: Pròtesi. Assaig de les articulacions de turmell-peu i de les unitats de peus. Requisits i mètodes d'assaig. (ISO 22675:2016) (AENOR, 2020).
- UNE-EN ISO 10328:2017: Pròtesi. Assaig estructural de les pròtesis de membres inferiors. Requisits i mètodes d'assaig. (ISO 10328:2016) (AENOR, 2020).
- UNE-EN ISO 22523:2007: Pròtesi de membres externs i ortesis externes. Requisits i mètodes d'assaig (ISO 22523:2006) (AENOR, 2020).
- UNE 111912:1990: Pròtesi i òrtesis. Aspectes mèdics. Descripció de les malformacions congènites de membres (AENOR, 2020).
- UNE 111909-1:1990: Pròtesi i òrtesis. Vocabulari. Part 1: termes generals. (AENOR, 2020).
- UNE 111909-2:1990: Pròtesi i òrtesis. Vocabulari. Part 1: termes generals. (AENOR, 2020).
- UNE 111909-3:1990: Pròtesi i òrtesis. Vocabulari. Part 1: termes generals. (AENOR, 2020).

- Comité CTN 81/SC 1 - Protecció individual

Aquesta normativa inclou diverses activitat relacionades amb diferents nivells i tipus de protecció individual, però nosaltres ens centrarem en les CEN/TC 161, que son les que s'encarreguen de la protecció de peus i cames, ya que aquestes proteccions poden adaptar-se també a les pròtesis.

- UNE-EN ISO 22568-4:2019: Protectors de peus i cames. Requisits i mètodes d'assaig per a l'avaluació de components de calçat. Part 4: Plantas resistents a la perforació no metàl·liques. (ISO 22568-4:2019) (AENOR, 2020).

- Comité 53/SC 6 - Especificacions de matèries primeres i mètodes d'assaig.

- UNE-EN ISO 22088-4:2007: Plàstics. Determinació de la resistència a la fissuració sota esforç en un medi ambient actiu (ESC). Part 4: Mètode d'impressió amb agulla o amb bola. (ISO 22088-4:2006) (AENOR, 2020).

3. Descripció de la proposta final

A continuació presentem diferents imatges on podem apreciar detalladament totes les parts del nostre producte i el seu muntatge.



Figura 57. Proposta final (2)



Figura 58. Proposta final (3)



Figura 59. Proposta final (4)



Figura 60. Proposta final (5)



Figura 61. Proposta final (6)



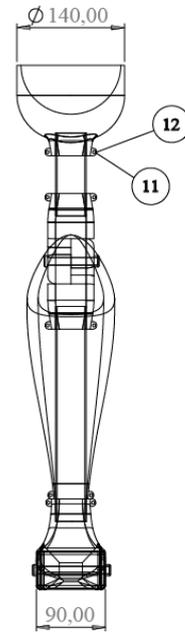
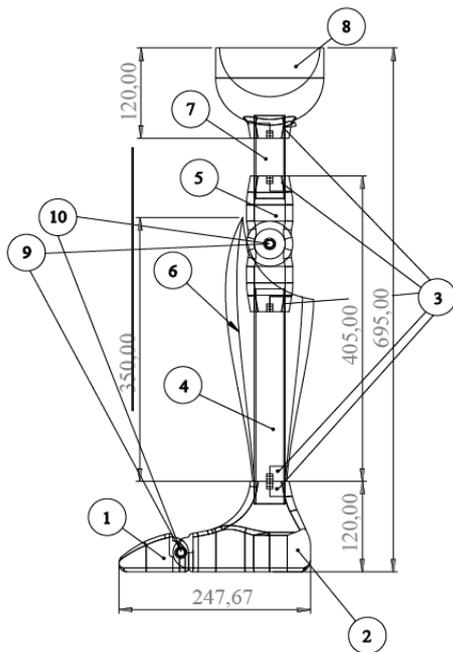
Figura 62. Proposta final (7)



Figura 63. Proposta final (8)



Figura 64. Proposta final (9)



12	Rosca hexagonal M4	8	Titani
11	Caragol cap hexagonal M4	8	Titani
10	Peça d'unió (2)	2	PLA (Àcid polilàctic)
9	Peça d'unió (1)	2	PLA (Àcid polilàctic)
8	Encaix del monyó	1	PLA (Àcid polilàctic)
7	Estructura superior	1	Acer inòxidable
6	Carcassa	1	PLA (Àcid polilàctic)
5	Genoll	2	PLA (Àcid polilàctic)
4	Estructura inferior	1	Acer inòxidable
3	Peça de subjecció	5	PLA (Àcid polilàctic)
2	Conjunt: peu i turmell	1	PLA (Àcid polilàctic)
1	Part davantera del peu.	1	PLA (Àcid polilàctic)

N.	PEÇA	CANTITAT	MATERIAL
----	------	----------	----------

ALUMNA: MARTÍNEZ BELDA, MARIA DEL MAR

FECHA: 01/08/2020

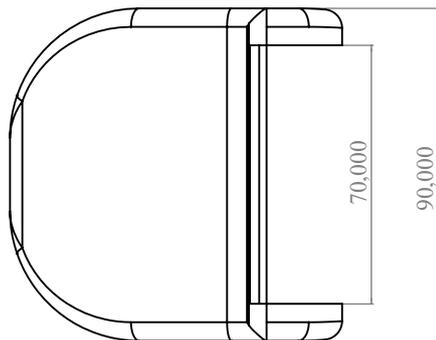
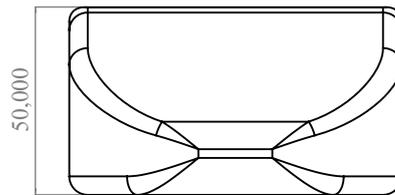
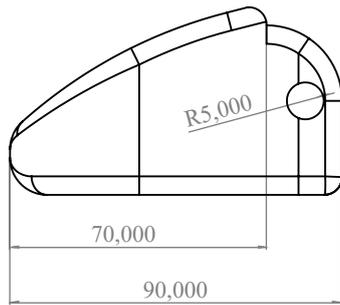
ETSID
- UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALENCIA -

ESCALA:
1:10

PRÒTESIS INFERIOR

PLÀNOL:
1/13

2019/2020



ALUMNA: MARTÍNEZ BELDA, MARIA DEL MAR

FECHA: 01/08/2020

ETSID
- UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALENCIA -

ESCALA:

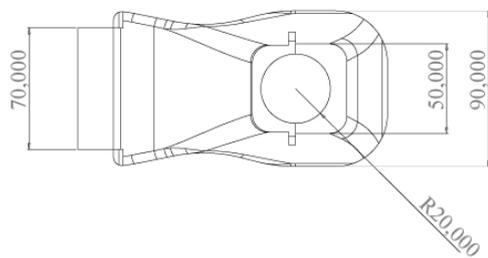
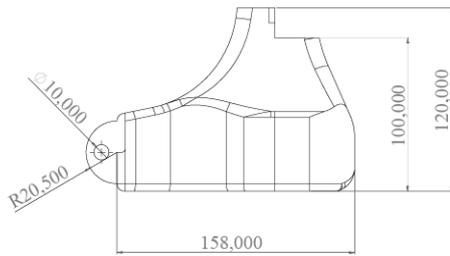
1:2

PART DAVANTERA DEL PEU

PLÀNOL:

2/13

2019/2020



ALUMNA: MARTÍNEZ BELDA, MARIA DEL MAR

FECHA: 01/08/2020

ETSID
- UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALENCIA -

ESCALA:

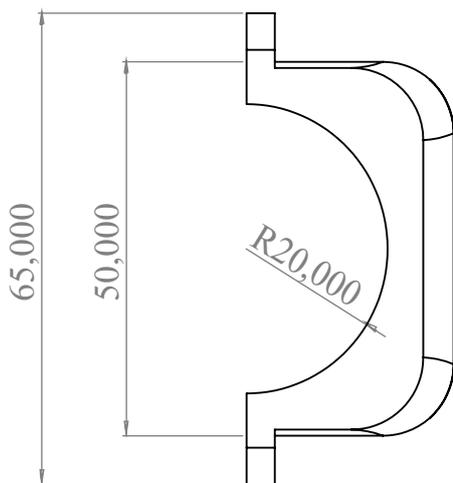
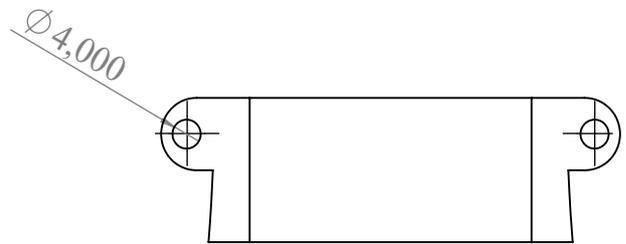
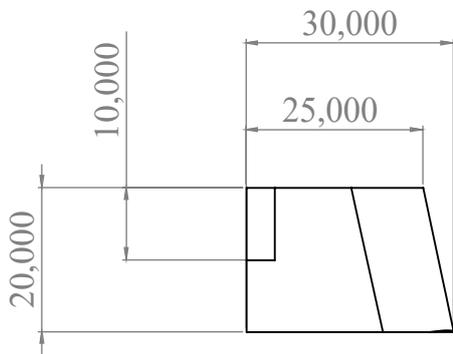
1:5

CONJUNT: PEU I TURMELL

PLÀNOL:

3/13

2019/2020



ALUMNA: MARTÍNEZ BELDA, MARIA DEL MAR

FECHA: 01/08/2020

ETSID
- UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALENCIA -

ESCALA:

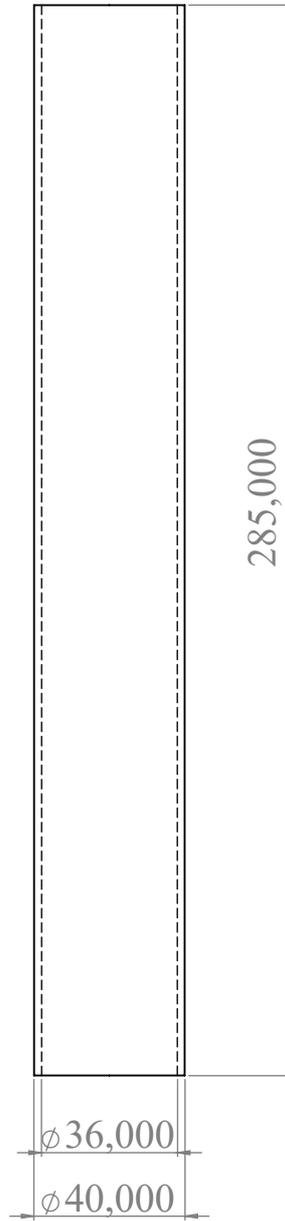
1:1

PEÇA DE SUBJECCIÓ

PLÀNOL:

4/13

2019/2020



ALUMNA: MARTÍNEZ BELDA, MARIA DEL MAR

FECHA: 01/08/2020

ETSID
- UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALENCIA -

ESCALA:

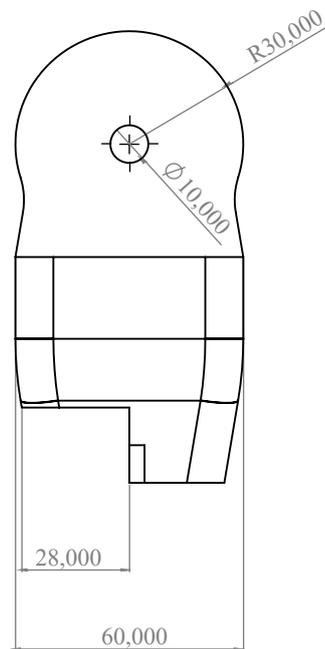
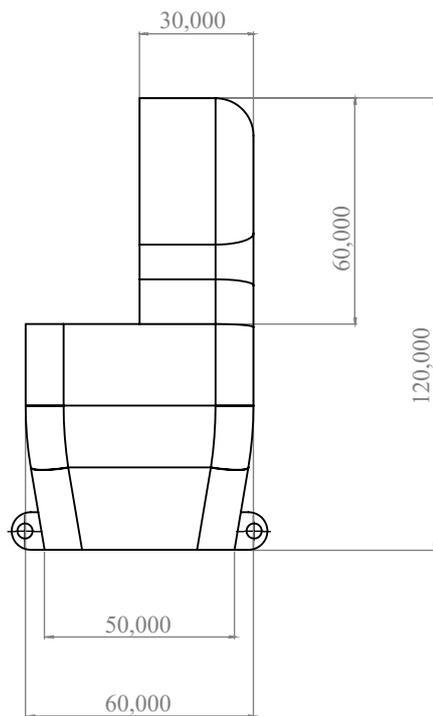
1:2

ESTRUCTURA INFERIOR

PLÀNOL:

5/13

2019/2020



ALUMNA: MARTÍNEZ BELDA, MARIA DEL MAR

FECHA: 01/08/2020

ETSID
- UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALENCIA -

ESCALA:

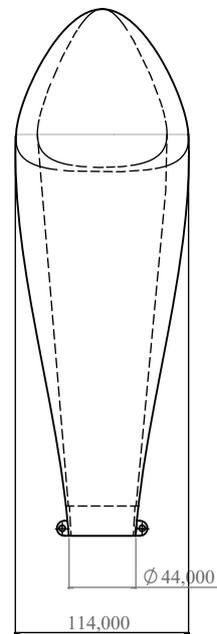
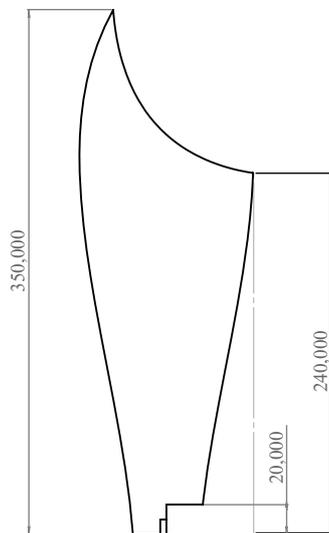
1:2

GENOLL

PLÀNOL:

6/13

2019/2020



ALUMNA: MARTÍNEZ BELDA, MARIA DEL MAR

ETSID
- UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALENCIA -

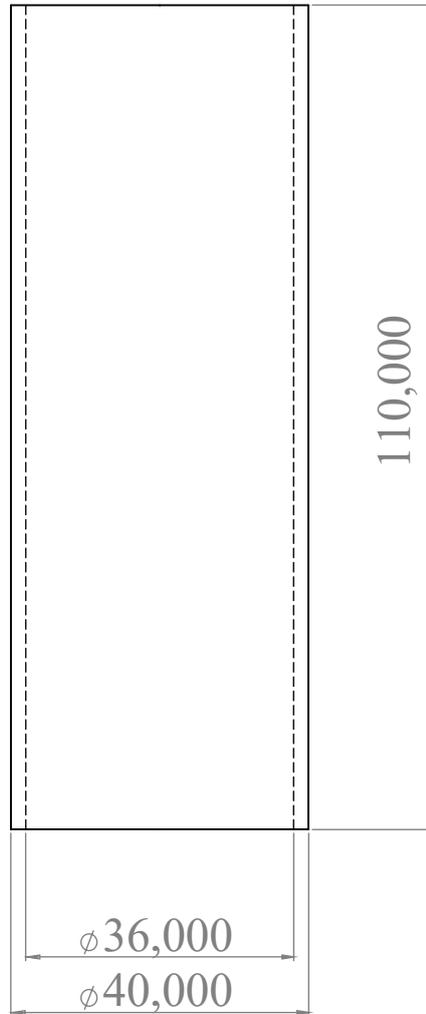
FECHA: 01/08/2020

ESCALA:
1:5

CARCASSA

PLÀNOL:
7/13

2019/2020



ALUMNA: MARTÍNEZ BELDA, MARIA DEL MAR

FECHA: 01/08/2020

ETSID
- UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALENCIA -

ESCALA:

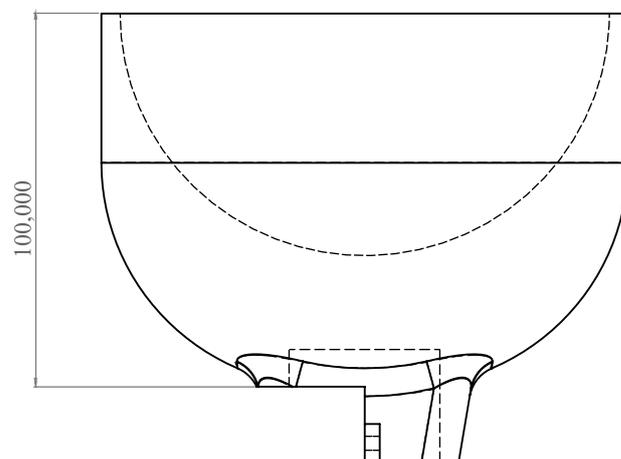
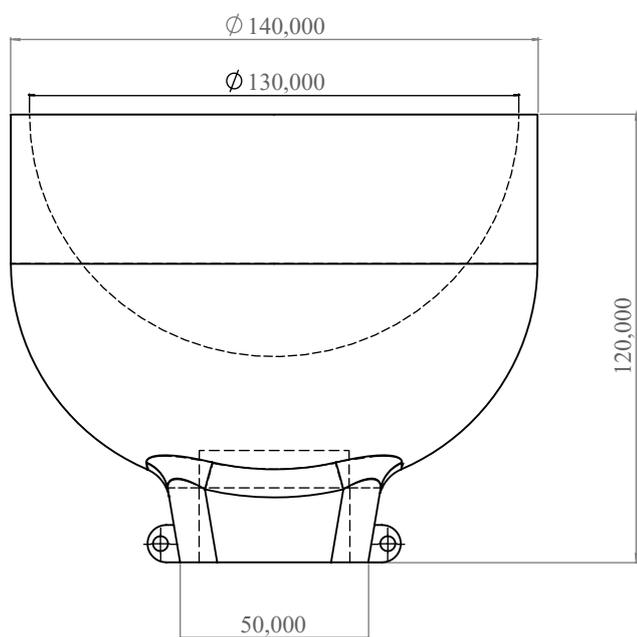
1:1

ESTRUCTURA SUPERIOR

PLÀNOL:

8/13

2019/2020



ALUMNA: MARTÍNEZ BELDA, MARIA DEL MAR

ETSID
- UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALENCIA -

FECHA: 01/08/2020

ESCALA:

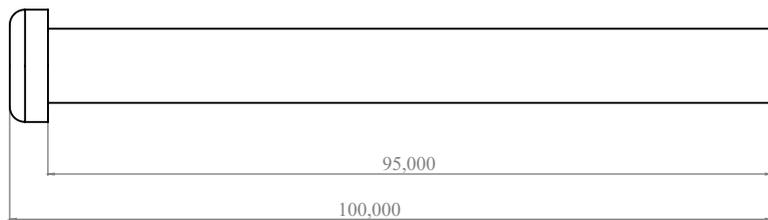
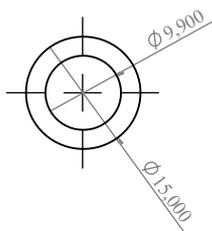
1:2

ENCAIX DEL MONYÓ

PLÀNOL:

9/13

2019/2020



ALUMNA: MARTÍNEZ BELDA, MARIA DEL MAR

FECHA: 01/08/2020

ETSID
- UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALENCIA -

ESCALA:

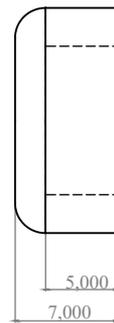
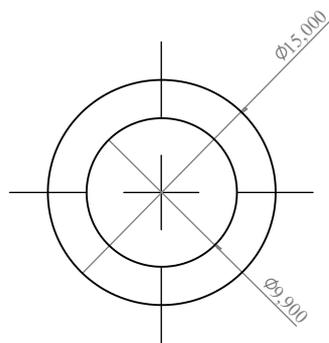
1:1

PEÇA D'UNIÓ (1)

PLÀNOL:

10/13

2019/2020



ALUMNA: MARTÍNEZ BELDA, MARIA DEL MAR

FECHA: 01/08/2020

ETSID
- UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALENCIA -

ESCALA:

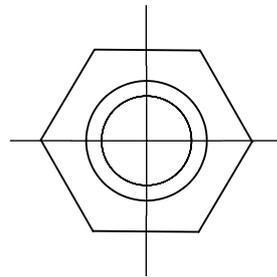
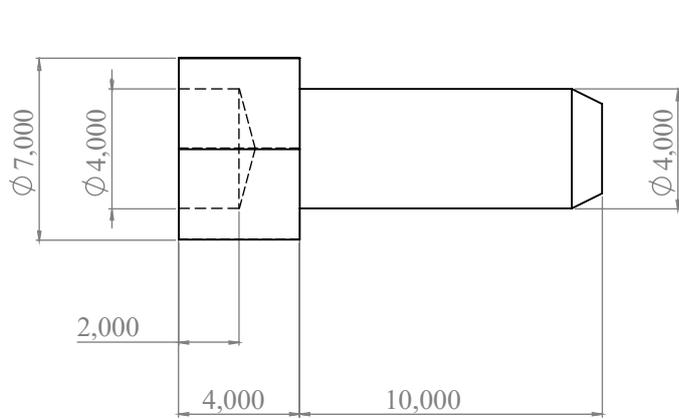
1:1

PEÇA D'UNIÓ (2)

PLÀNOL:

11/13

2019/2020



ALUMNA: MARTÍNEZ BELDA, MARIA DEL MAR

FECHA: 01/08/2020

ETSID
- UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALENCIA -

ESCALA:

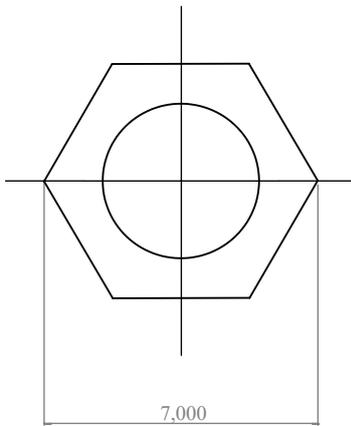
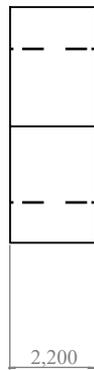
5:1

CARAGOL CAP HEXAGONAL M4

PLÀNOL:

12/13

2019/2020



ALUMNA: MARTÍNEZ BELDA, MARIA DEL MAR

FECHA: 01/08/2020

ETSID
- UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALENCIA -

ESCALA:

5:1

ROSCA HEXAGONAL M4

PLÀNOL:

13/13

2019/2020

IV. PRESSUPOSTOS

1. Pressupost de fabricació de la pròtesi

En aquest apartat es presenta un pressupost desglossat aproximat de la fabricació del primer prototip de la pròtesi, tenint en compte tant les peces fabricades mitjançant impressió 3D com els elements que es subcontractaran a altres empreses.

Cal tenir en compte que aquest pressupost fa referència al cost que ens suposarà a nosaltres fabricar el primer prototip. I, posteriorment, calcularem el pressupost suprimint el cost de la mà d'obra, ja que en la leptrosèria seràn les germanes les encarregades de dur a terme aquesta feina.

A més, el pressupost serà estimat donada la impossibilitat de controlar diferents variables com, per exemple, la quantitat de material necessària en cada pròtesi segons les necessitats dels diferents pacients.

Peça 1	Part davantera del peu
COST DE MATERIALS	
MATÈRIA PRIMA	
<ul style="list-style-type: none"> - Tipus de material: PLA (Àcid polilàctic) - Preu de la matèria prima: 22 €/kg - Quantitat utilitzada: 0,092 kg 	
Subtotal: 2,025 €	
COST DE LA MÀ DE OBRA	
<ul style="list-style-type: none"> - Tipus d'operació: Impressió 3D - Tipus d'operari: Tècnic de laboratori - Tassa horària: 20 €/hora - Temps d'impressió: 01:30 hores 	
Subtotal: 30,00 €	
TOTAL PARCIAL:	
32,03 €	

Taula 6. Pressupost part davantera del peu.

Peça 2	Conjunt: peu i turmell
COST DE MATERIALS	
MATÈRIA PRIMA	
<ul style="list-style-type: none"> - Tipus de material: PLA (Àcid polilàctic) - Preu de la matèria prima: 22 €/kg - Quantitat utilitzada: 0,384 kg 	
Subtotal: 8,45 €	
COST DE LA MÀ DE OBRA	
<ul style="list-style-type: none"> - Tipus d'operació: Impressió 3D - Tipus d'operari: Tècnic de laboratori - Tassa horària: 20 €/hora - Temps d'impressió: 03:50 hores 	
Subtotal: 76,60 €	
TOTAL PARCIAL:	
85,05 €	

Taula 7. Pressupost del conjunt peu-turmell

Peça 3	Peça de subjecció
COST DE MATERIALS	
MATÈRIA PRIMA	
<ul style="list-style-type: none"> - Tipus de material: PLA (Àcid polilàctic) - Preu de la matèria prima: 22 €/kg - Quantitat utilitzada: 0,006 kg 	
Subtotal 1: 0,132 €	
COST DE LA MÀ DE OBRA	
<ul style="list-style-type: none"> - Tipus d'operació: Impressió 3D - Tipus d'operari: Tècnic de laboratori - Tassa horària: 20 €/hora - Temps d'impressió: 00:45 hores 	
Subtotal: 15,00 €	
TOTAL PARCIAL:	
15,13 €	

Taula 8. Pressupost de la peça de subjecció.

Peça 5	Genoll
COST DE MATERIALS	
MATÈRIA PRIMA	
<ul style="list-style-type: none"> - Tipus de material: PLA (Àcid polilàctic) - Preu de la matèria prima: 22 €/kg - Quantitat utilitzada: 0,120kg 	
Subtotal: 2,64 €	
COST DE LA MÀ DE OBRA	
<ul style="list-style-type: none"> - Tipus d'operació: Impressió 3D - Tipus d'operari: Tècnic de laboratori - Tassa horària: 20 €/hora - Temps d'impressió: 01:30 hores 	
Subtotal: 30,00 €	
TOTAL PARCIAL:	
32,64 €	

Taula 9. Pressupost del genoll.

Peça 6	Carcassa
COST DE MATERIALS	
MATÈRIA PRIMA	
<ul style="list-style-type: none"> - Tipus de material: PLA (Àcid polilàctic) - Preu de la matèria prima: 22 €/kg - Quantitat utilitzada: 0,270 kg 	
Subtotal: 5,94 €	
COST DE LA MÀ DE OBRA	
<ul style="list-style-type: none"> - Tipus d'operació: Impressió 3D - Tipus d'operari: Tècnic de laboratori - Tassa horària: 20 €/hora - Temps d'impressió: 04:00 hores 	
Subtotal: 80,00 €	
TOTAL PARCIAL:	
85,94 €	

Taula 10. Pressupost de la carcassa.

Peça 8	Encaix del monyó
COST DE MATERIALS	
MATÈRIA PRIMA	
<ul style="list-style-type: none"> - Tipus de material: PLA (Àcid polilàctic) - Preu de la matèria prima: 22 €/kg - Quantitat utilitzada: 0,280 kg 	
	Subtotal: 6,16 €
COST DE LA MÀ DE OBRA	
<ul style="list-style-type: none"> - Tipus d'operació: Impressió 3D - Tipus d'operari: Tècnic de laboratori - Tassa horària: 20 €/hora - Temps d'impressió: 04:15 hores 	
	Subtotal: 85,00 €
TOTAL PARCIAL:	
	91,16 €

Taula 11. Pressupost del encaix del monyó.

Peça 9	Peça d'unió (1)
COST DE MATERIALS	
MATÈRIA PRIMA	
<ul style="list-style-type: none"> - Tipus de material: PLA (Àcid polilàctic) - Preu de la matèria prima: 22 €/kg - Quantitat utilitzada: 0,0032 kg 	
	Subtotal: 0,07 €
COST DE LA MÀ DE OBRA	
<ul style="list-style-type: none"> - Tipus d'operació: Impressió 3D - Tipus d'operari: Tècnic de laboratori - Tassa horària: 20 €/hora - Temps d'impressió: 00:45 hores 	
	Subtotal: 15,00 €
TOTAL PARCIAL:	
	15,07 €

Taula 12. Pressupost de la peça d'unió (1).

Peça 10	Peça d'unió (2)
COST DE MATERIALS	
MATÈRIA PRIMA	
<ul style="list-style-type: none"> - Tipus de material: PLA (Àcid polilàctic) - Preu de la matèria prima: 22 €/kg - Quantitat utilitzada: 0,00032 kg 	
Subtotal: 0,01	
COST DE LA MÀ DE OBRA	
<ul style="list-style-type: none"> - Tipus d'operació: Impressió 3D - Tipus d'operari: Tècnic de laboratori - Tassa horària: 20 €/hora - Temps d'impressió: 00:45 hores 	
Subtotal: 15,00 €	
TOTAL PARCIAL:	
15,01 €	

Taula 13. Pressupost de la peça d'unió (2)

Peça 4	Estructura inferior
COST DE MATERIALS	
MATÈRIA PRIMA	
Subtotal: 0 €	
PRODUCTES SUBCONTRACTATS	
<ul style="list-style-type: none"> - En el mercat podem trobar un tub d'acer, el qual es ven a 16,50€ per metre de longitud. L'estructura inferior té una longitud de 0,285m. 	
Subtotal: 4,70 €	
TOTAL PARCIAL:	
4,70 €	

Taula 14. Pressupost de l'estructura inferior.

Peça 7	Estructura superior
COST DE MATERIALS	
MATÈRIA PRIMA	
	Subtotal: 0 €
PRODUCTES SUBCONTRACTATS	
<p>- En el mercat podem trobar un tub d'acer, el qual es ven a 16,50€ per metre de longitud. L'estructura inferior té una longitud de 0,11 metres.</p>	
	Subtotal: 1,80 €
TOTAL PARCIAL:	
	1,80 €

Taula 15. Pressupost de l'estructura superior.

Peça 11	Caragol cap hexagonal M4
COST DE MATERIALS	
MATÈRIA PRIMA	
	Subtotal: 0 €
PRODUCTES SUBCONTRACTATS	
<p>- Realitzarem comandes grans amb una gran quantitat de peces, però realitzem una estimació per conèixer el preu individual.</p>	
	Subtotal: 0,50 €
TOTAL PARCIAL:	
	0,50 €

Taula 16. Pressupost dels caragols de cap hexagonal M4

Peça 11	Caragol cap hexagonal M4
COST DE MATERIALS	
MATÈRIA PRIMA	
Subtotal: 0 €	
PRODUCTES SUBCONTRACTATS	
- Realizarem comandes grans amb una gran quantitat de peces, però realitzem una estimació per conèixer el preu individual.	
Subtotal: 0,10 €	
TOTAL PARCIAL:	
0,10 €	

Taula 17. Pressupostos de les rosques hexagonals M4

Finalment, després de calcular el pressupost de fabricació i adquisició dels diferents components, presentem una taula a mode de resum on presentem els diferents paràmetres a tenir en compte.

Peça	Preu per unitat	Unitats	Total
Part davantera del peu	32,03 €	1	32,03 €
Conjunt: peu i turmell	85,05 €	1	85,05 €
Peça de subjecció	15,13 €	5	75,65 €
Genoll	32,64 €	2	65,28 €
Carcassa	85,44 €	1	85,44 €
Encaix del monyó	91,16 €	1	91,16 €
Peça d'unió (1)	15,07 €	2	30,14 €
Peça d'unió (2)	15,01 €	2	30,02 €
Estructura inferior	4,70 €	1	4,70 €
Estructura superior	1,80 €	1	1,80 €
Caragol cap hexagonal M4	0,50 €	8	4,00 €
Rosca hexagonal M4	0,10 €	8	0,80 €
			585,27 €

Taula 18. Resums dels pressupostos de fabricació.

Com podem observar, arribem a un cost final aproximat de 585,27 €

2 Pressupost per a la implantació del laboratori

En segon lloc, presentem el pressupost necessari aproximat per a la implantació del laboratori a Camerun.

En aquest pressupost s'inclourán els següents costos:

- Adquisició de dues impressores "Delta WASP 2040 PRO".

Adquisició: Impressora 3D	
PRODUCTES SUBCONTRACTATS	
- Impressora "Delta WASP 2040 PRO"	Subtotal 1: 3.700,00 €
TOTAL PARCIAL:	7.400,00 €

Taula 19: Cost adquisició impressores 3D

- Adquisició d'un escàner de butxaca "POCKETSCAN".

Adquisició: escàner 3D	
PRODUCTES SUBCONTRACTATS	
- Escàner de butxaca "POCKETSCAN".	Subtotal 1: 2.900€
TOTAL PARCIAL:	2.900,00 €

Taula 20: Cost adquisició escàner 3D

- Adquisició del material necessari per a fabricar les primeres proves en el nou laboratori.

En aquest cas, el costos utilitzats seràn els obtinguts en l'apartat anterior, suprimint el cost de la má d'obra, com ja hem explicat previament.

Peça 1	Part davantera del peu
COST DE MATERIALS	
MATÈRIA PRIMA	
<ul style="list-style-type: none"> - Tipus de material: PLA (Àcid polilàctic) - Preu de la matèria prima: 22 €/kg - Quantitat utilitzada: 0,092 kg 	
Subtotal: 2,025 €	
TOTAL PARCIAL: 2,025 €	

Taula 21. Pressupost part davantera del peu.

Peça 2	Conjunt: peu i turmell
COST DE MATERIALS	
MATÈRIA PRIMA	
<ul style="list-style-type: none"> - Tipus de material: PLA (Àcid polilàctic) - Preu de la matèria prima: 22 €/kg - Quantitat utilitzada: 0,384 kg 	
Subtotal: 8,45 €	
TOTAL PARCIAL: 8,45 €	

Taula 22 Pressupost del conjunt peu-turmell

Peça 3	Peça de subjecció
COST DE MATERIALS	
MATÈRIA PRIMA	
<ul style="list-style-type: none"> - Tipus de material: PLA (Àcid polilàctic) - Preu de la matèria prima: 22 €/kg - Quantitat utilitzada: 0,006 kg 	
Subtotal 1: 0,132 €	
TOTAL PARCIAL: 0,13 €	

Taula 23. Pressupost de la peça de subjecció.

Peça 5	Genoll
COST DE MATERIALS	
MATÈRIA PRIMA	
<ul style="list-style-type: none"> - Tipus de material: PLA (Àcid polilàctic) - Preu de la matèria prima: 22 €/kg - Quantitat utilitzada: 0,120kg 	
Subtotal: 2,64 €	
TOTAL PARCIAL:	
2,64 €	

Taula 24. Pressupost del genoll.

Peça 6	Carcassa
COST DE MATERIALS	
MATÈRIA PRIMA	
<ul style="list-style-type: none"> - Tipus de material: PLA (Àcid polilàctic) - Preu de la matèria prima: 22 €/kg - Quantitat utilitzada: 0,270 kg 	
Subtotal: 5,94 €	
TOTAL PARCIAL:	
5,94 €	

Taula 25. Pressupost de la carcassa.

Peça 8	Encaix del monyó
COST DE MATERIALS	
MATÈRIA PRIMA	
<ul style="list-style-type: none"> - Tipus de material: PLA (Àcid polilàctic) - Preu de la matèria prima: 22 €/kg - Quantitat utilitzada: 0,280 kg 	
Subtotal: 6,16 €	
TOTAL PARCIAL:	
6,16 €	

Taula 26. Pressupost del encaix del monyó.

Peça 9	Peça d'unió (1)
COST DE MATERIALS	
MATÈRIA PRIMA	
<ul style="list-style-type: none"> - Tipus de material: PLA (Àcid polilàctic) - Preu de la matèria prima: 22 €/kg - Quantitat utilitzada: 0,0032 kg 	
Subtotal: 0,07 €	
TOTAL PARCIAL:	
0,07 €	

Taula 27. Pressupost de la peça d'unió (1).

Peça 10	Peça d'unió (2)
COST DE MATERIALS	
MATÈRIA PRIMA	
<ul style="list-style-type: none"> - Tipus de material: PLA (Àcid polilàctic) - Preu de la matèria prima: 22 €/kg - Quantitat utilitzada: 0,00032 kg 	
Subtotal: 0,01	
TOTAL PARCIAL:	
0,01 €	

Taula 28. Pressupost de la peça d'unió (2)

Peça 4	Estructura inferior
COST DE MATERIALS	
MATÈRIA PRIMA	
Subtotal: 0 €	
PRODUCTES SUBCONTRACTATS	
<ul style="list-style-type: none"> - En el mercat podem trobar un tub d'acer, el qual es ven a 16,50€ per metre de longitud. L'estructura inferior té una longitud de 0,285m. 	
Subtotal: 4,70 €	
TOTAL PARCIAL:	
4,70 €	

Taula 29. Pressupost de l'estructura inferior.

Peça 7	Estructura superior
COST DE MATERIALS	
MATÈRIA PRIMA	
Subtotal: 0 €	
PRODUCTES SUBCONTRACTATS	
<p>- En el mercat podem trobar un tub d'acer, el qual es ven a 16,50€ per metre de longitud. L'estructura inferior té una longitud de 0,11 metres.</p>	
Subtotal: 1,80 €	
TOTAL PARCIAL:	
1,80 €	

Taula 30. Pressupost de l'estructura superior.

Peça 11	Caragol cap hexagonal M4
COST DE MATERIALS	
MATÈRIA PRIMA	
Subtotal: 0 €	
PRODUCTES SUBCONTRACTATS	
<p>- Realizarem comandes grans amb una gran quantitat de peces, però realitzem una estimació per conèixer el preu individual.</p>	
Subtotal: 0,50 €	
TOTAL PARCIAL:	
0,50 €	

Taula 31. Pressupost dels caragols de cap hexagonal M4

Peça 11	Caragol cap hexagonal M4
COST DE MATERIALS	
MATÈRIA PRIMA	
Subtotal: 0 €	
PRODUCTES SUBCONTRACTATS	
<p>- Realitzarem comandes grans amb una gran quantitat de peces, però realitzem una estimació per conèixer el preu individual.</p>	
Subtotal: 0,10 €	
TOTAL PARCIAL:	
0,10 €	

Taula 32. Pressupostos de les rosques hexagonals M4

Finalment, arribem a la següent taula de preus:

Peça	Preu per unitat	Unitats	Total
Part davantera del peu	2,03 €	1	2,03 €
Conjunt: peu i turmell	8,45 €	1	8,45 €
Peça de subjecció	0,13 €	5	0,65 €
Genoll	2,64 €	2	5,28 €
Carcassa	5,94 €	1	5,94 €
Encaix del monyó	6,16 €	1	6,16 €
Peça d'unió (1)	0,07 €	2	0,14 €
Peça d'unió (2)	0,01 €	2	0,02 €
Estructura inferior	4,70 €	1	4,70 €
Estructura superior	1,80 €	1	1,80 €
Caragol cap hexagonal M4	0,50 €	8	4,00 €
Rosca hexagonal M4	0,10 €	8	0,80 €
			39,97 €

Taula 33. Resums dels pressupostos.

Com podem observar, arribem a un cost final aproximat de **40 €** per pròtesi, per tant, el cost de material no és elevat, aconseguint així l'objectiu de fabricar pròtesis assequibles per a tota la població.

De manera que, disposarem d'un pressupost de **4.000€** per a fabricar les 100 primeres pròtesis.

- Adquisició d'un equip informàtic que inclou tant la part física (ordinadors) com el software i els costos d'una connexió a xarxa segura.

Per a aquestos costos, disposarem d'un pressupost de **2.500 €**, amb els qual podrem adquirir un ordinador i garantir diversos mesos de connexió a internet.

A més, comptem amb el software "MeshMixer", d'ús gratuït.

- El desplaçament de l'equip tècnic que inclou el viatge, l'allotjament i les dietes dels tècnics.

En aquest cas, l'equip tècnic comptarà amb un pressupost de **6.000€** per fer front a totes les necessitats del viatge.

- El desenvolupament d'una plataforma Online que s'utilitzarà com a web del projecte i on podran intercanviar-se idees i opinions.

Treball realitzat	Preu (€/hora)	Hores de treball	Total
Disseny de la plataforma.	20 €/hora	5	100 €
Desenvolupament.	20€/hora	40	800 €
Proves de funcionalitat.	20€/hora	10	200 €
Costos de manteniment.			400 €
			1.500 €

Taula 34. Cost associat al desenvolupament de la plataforma online.

En definitiva, els costos estimats totals de l'instal·lació del laboratori ascendiran a uns **24.300 €**, un cost que podrà variar segons les diferents variables del projecte.

Treball realitzat	Total
2 impressores: DELTA WASP	7.400 €
1 escàner 3D: POCKETSCAN	2.900 €
Materials per fabricar les primeres pròtesis.	4.000 €
Equip informàtic.	2.500 €
Desplaçament de l'equip de treball	6.000 €
Realització de la plataforma en línia	1.500 €
	24.300 €

Taula 35. Resum dels pressupostos de la instal·lació del laboratori.

3. Pressupost de conceptualització i desenvolupament la pròtesi

A continuació, presentem els pressupostos del cost de realització de les tasques d'investigació i desenvolupament del disseny de la pròtesi, separats segons les activitats portades a terme.

- Procès d'investigació

En primer lloc, realitzarem un estudi de mercat per conèixer el tipus de pròtesis inferiors que podem trobar al mercat així com els materials i la tecnologia utilitzada per a la seua fabricació. La durada estimada va ser de 20 hores, amb un cost associat de 15€ per hora.

Treball realitzat	Temps dedicat (hores)	Cost	Total
Estudi de mercat.	20	15€/hora	300 €

Taula 36. Cost associat a l'estudi de mercat.

- Desenvolupament conceptual de la proposta

Posteriorment, començarem amb el disseny de la proposta, on s'inclouen diferents etapes: la creació d'esbossos i disseny final, a la qual dediquem unes 10 hores amb un cost de 25€ per hora; la realització dels càlculs teòrics i la planimetria, on el cost associat és de 15€ per hora i dedicarem 7 hores, i la generació d'una proposta 3D, on vam dedicar 25 hores i el preu per hora es de 30€, ja que es tracta d'una activitat de caràcter tècnic que requereix de l'ús de programes com AutoCAD i SolidWorks.

Treball realitzat	Temps dedicat (hores)	Cost	Total
Creació d'esbossos i disseny final.	10	25€/hora	250 €
Càlculs teòrics.	2	15€/hora	30 €
Generació d'una proposta 3D	25	30€/hora	750 €
Planimetria.	5	15€/hora	75 €
			1.105€

Taula 37. Cost associat al desenvolupament de la proposta.

- Elaboració de el plec de condicions i els pressupostos

D'una banda, per al desenvolupament del plec de condicions, dediquem un total de 15 hores on s'inclou la cerca de la normativa aplicable al nostre disseny i la descripció de la proposta final. Aquestes hores tindran un cost de 15€ per hora.

D'altra banda, per a l'elaboració del pressupost invertirem 15 hores a un cost de 15€ l'hora.

Treball realitzat	Temps dedicat (hores)	Cost	Total
Normativa aplicable.	15	15€/hora	325 €
Elaboració del pressupost.	15	15€/hora	325 €
			650 €

Tabla 38. Cost associat a l'elaboració del plec de condicions i els prespuestos.

- Elaboració de la memòria TFG

Finalment, invertim aproximadament 45 hores en la redacció de la memòria de el projecte, amb un cost de 15€ l'hora, i 25 hores en la maquetació del mateix, amb un cost de 20€ per hora, ja que per a la maquetació utilitzarem Adobe Illustrator i Adobe Photoshop.

Treball realitzat	Temps dedicat (hores)	Cost	Total
Redacció de la memòria.	45	15€/hora	675 €
Màquetació del projecte.	25	20€/hora	500 €
			1.175 €

Tabla 39. Cost associat a la readcció de la memòria TFG.

Per tant, el cost total associat a la conceptualització i desenvolupament la pròtesi, es el següent:

Treball realitzat	Total
Procès d'investigació	1.105 €
Desenvolupament conceptual de la proposta.	300 €
Elaboració de el plec de condicions i els pressupostos:	650 €
Elaboració de la memòria TFG	1.175 €
	3.230 €

Tabla 40. Cost associat al pressupost de conceptualització i desenvolupament de la pròtesi.

4. Pressupost final

En definitiva, podem concloure que els costos totals del projecte són:

Treball realitzat	Total
Pressupost de fabricació de la pròtesi	585,27 €
Pressupost per a la implantació del laboratori	24.300 €
Pressupost de conceptualització i desenvolupament la pròtesi	3.230 €
	28.115,27 €

Tabla 41. Cost total del projecte.

Per tant, arribem a un total aproximat de **28.000 €**. Però, cal tenir en compte que en aquestos pressupostos s'inclouen tots els costos desglosats anteriorment, per tant, no parlem de la fabricació d'una única pròtesi, parlem d'un projecte on podrien arribar a fabricar-se centenars de pròtesis per als més necessitats.

V. CONCLUSIONS

Després d'acabar aquesta primera etapa de disseny i fabricació d'una pròtesi per a amputacions inferiors, arribem a dues conclusions molt importants.

D'una banda, la primera es la satisfacció de comprovar que gràcies a les noves tecnologies, i més concretament, a la impressió 3D, podem fabricar pròtesis resistent i econòmiques per millorar la qualitat de vida de les persones que pateixen amputacions de les extremitats inferiors i no compten amb els recursos necessaris per adquirir una pròtesi. Aquests casos, que a nosaltres ens poden paréixer mes llunyans i podem inclús arribar a considerar-los una minoria, en els països menys desenvolupats, com es el cas de Camerun, es una realitat a l'ordre del dia, ja que a causa del fort impacte que te la diabetis en el país, hi ha un gran percentatge de la població que pateix la infermetat del peu diabètic i no pot recórrer a cap altra opció que no siga realitzar una amputació. Amputació que repercuteix en la seua vida a uns nivells que nosaltres no podem ni imaginar, ja que la falta de recursos que deriva en la impossibilitat de adquirir una pròtesi, te conseqüències inimaginables.

Una persona amb una amputació és una persona que no pot treballar, una carrega per a la família si es tracta d'un membre en edat de treballar o, inclús, si parlem del principal sustentador de la família, tot els membres patiran les conseqüències de la falta d'ingressos, derivant en una vida de pobresa. En alguns casos, hi ha famílies que han repudiat al membre afectat per no poder fer-se càrrec d'una persona que no es capaç de treballar per ajudar econòmicament a la família, i, que a causa de la discapacitat física a la que ha de fer front, tampoc pot encarregar-se de cuidar la casa.

Amb aquesta reflexió, arribem també a la segona conclusió, la necessitat de seguir endavant amb el projecte per visibilitzar aquestes situacions a les quals han de fer front moltes persones i que la majoria de la societat desconeix, i, amb el temps, poder garantir una atenció mèdica de qualitat per a totes les persones, sense importar el seu lloc de procedència.

Personalment, amb aquest projecte he pogut conèixer les condicions en les que han de viure moltes persones al voltant del món i la sort que tenim de comptar amb un sistema sanitari de qualitat que en aquestes situacions lluita per integrar en el món laboral amb persones amb discapacitats físiques.

A més, he a nivell tècnic, he après com funciona l'escanejat digital i he augmentat els meus coneixements sobre impressió 3D, sense deixar de banda els coneixements adquirits sobre la fabricació de pròtesis, un àmbit que desconeixia fins que vaig començar aquest projecte, i el qual em pareix meravellós, sobre tot per la satisfacció final de saber que el producte que tu estàs dissenyant pot canviar la vida d'una persona. Sense cap dubte, una experiència que et fa créixer com a dissenyador i com a persona.

VI. BILIOGRAFIA

A continuació, presentem la bibliografia utilitzada en la realització d'aquest treball.

Lo básico sobre la diabetes tipo 2. (2016, setembre 30). Información básica de la diabetes.

<http://archives.diabetes.org/es/informacion-basica-de-la-diabetes/diabetes-tipo-2/lo-basico-sobre-la-diabetes-tipo2.html>

NIH: Instituto Nacional de la Diabetes y las Enfermedades Digestivas y Renales. (s.d.). Pie diabético. Medline Plus: Información de salud para usted.

<https://medlineplus.gov/spanish/diabeticfoot.html>

Pie Diabético: Epidemiología. (s.d.). Úlceras.net.

<https://www.ulceras.net/monograficos/83/66/pie-diabetico-epidemiologia.html>

Fabián Coelho. (s.d.). Metodología. Ciencia y salud.

<https://www.significados.com/metodologia/>

Taahirah Martin. (2018, octubre 16). Low-cost artificial leg for amputees in developing countries. Design in daba.

<https://www.designindaba.com/articles/creative-work/low-cost-artificial-leg-amputees-developing-countries>

Desarrollan un pie protésico de bajo coste que se adapta al peso y tamaño del paciente. (2018, juny 29). Infosalud.

<https://www.infosalus.com/asistencia/noticia-desarrollan-pie-protésico-coste-adapta-peso-tamaño-paciente-20180629114527.html>

Desarrollan prótesis de pie y tobillo de bajo costo. (2019, maig 23). Vértigo Político.

<https://www.vertigopolitico.com/todo-menos-politica/bienestar/desarrollan-protesis-de-pie-y-tobillo-de-bajo-coste>

An affordable leg for a new life. (s.d.). Project Circleg.

<https://projectcircleg.com/>

William Root. (s.d.). Prosthetic Leg. EXO.

<https://www.behance.net/gallery/20696469/Exo-Prosthetic-Leg>

Ottobock. (s.d.). Ortesistas y protesistas.

<https://www.ottobock.es/>

Prótesis de Miembros Inferiores - PRÓTESIS PARA DESARTICULACIÓN DE RODILLA GRITTY MODULAR O ENDOESQUELETAL -. (2013, febrer). 5.

Wasp. (s.d.). Descubre nuestras impresoras 3D líderes en la industria. WASP IBERIA.

<https://www.wasp3d.es/impresoras-3d/>

FRAX3D. (s.d.). Escáner 3D: Tipos y Aplicaciones. Expertos en Prototipado y Diseño de Máquinas.

<https://www.frax3d.com/escaner-3d-tipos-y-aplicaciones>

Digitalización 3D. (s.d.). Reduce costes y tiempo de fabricación gracias al escaneado 3d. D3D.

<https://www.digitalizacion-3d.com>

IT3D GROUP. (s.d.). Pocketscan 3D.

<https://it3d.com/escaneres-3d/pocketscan-3d/>

LaserScan. (s.d.). Escáner 3D de Bolsillo. PocketScan 3D.

<http://pocketscan3d.laserscan.es/>

PETG vs PLA. (s.d.). Filament2print.

https://filament2print.com/es/blog/50_petg-vs-pla.html

PLA - Ácido Poliláctico. (s.d.). Mexpolímeros.

<https://www.mexpolimeros.com/pla.html>

Autodesk Meshmixer. (s.d.). Software for making awesome stuff.

www.meshmixer.com/

Reducir el costo de tu impresión 3D. (s.d.). MakerMex S.A.

<http://makermex.com/blog/manufactura-digital-1/post/como-reducir-el-costo-de-tu-impresion-3d-413>

AENOR: Normas. (s.d.). AENOR.

<https://www.aenor.com/>

Comité: CTN 153—PRODUCTOS DE APOYO PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD. (2020). UNE Normalización Española.

<https://www.une.org/encuentra-tu-norma/comites-tecnicos-de-normalizacion/comite/?c=CTN%20153>

Comité: CTN 81/SC 1—PROTECCIÓN INDIVIDUAL. (2020). UNE Normalización Española.

<https://www.une.org/encuentra-tu-norma/comites-tecnicos-de-normalizacion/comite/?c=CTN%2081/SC%201>

