



EPS

Escola Politècnica

UdG Superior

Projecte/Treball Fi de Carrera

Estudi: Enginyeria Industrial. Pla 2002

Títol: Disseny i fabricació d'un dispositiu per resoldre la inestabilitat del lligament escafolunar

Document: Seguiment d'execució

Alumne: Francesc Soy i Viñas

Director/Tutor: Inés Ferrer Real

Departament: Eng. Mecànica i de la Construcció Industrial

Àrea: Processos de fabricació

Convocatòria (mes/any): Juliol 2012

ÍNDEX

1	INTRODUCCIÓ	1
2	EXPERIMENTACIÓ AMB EL TORN ALECOP	2
2.1	INTRODUCCIÓ AL TORN ALECOP	2
2.2	PREPARACIÓ DE LA MÀQUINA	2
2.3	PROCEDIMENT EXPERIMENTAL	2
2.3.1	<i>Peces a escala 5:1</i>	<i>3</i>
3	EXPERIMENTACIÓ AMB EL TORN OKUMA	8
3.1	INTRODUCCIÓ AL TORN OKUMA	8
3.2	PREPARACIÓ DEL TORN	8
3.3	PROCEDIMENT EXPERIMENTAL	9
3.3.1	<i>Peces a escala 3:1</i>	<i>9</i>
3.3.2	<i>Peces a escala 2:1</i>	<i>12</i>
3.3.3	<i>Peces a escala real</i>	<i>16</i>
4	FABRICACIÓ DEL MOTLLE	18
5	MUNTATGE FINAL DE LA PRÒTESI	19
6	CONCLUSIONS	24
	ANNEX. PROGRAMES CNC TORN ALECOP	25
	PROGRAMA-1: PEÇA SEMILUNAR ESCALA 5:1	25
	PROGRAMA-2	26
	PROGRAMA-3	27
	PROGRAMA-4	28
	PROGRAMA-5: PEÇA ESCAFOIDE ESCALA 5:1	29
	PROGRAMA-6	30
	PROGRAMA-7: CONJUNT DE PECES COMPLET AMB ESCALA 5:1	31
	PROGRAMA-8: CONJUNT DE PECES COMPLET AMB ESCALA 5:1	32
	EINES UTILITZADES	34

INDEX DE FIGURES

FIGURA 1 CONJUNT COMPLET DE PECES FABRICAT AMB PVC I A ESCALA 2:1 AMB EL TORN OKUMA	12
FIGURA 2 CONJUNT COMPLET DE PECES FABRICAT AMB ACER I A ESCALA 2:1 AMB EL TORN OKUMA.....	12
FIGURA 3 PROCÉS DE TREPANAT D'UNA PEÇA.....	14
FIGURA 4 PECES DEL SEMILUNAR PERFORADES	14
FIGURA 5 PECES DE L'ESCAFOIDE FORADADES.....	16
FIGURA 6 RESULTAT OBTINGUT DE L'INTENT DE FABRICACIÓ DE LA PEÇA A ESCALA REAL	17
FIGURA 7 PARTS DEL MOTLLE.....	18
FIGURA 8 SILICONA BIOCOMPATIBLE UTILITZADA	19
FIGURA 9 MUNTATGE FINAL DEL MOTLLE	20
FIGURA 10 EXTRACCIÓ DE LA PART CURTA DEL MOTLLE	21
FIGURA 11 EXTRACCIÓ DE LA PART LLARGA DEL MOTLLE	21
FIGURA 12 RESULTAT FINAL D'UNA DE LES PRÒTESIS DESEMOTLLADA	22
FIGURA 13 RESULTATS DE LES PROVES 1, 2 I 3 REALITZADES RESPECTIVAMENT	23

INDEX DE TAULES

TAULA 1 EVOLUCIÓ DE LES PECES DEL SEMILUNAR DE PVC A ESCALA 5:1 FABRICADES AMB EL TORN ALECOP	4
TAULA 2 EVOLUCIÓ DE LES PECES DE L'ESCAFOIDE DE PVC A ESCALA 5:1 FABRICADES AMB EL TORN ALECOP	5
TAULA 3 RESUM DE LES PROVES DE FABRICACIÓ DE LES DUES PECES EN UN MATEIX CONJUNT.....	6
TAULA 4 EVOLUCIÓ DE LES PECES CONJUNTES DE PVC A ESCALA 3:1 FABRICADES AMB EL TORN OKUMA	11
TAULA 5 EVOLUCIÓ DE LES PECES DEL SEMILUNAR FABRICADES AMB ACER I ESCALA 3:1 AMB EL TORN OKUMA.....	14
TAULA 6 EVOLUCIÓ DE LES PECES DE L'ESCAFOIDE FABRICADES AMB ACER I ESCALA 3:1 AMB EL TORN OKUMA.....	16
TAULA 7 RANGS DE TEMPERATURES DEL PROCÉS DE CURACIÓ DE LES TRES PROVES	22

1 INTRODUCCIÓ

En el present document es descriu l'evolució de l'execució material del projecte. Així doncs, es detallen els processos de fabricació que s'han utilitzat per realitzar les peces de la pròtesi, amb les diverses escales aplicades i els materials utilitzats.

Tot el procés experimental es desenvolupa al taller mecànic i de CNC de l'Escola Politècnica Superior de la Universitat de Girona. Els recursos disponibles han de permetre realitzar el conjunt d'experiments previs per comprovar si es podria fabricar una pròtesi a escala real i amb els materials adients, o si pel contrari cal realitzar un seguit de modificacions del disseny per fer-ne viable la fabricació final. No obstant, i com s'argumenta en el present document, a mesura que l'escala de fabricació de la pròtesi s'aproxima a l'escala real sorgeixen un seguit de restriccions per la construcció de les peces, derivades de les mancances de la maquinària i les eines disponibles que no són les més apropiades per la fabricació d'elements tan petits.

2 EXPERIMENTACIÓ AMB EL TORN ALECOP

El torn Alecop s'ha utilitzat per la fabricació de les peces amb PVC a escala 5:1. L'objectiu d'aquestes proves és reconèixer els punts crítics de les peces, l'ordre d'operacions de mecanitzat apropiat, l'estacament de les peces i la seva orientació, així com determinar si és factible fabricar les dues peces partint d'un mateix brut (tros de material a mecanitzar) per tal de facilitar l'estacament i optimitzar el material. A més, aquestes pràctiques poden proporcionar indicacions orientatives respecte el calibratge dels paràmetres de mecanitzat.

D'altra banda, aquestes proves han de permetre adquirir un coneixement adequat dels torns de control numèric i de les seves possibilitats, per tal de procedir a les proves amb el torn Okuma amb certa agilitat i amb la suficient pràctica per dur a terme els treballs de forma correcta.

2.1 Introducció al torn Alecop

Abans de començar a treballar amb el torn cal disposar dels coneixements previs necessaris. Així doncs, serà de gran utilitat la formació adquirida a l'assignatura "Tecnologies de fabricació i tecnologia de màquines", i en especial la pràctica del torn de CNC on es va treballar amb el mateix torn Alecop. D'altra banda, cal agrair les explicacions del professor de l'Àrea de Processos de Fabricació, Marc Sabater, que m'ha ajudat per resoldre els dubtes i per explicar-me el funcionament de la màquina. També s'han utilitzat els manuals del torn i del seu control numèric Fagor per entendre adequadament el funcionament del sistema. D'aquesta manera, es poden interpretar els cicles fixes i els seus paràmetres, així com les condicions de tall aplicades per tal d'adaptar-ho a les necessitats del projecte.

Per últim, es realitzaran un conjunt de proves amb geometries simples tot seguint els exemples del manual del control numèric. D'aquesta manera es durà a terme la primera presa de contacte amb la màquina.

2.2 Preparació de la màquina

En primer lloc cal dur a terme el reglatge per tenir el torn a punt per la fabricació. Per aconseguir-ho cal col·locar les eines i els embridaments a la posició adequada, i determinar els factors correctors de les eines que s'utilitzaran. La finalitat de l'ajustament de les eines és minimitzar l'error de fabricació, ja que cal tenir en compte el desgast de l'eina de tall a mesura que va treballant.

2.3 Procediment experimental

A continuació es detallen les proves de fabricació de les peces que s'han dut a terme.



2.3.1 Peces a escala 5:1

Amb les proves realitzades a escala 5:1 es pretén determinar la viabilitat de la fabricació de les peces per separat (amb un programa de control numèric per cada part de la pròtesi i partint d'un brut diferent per cada part) o integrades (es fabriquen utilitzant un brut de material inicial comú i es sintetitzen els programes de control numèric en un de sol ja que s'ha d'obtenir una única peça final). Aquesta escala utilitzada és suficientment gran per obtenir uns bons acabats i uns resultats satisfactoris d'acord amb la maquinària utilitzada.





2.3.1.1 Peça semilunar

Per arribar a fabricar la peça corresponent del semilunar es comença per construir una geometria bàsica però representativa de la peça, a la qual se li aniran afegint modificacions de forma progressiva fins assolir el model dissenyat, o com és el cas, el model més similar possible. Amb aquest seguit d'evolucions s'intenta determinar la successió d'operacions de mecanitzat i les condicions de tall idònies per tal d'aprofitar totes les possibilitats de la màquina.

Per tal de mostrar el progrés d'una forma més representativa, a la *Taula 1* s'analitzen les proves realitzades amb les corresponents evolucions, modificacions i problemes ocorreguts.

PROVA	CARACTERÍSTIQUES I EVOLUCIONS	ADAPTACIONS PROGRAMA CNC ¹	RESULTAT OBTINGUT
<p>PROVA-6</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Es defineix el perfil de la peça dissenyada, però amb les ranures no helicoidals. - Ranures realitzades amb l'eina d'acabat d'esquerres, sense utilitzar el cicle de ranurat. 	Programa-1	<ol style="list-style-type: none"> 1) Les ranures no tenen tots els angles rectes, i tenen una amplada de 1,8mm enlloc de 2mm. Causes: <ul style="list-style-type: none"> - Perfil de l'eina. - Corrector de l'eina. - No s'aplica el cicle de ranurat. 2) Col·lisions als extrems del con. Causa: <ul style="list-style-type: none"> - Camí de retorn de l'eina massa pròxim a la peça. 3) No es fa la rosca. Causa: <ul style="list-style-type: none"> - Cal definir la velocitat de gir del capçal en rpm enlloc de la velocitat de tall constant.
<p>PROVA-7</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Aplicació del cicle fix de ranurat. - Utilització de l'eina de ranurat. - S'eviten les col·lisions. 	Programa-2	<ol style="list-style-type: none"> 1) Ranures rectangulars. <ul style="list-style-type: none"> - Cal corregir l'eina. 2) No hi ha col·lisions. 3) Segueix sense fer-se la rosca.

¹ Veure annex. PROGRAMES CNC TORN ALECOP

	<p>- S'afegeix la rosca a la part cònica.</p>	<p>Programa-3 - S'ha corregit l'error de programació de les rosques</p>	<p>1) Es tracta d'una rosca convencional, amb un pas de rosca de 1,25 mm.</p>
	<p>- Ranura amb perfil rectangular i amb trajectòria helicoïdal.</p>	<p>Programa-4 - S'utilitza el cicle fix de roscat però amb l'eina de ranurat per fer les ranures helicoïdals.</p>	<p>1) S'utilitza el cicle fix de roscat però amb l'eina de ranurat per poder fer la ranura espiral. 2) La ranura és menys profunda del previst.</p>
	<p>- S'intenta fer la ranura més profunda i amb passades més suaus. - La peça es trenca per la secció més prima degut a la seva allargada.</p>	<p>Programa-4 - Ranures més profundes (I=0,9).</p>	<p>1) Les ranures no poden tenir un diàmetre inferior als 3,6 mm. Per tant, $I \leq 0,8$, on I és la profunditat de la ranura.</p>
	<p>- Rosca autotarotant, amb un pas de rosca d'1,75 mm.</p>	<p>Programa-4 - Rosca més profunda (I=1,25)</p>	<p>1) La peça trenca al fer l'última passada de la rosca. 2) Cal fer la rosca abans de les ranures per evitar el trencament de la peça.</p>

Taula 1 Evolució de les peces del semilunar de PVC a escala 5:1 fabricades amb el torn Alecop

De les peces obtingudes es pot concloure que la prova 12 ha estat la més satisfactòria. Les característiques d'aquesta prova són les següents:

- Escala: 5:1
- Material: PVC
- Dimensions del brut de partida: 76,95 mm x Ø30,65 mm
- Temps de mecanitzat: 6 minuts i 43 segons

Com a conclusions cal destacar:




- Limitació de la **profunditat de les ranures** en un màxim de 0,8 mm, resultant un diàmetre mínim de 8,4 mm, enlloc dels 7,5 mm que s'haurien hagut d'obtenir per aquesta escala.
- **Profunditat de passada de la ranura** de 0,2 mm radials cada passada. Si es fa més gran la peça acaba trencant, i si es fa més petita en algunes ocasions la peça trencava a les darreres passades ja que l'entrada en contacte de l'eina amb la peça és força sobtat degut al perfil de l'eina i la petita velocitat de gir de la peça (250 rpm), necessària per la correcta execució del cicle fix.
- **Pas de rosca** de 1,25 mm.

- **Profunditat de la rosca** de 1 mm per evitar el trencament de la peça. S'ha comprovat que amb una profunditat de 1,25 mm la peça es trenca per la part ranurada durant l'última passada. De moment no es tracta d'una rosca autotarotant.
- S'ha determinat que l'**ordre d'operacions de mecanitzat** idoni és:
 - 1) Desbast.
 - 2) Acabat del perfil geomètric de la peça.
 - 3) Roscat.
 - 4) Ranurat.

D'aquesta manera el diàmetre de la peça pot suportar millor els esforços de tall durant el roscat, mentre que si es realitzen les ranures abans de la rosca es creen punts amb grans concentracions de tensions que condueixen al trencament de la peça durant el roscat final.

2.3.1.2 Peça escafoide

En el cas de la peça corresponent a l'escafoide els resultats més representatius i l'evolució obtinguda es descriuen a la *Taula 2* que es mostra a continuació.

PROVA	CARACTERÍSTIQUES I EVOLUCIONS	ADAPTACIONS PROGRAMA CNC	RESULTAT OBTINGUT
PROVA-17 	- Peça cilíndrica. - Ranura amb perfil rectangular.	Programa-5	1) L'eina de ranurat col·lisiona amb la part cilíndrica de més diàmetre al fer la ranura helicoïdal. La peça salta de la mordassa a causa de la força de palanca que provoca l'eina.
PROVA-20 	- S'aconsegueix fer la peça amb la rosca i les ranures.	Programa-5 - Però amb la ranura menys profunda.	1) La profunditat màxima de la ranura és de $\leq 0,75$ mm. 2) Cal millorar la ranura ja que queden unes parets molt estretes.
PROVA-21 	- Peça cònica.	Programa-6 - Es tracta d'una adaptació del programa 5, fent la part roscada cònica i reduint el pas de la ranura.	1) S'obté una ranura de només una volta i mitja, la qual és insuficient, però no es pot millorar degut al gruix de l'eina, la llargada del tram de ranurat i per evitar col·lisions.

Taula 2 Evolució de les peces de l'escafoide de PVC a escala 5:1 fabricades amb el torn Alecop

De les peces obtingudes es consideren com a aptes les proves 20 i 21. Les característiques d'aquestes proves són les següents:



- Escala: 5:1
- Material: PVC
- Dimensions del brut de partida: 64,6 mm x Ø30,7 mm
- Temps de mecanitzat: 2 minuts i 48 segons / 2 minuts i 34 segons, respectivament

Com a conclusions cal destacar:

- **Longitud del brut de partida inferior** per reduir els esforços de palanca.
- **L'ordre d'operacions de mecanitzat** no és tan determinant ja que la geometria de la peça és més progressiva i els diàmetres són superiors.
- **L'estacament** per la zona de la peça amb un diàmetre superior redueix la flexió de la peça i en conseqüència es millora l'acabat dimensional.
- **El cicle fix de ranurat** limita la proximitat de la ranura amb la part roscada, ja que es produeixen col·lisions.
- Es poden obtenir unes **ranures més profundes**, puix que el gruix de la peça és més gran i per tant resisteix millor els esforços.

2.3.1.3 Conjunt de peces complet

Per últim, s'ha intentat fabricar les dues peces juntes partint d'un mateix brut per tal de comparar quina opció aporta uns resultats més adequats. Cal remarcar que gràcies als resultats obtinguts a les proves anteriors només ha estat necessari realitzar dues proves (peça de l'escafoide cilíndrica/cònica), ja que les conclusions extretes anteriorment han permès eliminar els errors. A la *Taula 3* es mostren els resultats obtinguts.

PROVA	CARACTERÍSTIQUES I EVOLUCIONS	ADAPTACIONS DEL PROGRAMA DE CNC	RESULTAT OBTINGUT
 <p>PROVA-22</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Peça de l'escafoide cilíndrica. - Escala 5:1 - Material: PVC - Dimensions del brut: 76,65mm x Ø30,75mm - Temps de mecanitzat: 9 minuts i 53 segons 	Programa-7	<ul style="list-style-type: none"> 1) Bon acabat. 2) Ranura massa separada de la peça de l'escafoide. Causa: <ul style="list-style-type: none"> - El cicle fix utilitzat necessita deixar un espai al final del roscat (amb l'eina de ranurat); sinó, es produeixen col·lisions.
 <p>PROVA-23</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Peça de l'escafoide cònica. - Escala 5:1 - Material: PVC - Dimensions del brut: 76,4mm x Ø30,85mm - Temps de mecanitzat: 9 minuts i 44 segons 	Programa-8 - Es tracta d'una adaptació del programa 7, on la peça corresponent a l'escafoide es fa cònica enlloc de cilíndrica.	<ul style="list-style-type: none"> 1) S'aconsegueix aproximar la ranura uns 0,5 mm a la peça de l'escafoide. 2) És més ràpid de fabricar que l'anterior, ja que al ser la peça cònica i més gran cal treure menys material durant el desbast.

Taula 3 Resum de les proves de fabricació de les dues peces en un mateix conjunt

Les conclusions obtingudes de fabricar les dues parts unides tot partint d'un mateix brut són les següents:

- **Optimització de material** ja que només cal disposar d'una zona per realitzar l'estacament de la peça, amb el corresponent marge de seguretat entre les mordasses i la zona de treball de les eines.
- **Reducció del temps conjunt de procés** gràcies a la utilització d'un únic programa i un únic estacament.
- **Imprescindible realitzar les rosques abans de la ranura** (especialment la rosca de la peça petita corresponent al semilunar), ja que sinó la peça es trenca o es produeixen grans vibracions que augmenten l'error comès.
- Cal separar les dues peces a posteriori, amb el perill que es trenquin de forma inadequada.

3 EXPERIMENTACIÓ AMB EL TORN OKUMA

En aquesta fase de l'execució es procedeix a la fabricació de les peces a escala 3:1 i 2:1 amb PVC i acer segons el cas tractat. D'altra banda, s'ha intentat fabricar les peces a escala real però ha resultat inviable degut a les petites dimensions de les mateixes, les quals no es poden assolir mitjançant les eines disponibles per aquest torn. Així doncs, les limitacions establertes pels utilatges de què disposa el taller no permeten la fabricació de les peces metàl·liques de la pròtesi a escala real ni tampoc per les escales amb les que es treballarà, motiu que ha conduit a aplicar un seguit d'adaptacions de les peces respecte el disseny inicial.

No obstant, si els resultats obtinguts són bons es plantejarà continuar treballant en un futur amb les eines pertinents, concretament del catàleg de la marca Mitsubishi, per poder fabricar exactament les peces dissenyades. D'aquesta manera, en aquesta fase de la fabricació ja es podria optar per fabricar les peces amb titani, tot i que aquest punt no s'ha inclòs en el present projecte.

3.1 Introducció al torn Okuma

Seguint els passos realitzats amb el torn Alecop, el primer que cal fer abans d'utilitzar el torn és analitzar els seus manuals d'ús i de funcionament. D'altra banda, cal agrair les explicacions del tècnic del taller Jordi Vicens, que em van permetre realitzar adequadament aquesta fase del projecte.

3.2 Preparació del torn

En primer lloc cal comprovar l'estat de les eines que s'utilitzaran i calibrar-les correctament per tal d'obtenir el millor ajust dimensional possible de les peces. Tot seguit s'adaptarà el plat de mordasses segons el diàmetre del brut amb què es treballarà per tal de col·locar-hi la barra de PVC o acer segons sigui necessari. Un cop col·locada la barra es determinarà el zero de la peça i així la màquina ja estarà en condicions d'iniciar el procés.

D'altra banda, pel que fa a la programació del control numèric, el torn Okuma disposa del software IGF el qual permet a l'usuari crear el programa d'una forma ràpida i senzilla. Així doncs, simplement cal indicar les dimensions del brut i el material utilitzat, per procedir finalment a la introducció de la geometria de la peça i les característiques com ara de la rosca. El mateix software s'encarrega de generar el programa amb codi ISO. Un cop es disposa del programa de la peça es pot modificar l'ordre de les operacions, les eines a utilitzar per cada operació o simular el procés entre d'altres opcions. Per últim, des del software d'interfase del torn es podran modificar tots els paràmetres del programa de la peça com ara les velocitats de tall, la profunditat de passada, la refrigeració de la peça amb taladrina, els sentits de gir del capçal, etc. Finalment, es podrà realitzar una nova simulació en 2D més real d'acord amb les característiques de la màquina, per tal de comprovar que la peça obtinguda serà la desitjada i per verificar que no es produeixen col·lisions tot utilitzant les eines adequades.



3.3 Procediment experimental





Tot seguit es descriuen les evolucions obtingudes en les diferents proves realitzades per les diverses fases operatives amb el torn Okuma.


3.3.1 Peces a escala 3:1

3.3.1.1 Conjunt de peces complet amb PVC

Per tal d'agilitzar el procés de proves es va determinar començar per la fabricació de les peces integrades partint d'un mateix brut de material, tot observant els resultat que permet obtenir la màquina-eina utilitzada. D'altra banda, la peça corresponent a l'escafoide tindrà una geometria cilíndrica ja que és l'escollida en el disseny final de la pròtesi i l'objectiu d'aquesta fase ja és obtenir el resultat més similar possible a la pròtesi final. Així doncs, seguint la metodologia anterior, a la *Taula 4* es descriu el treball realitzat.

PROVA	CARACTERÍSTIQUES I EVOLUCIONS	CARACTERÍSTIQUES PROGRAMA CNC	RESULTAT OBTINGUT
<p>PROVA-1</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Definició del perfil bàsic de la pròtesi. 	<ul style="list-style-type: none"> - Velocitat d'avanç segons indicacions de l'IGF: F=0,18 mm/rev - Profunditat de passada inferior a l'establerta per l'IGF; sinó la peça trenca: D=4mm→0,2mm - Les velocitats de tall les estableix l'IGF en funció de l'operació a realitzar i l'eina utilitzada. Oscil·la entre 1800 i 4200 rpm en funció del cas. 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Les marques de passada de l'eina són visibles. 2) No s'obté un angle recte a la peça corresponent al semilunar. *Cal millorar l'acabat.
<p>PROVA-2</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Definició del perfil bàsic de la pròtesi. - Es millora l'acabat de la peça. - Es prova d'obtenir l'angle recte de la peça del semilunar tot utilitzant l'eina de segat enlloc de la d'acabat d'esquerres. 	<ul style="list-style-type: none"> - Velocitat d'avanç inferior per millorar l'acabat: F=0,18→0,1mm/rev - Profunditat de passada inferior per millorar l'acabat i obtenir els angles rectes: D=0,2mm→0,1mm 	<ol style="list-style-type: none"> 1) S'obté un acabat fi i bo. 2) La utilització de l'eina de segat per obtenir l'angle recte no és viable ja que deixa una zona molt deteriorada i amb un acabat superficial molt dolent.

<p>PROVA-3</p> 	<p>- Realització de les rosques.</p>	<p>- Pas de rosca de: 1,25 mm</p>	<p>1) L'angle entre la part cònica i cilíndrica de la peça del semilunar segueix sense ser recte. 2) La rosca de la peça cilíndrica és correcta, però la cònica no queda prou profunda degut al fimbrament de la peça. Causa: - Geometria de la peça; és recomanable fer les peces per separat. - Limitacions de l'eina. - Cal augmentar la velocitat de tall.</p>
<p>PROVA-4</p> 	<p>- Es realitzen dues ranures (una per peça) sense ser helicoidals. - Realització d'una tercera ranura per separar les dues peces i comprovar la resistència del conjunt. - És imprescindible fer les rosques abans de les ranures.</p>	<p>- Profunditat de les ranures de: 0,75 mm *El diàmetre més petit de la peça és de 4,5 mm.</p>	<p>1) L'amplada de les ranures és excessiva (3 mm) degut a les característiques de l'eina. 2) Cal distribuir les ranures uniformement. 3) Cal millorar la rosca de la peça corresponent al semilunar (cònica).</p>
<p>PROVA-5</p> 	<p>- S'utilitzen les eines d'acabat per fer les ranures, per tal d'obtenir més d'una ranura per peça i amb gruixos inferiors. - Realització d'una ranura per separar les dues parts.</p>	<p>- Es mantenen les característiques anteriors, només es canvia l'eina de ranurat per les d'acabat corresponents.</p>	<p>1) S'obtenen algunes ranures força estretes. 2) S'utilitza l'eina d'acabat a dretes o esquerres en funció de la peça per tal de millorar la unió amb l'elastòmer (la cara plana aguantarà millor que la inclinada l'intent de separació de la silicona). 3) No s'aconsegueix fer la rosca cònica a causa de les fortes vibracions. 4) Les peces es trenquen al fer l'última ranura.</p>
<p>PROVA-7</p> 	<p>- Intent de realitzar dues ranures per peça sense que es trenqui el conjunt. - No es fan les rosques.</p>	<p>- Velocitat d'avanç molt petita pel ranurat: (F=0,1→0,025mm/rev)</p>	<p>1) Gruix d'una de les ranures irregular degut a l'error comès pel torn. Cal tornar a calibrar l'eina. 2) Marques de passada de l'eina a causa del fimbrament.</p>

<p>PROVA-8</p> 	<p>- Conjunt de peces amb les rosques i les ranures.</p>	<p>- Es mantenen les característiques anteriors.</p>	<p>1) La peça no es trenca. 2) La rosca cònica no queda prou marcada. 3) Queden moltes rebaves a les ranures. 4) El torn no permet fer ranures helicoidals en un espai tan petit. 4) El resultat obtingut és prou bo tractant-se de PVC. Cal provar-ho amb acer.</p>
---	--	--	--

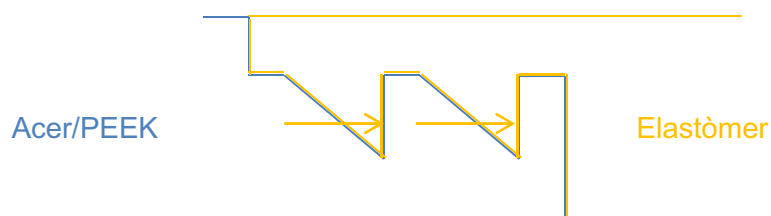
Taula 4 Evolució de les peces conjuntes de PVC a escala 3:1 fabricades amb el torn Okuma

De les peces obtingudes es pot concloure que la prova 8 ha estat la més satisfactòria. Les característiques d'aquesta prova són les següents:

- Escala: 3:1
- Material: PVC
- Dimensions del brut de partida: 120 mm x Ø20mm
- Temps de mecanitzat: 8 minuts i 44 segons

Com a conclusions cal destacar:

- Els resultats obtinguts amb PVC són força bons, però cal **començar a treballar amb acer** per tal d'obtenir millors acabats superficials i dimensionals, així com diàmetres més petits.
- **Imprescindible fer les rosques abans de les ranures** per evitar els trencaments de la peça per les parts més primes i dèbils.
- Les **limitacions de les eines** condicionen les característiques de les ranures que hauran de tenir perfils triangulars. Cal recórrer a altres catàlegs d'eines com ara els de Mitsubishi.
- Cal disposar la part plana de la ranura oposada a la part d'elastòmer per millorar la unió dels dos materials. El pla inclinat podria propiciar la separació de les diferents parts de la pròtesi.



- Les **limitacions del torn impedeixen fer les ranures helicoidals**, ja que es requereixen uns marges excessius abans i després de la ranura, que allargarien excessivament aquestes parts de la peça.

3.3.2 Peces a escala 2:1

3.3.2.1 Conjunt de peces complet amb PVC

Es tracta d'una reproducció idèntica de la geometria anterior, però canviant l'escala 3:1 a 2:1. Els resultats obtinguts són satisfactoris i esperançadors, tot i que com es pot apreciar a la *Figura 1* la rosca cònica és molt dolenta, així com algunes de les ranures, en especial la realitzada amb l'eina de ranurat que amb prou feines queda marcada.



Figura 1 Conjunt complet de peces fabricat amb PVC i a escala 2:1 amb el torn Okuma

3.3.2.2 Conjunt de peces complet amb acer

S'ha realitzat la mateixa prova que en el cas homòleg amb PVC però en aquesta ocasió utilitzant acer. Així doncs, s'obté una millora significativa de la rosca cònica, però en canvi les ranures resulten excessivament amples, fet que comporta un gruix massa petit de les parets superiors de les ranures, les quals podrien malmetre l'elastòmer amb molta facilitat.

Cal destacar que s'ha hagut d'augmentar la velocitat de tall i reduir l'avanç i la profunditat de passada ja que sinó la peça es trencava per la secció més petita. D'altra banda, el segat de les peces s'ha de realitzar amb més rapidesa, ja que sinó les altes temperatures que adquireix l'acer a causa de la fricció amb l'eina l'arriben a cremar. També cal remarcar que el forat interior encara no s'ha realitzat. El resultat obtingut es mostra a la *Figura 2*.



Figura 2 Conjunt complet de peces fabricat amb acer i a escala 2:1 amb el torn Okuma

Les característiques tècniques de la prova són les següents:


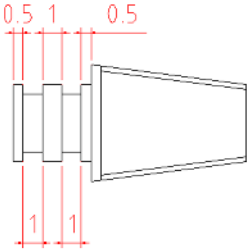

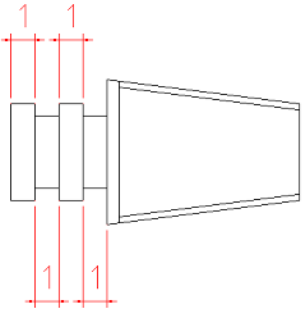
- Escala: 2:1
- Material: acer
- Dimensions del brut de partida: 90 mm x Ø12mm
- Temps de mecanitzat: 15 minuts i 48 segons


Les conclusions extretes de la darrera prova condueixen a la desestimació de la fabricació de les peces integrades en un sol conjunt, ja que ni la rosca ni els acabats són prou bons degut a les vibracions que es produeixen. Així mateix, és recomanable reduir al màxim la

longitud del brut per tal d'evitar flexions innecessàries del material i també per minimitzar el desgast de les eines, que com l'error, augmenta de forma exponencial a causa de les vibracions. D'aquesta manera la següent fase d'execució serà fabricar les peces individualment, amb acer i a escala 2:1.

3.3.2.3 Peça semilunar

Seguint les conclusions anteriors, es procedeix a fabricar la peça del semilunar individualment. Els resultats més representatius i les evolucions realitzades es descriuen a la Taula 5 que es mostra a continuació.

PROVA	CARACTERÍSTIQUES I EVOLUCIONS	CARACTERÍSTIQUES TÈCNIQUES	RESULTAT OBTINGUT
<p>PROVA-1</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Rosca autotarotant. - Ranures amb perfil triangular degut a les limitacions de les eines disponibles. - Ranures no helicoidals degut a les limitacions del torn. - Diàmetre interior de les ranures de 2,5 mm. - Distribució de les ranures: 	<ul style="list-style-type: none"> - Velocitat d'avanç per les ranures: F = 0,1 mm/s - Velocitat d'avanç pel desbast: F = 0,3 mm/rev - Profunditat de passada pel desbast: D = 0,5 mm - Velocitat d'avanç per l'acabat: F = 0,1 mm/rev - Profunditat de passada per l'acabat: D = 0,1 mm - Dimensions del brut: 80 mm x Ø12mm - Temps de mecanitzat: 2 minuts i 18 segons - Acer trempat. 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Resultats molt satisfactoris. 2) Caldria aconseguir una rosca més profunda. Per tant, seria bo utilitzar eines més escaients i passades d'acabat més petites per evitar el fibrament. 3) Ranures molt bones, però cal replantejar la situació de la cara plana.
<p>PROVA-2</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Diàmetre interior de les ranures de només 2mm. - Distribució de les ranures:  <ul style="list-style-type: none"> - La resta de característiques són iguals que les anteriors. 	<ul style="list-style-type: none"> - Es mantenen les característiques de mecanitzat anteriors. - Dimensions del brut: 80 mm x Ø12mm - Temps de mecanitzat: 2 minuts i 18 segons - Acer no trempat (molt més tou). 	<ol style="list-style-type: none"> 1) S'obté un bon acabat, tot i que amb alguna rebava. 2) L'aresta entre les ranures és massa prima i podria malmetre l'elastòmer amb facilitat. És recomanable utilitzar eines de ranurat més petites, o fer les ranures menys profundes. 3) S'han hagut de realitzar molts intents fins aconseguir fabricar la peça, ja que el material utilitzat és molt tou i es trenca amb més facilitat.

<p>PROVA-3</p> 	<p>- Repetició de la prova 2 però amb les ranures menys profundes i amb acer trempat.</p>	<p>- Es mantenen les característiques de mecanitzat anteriors. - Dimensions del brut: 80 mm x Ø12mm - Temps de mecanitzat: 2 minuts i 18 segons - Acer trempat. - Velocitat de tall més gran (5400 rpm).</p>	<p>1) Rosca poc definida. 2) Ranures ben definides però es podrien fer una mica més profundes.</p>
---	---	--	---

Taula 5 Evolució de les peces del semilunar fabricades amb acer i escala 3:1 amb el torn Okuma

Per últim, cal realitzar el forat interior de 2 mil·límetres de diàmetre. Per fer-ho s'ha utilitzat el torn manual del taller com es mostra a la *Figura 3* i s'han obtingut uns resultats bastant bons.



Figura 3 Procés de trepanat d'una peça

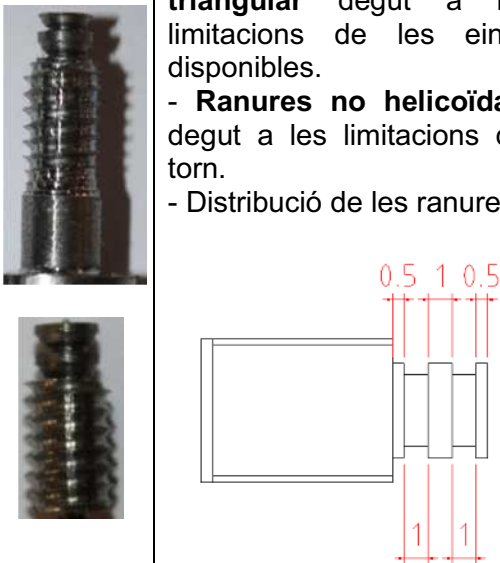
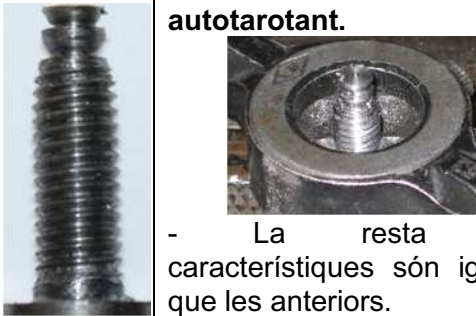
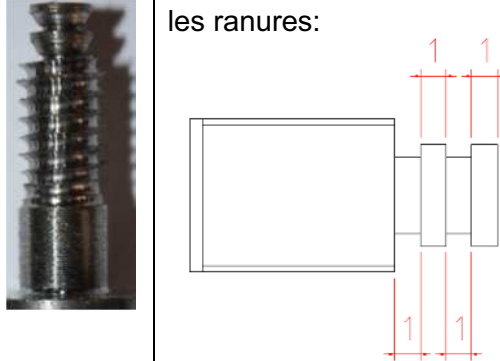
A la *Figura 4* es mostren dues de les peces del semilunar perforades.



Figura 4 Peces del semilunar perforades

3.3.2.4 Peça escafoide

Com en el cas de la peça que s'ubicarà a l'os semilunar, es procedeix a fabricar la peça corresponent a l'escafoide també de forma individual. Els resultats obtinguts es resumeixen a la Taula 6.

PROVA	CARACTERÍSTIQUES I EVOLUCIONS	CARACTERÍSTIQUES TÈCNIQUES	RESULTAT OBTINGUT
<p>PROVA-1</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Rosca autotarotant. - Ranures amb perfil triangular degut a les limitacions de les eines disponibles. - Ranures no helicoidals degut a les limitacions del torn. - Distribució de les ranures: 	<ul style="list-style-type: none"> - Velocitat d'avanç per les ranures: F = 0,1 mm/s - Velocitat d'avanç pel desbast: F = 0,3 mm/rev - Profunditat de passada pel desbast: D = 0,5 mm - Velocitat d'avanç per l'acabat: F = 0,1 mm/rev - Profunditat de passada per l'acabat: D = 0,1 mm - Dimensions del brut: 80 mm x Ø12mm - Temps de mecanitzat: 1 minut i 59 segons 	<ol style="list-style-type: none"> 1) La paret de la ranura més llunyana a la rosca és molt petita i podria malmetre l'elastòmer. 2) Rosca autotarotant amb un pas de rosca de 1,25 mm. Encara es produeixen vibracions; cal augmentar la velocitat de tall i utilitzar eines més apropiades. 3) Les dimensions de la peça obliguen a utilitzar les eines d'acabat oposades a les desitjades per la realització de les ranures, per tal d'evitar col·lisions.
<p>PROVA-2</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Rosca feta a mà i no autotarotant. - La resta de característiques són iguals que les anteriors. 	<ul style="list-style-type: none"> - Es mantenen les característiques de mecanitzat anteriors. - Dimensions del brut: 80 mm x Ø12mm - Temps de mecanitzat: 33 segons (torn) - Més 3 minuts per fer la rosca 	<ol style="list-style-type: none"> 1) S'obté un bon acabat. 2) La rosca manual és correcta però no té la propietat autotarotant.
<p>PROVA-3</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Repetició de la prova 1 amb la nova distribució de les ranures: 	<ul style="list-style-type: none"> - Es mantenen les característiques de mecanitzat anteriors excepte la profunditat de passada pel desbast: D = 1 mm - Dimensions del brut: 80 mm x Ø12mm - Temps de mecanitzat: 1 minut i 7 segons - Velocitat de tall de 5400 rpm. 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Rosca més ben definida. 2) Ranures més ben distribuïdes. 3) Seria bo fer la ranura més propera a l'extrem amb l'eina d'acabat d'esquerres per tal d'obtenir una disposició de la cara plana seguint les indicacions descrites amb anterioritat.

Taula 6 Evolució de les peces de l'escafoide fabricades amb acer i escala 3:1 amb el torn Okuma

Com en el cas de les peces del semilunar cal realitzar el forat interior de 2 mil·límetres de diàmetre a les peces. Per fer-ho s'ha utilitzat el torn manual del taller i els resultats obtinguts també han estat bons. A la *Figura 5* es mostren dues de les peces perforades.



Figura 5 Peces de l'escafoide foradades

3.3.2.5 Resum dels temps d'operació per la fabricació de les peces

Per tal d'ajudar a entendre els temps aproximats de procés requerit per fer una sola peça a escala 2:1 s'han analitzat els següents aspectes:

- Temps de preparació del programa: 10 minuts
- Temps de preparació de la màquina (col·locació de les mordasses i cal·libració de les eines): 15 minuts
- Temps de preparació entre peces (estacament i definició del zero peça): 2 minuts i 30 segons
- Temps aproximat de mecanitzat: 2 minuts i 30 segons
- Temps de segat manual: 30 segons
- Temps de realització del forat interior (estacament, col·locació de les eines i trepanat): 5 minuts
- Temps de segat final (estacament inclòs): 1 minut i 30 segons

Així doncs, s'obté un temps total de 37 minuts per la realització d'una sola peça. Evidentment, aquest temps es veuria reduït de forma notable (fins a només 12 o 10 minuts) en el cas d'una segona peça o successives, ja que s'amortitzaria el temps de preparació de la maquinària.

3.3.3 Peces a escala real

Per últim, s'ha intentat fabricar la peça a escala real, però els resultat obtinguts han estat decebedors. Com es pot apreciar a la *Figura 6*, amb les eines disponibles amb prou feines es pot obtenir una geometria que es pugui aproximar a la dissenyada. No obstant, s'arriba a obtenir un diàmetre de només 1,2 mm, el qual podria arribar a ser encara més petit si s'utilitzessin materials més resistents.

Així doncs, amb les eines adequades, materials més resistents, velocitats de tall elevades i velocitats d'avanç i passades més petites és probable que es pugui arribar a fabricar la pròtesi a escala real amb el mateix torn Okuma. No obstant, aquesta fase de la fabricació no s'ha inclòs al present projecte.



Figura 6 Resultat obtingut de l'intent de fabricació de la peça a escala real

4 FABRICACIÓ DEL MOTLLE

Es fabricarà un conjunt de motlles adequats a les peces a escala 2:1, ja que és l'escala més propera a la real amb la qual s'ha aconseguit fabricar amb satisfacció.

Per la construcció del motlle s'ha utilitzat el torn manual Pinacho. Els requeriments de funcionalitat del motlle, que haurà de suportar temperatures de fins a 180°C, n'exigeixen la fabricació amb acer ja que el PVC no seria útil. D'altra banda, la simplicitat de la geometria facilita la fabricació, que té com a principal inconvenient aconseguir una unió sense joc ni serratge, o en tot cas amb poc joc, entre les dues parts.

Per la construcció del motlle s'utilitza tub d'acer de 12 mil·límetres de diàmetre. D'altra banda, la mecanització es centra en el trepanat interior dels forats amb els diàmetres corresponents per cada tram, el mandrinat i el cilindrat per obtenir un bon encaixament. A la *Figura 7* es mostren les dues parts d'un dels motlles fabricats.



Figura 7 Parts del motlle

5 MUNTATGE FINAL DE LA PRÒTESI

Per obtenir el prototip final de la pròtesi a escala 2:1 (escala utilitzada per la fabricació final de les peces i el motlle) cal unir les dues peces amb l'elastòmer. Per aconseguir-ho s'utilitzarà el motlle que s'encarregarà de donar forma a l'elastòmer i de permetre'n la unió de les peces metàl·liques.

Pel que fa a l'elastòmer s'utilitza una silicona biocompatible (*Figura 8*) ja utilitzada en altres aplicacions biomèdiques del GREP. Tot i que el prototip final no serà biocompatible pel fet de no utilitzar materials metàl·lics d'aquestes característiques, i per la utilització de processos de fabricació que també contaminen els materials, les proves amb aquesta silicona permetran determinar-ne la viabilitat per un prototip real implantable.



Figura 8 Silicona biocompatible utilitzada

Les característiques principals d'aquesta silicona són les següents:

- Silicona líquida *platinum* (LSR)
- Aprovada per la ISO 9001:2000, FDA
- Mòdul de Young: **E = 4,34 MPa**
- Duresa: **Shore A = 60**
- Tensió crítica: $P = E * 5/6 = 3,61 \text{ MPa}$
- Temperatura de curació: **T = 170°C** (durant 5 minuts)
- Baix cost

D'altra banda, per preparar la silicona són necessaris els següents materials:

- Balança
- 2 Espàtules
- Guants de laboratori
- Vas de precipitats
- Manyoples
- Forn

Pel que fa al procediment a seguir per la preparació és el següent:

- 1) Posar una quantitat determinada de la silicona A (uns 100 mg) dins d'un vas de precipitats mitjançant una espàtula. Pesar la quantitat de silicona amb la balança, tot descomptant el pes del vas de precipitats.
- 2) Introduir una quantitat idèntica de la silicona B al mateix vas de precipitats amb una espàtula diferent a l'anterior per tal d'evitar una reacció química als pots originals.
- 3) Mesclar les dues parts A i B de la silicona LSR en quantitats exactament iguals dins del vas de precipitats fins a obtenir una pasta consistent i uniforme.
- 4) Evocar la mescla al motlle escaient i tapar-lo.
- 5) Escalfar la silicona fins a 170°C i mantenir-la a aquesta temperatura durant 5 minuts.
- 6) Un cop passats els 5 minuts cal submergir el conjunt en aigua a temperatura ambient durant 3 minuts.
- 7) Desemmotllar la silicona.

Així doncs, un cop es disposa de les peces, el motlle i la silicona preparada (un cop mesclades les parts A i B però abans d'escalfar-la) es procedeix a la construcció final de la pròtesi. El procediment a seguir per obtenir el prototip és el següent:

- 1) Introduir la peça corresponent a l'os semilunar (cònica) a l'interior de la part llarga del motlle fins que la part roscada toqui el fons. La banda de ranures ha de quedar a la part interior del motlle cilíndric ja que és per on s'enganxarà la silicona.
- 2) Introduir la peça corresponent a l'os escafoide (cilíndrica) a l'interior de la part curta del motlle fins arribar a l'extrem del forat. Com en el cas anterior, cal que el tram ranurat s'orienti cap a la unió dels dos motlles per permetre la fixació de la silicona.
- 3) Omplir completament la part allargada del motlle amb la silicona mitjançant una espàtula.
- 4) Encaixar les dues parts del motlle.
- 5) Introduir un filferro de 2 mil·límetres de diàmetre fins que sobresurti pels dos extrems del motlle. Aquest element servirà per crear el forat cilíndric interior.
A la *Figura 9* es mostra la disposició final del motlle un cop introduïdes les peces, la silicona i el filferro interior.



Figura 9 Muntatge final del motlle

- 6) Posar el conjunt a dins d'un forn a una temperatura d'uns 170°C durant 15 minuts (cal tenir present que la silicona tarda uns minuts abans no arriba a aquesta temperatura, ja que prèviament és necessària la transferència de calor del motlle).
- 7) Treure el motlle del forn i submergir-lo en aigua a temperatura ambient durant 3 minuts.

- 8) Iniciar el procés de desemmotllament de la peça:
- Retirar la part curta del motlle amb l'ajuda d'un punxó de 2,5 mil·límetres de diàmetre que es podrà introduir pels orificis extrems del motlle (*Figura 10*).

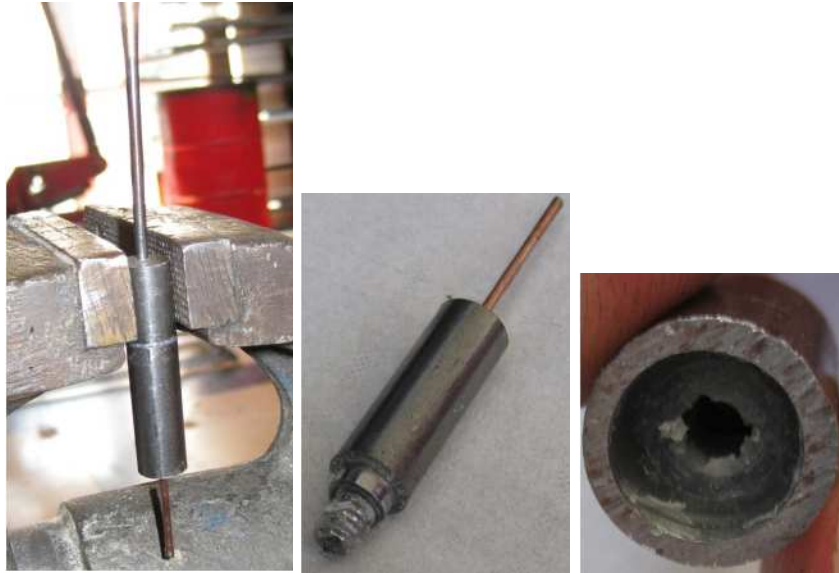


Figura 10 Extracció de la part curta del motlle

- Retirar la part allargada del motlle seguint el mateix procediment que en el cas anterior (*Figura 11*).



Figura 11 Extracció de la part llarga del motlle

- c. Treure el filferro interior. En cas que la silicona quedi excessivament enganxada al filferro es retirarà el filferro abans de treure la peça allargada. A la *Figura 12* es mostra una de les temptatives fracassades durant l'enretirada del filferro.



Figura 12 Resultat final d'una de les pròtesis desemmotllada

S'han realitzat un total de tres proves de pròtesi a escala 2:1 amb silicona, fetes amb acer no biocompatible. El rang de temperatures a què han estat sotmeses les tres proves es resumeixen a la *Taula 7*.

Temps (minuts)	Temperatura del forn (°C)		
	PROVA-1	PROVA-2	PROVA-3
0	155	175	150
1	160	172	153
2	168	170	156
3	172	171	161
4	174	173	165
5	175	175	169
6	175	174	171
7	176	171	174
8	175	168	176
9	174	168	174
10	175	169	171
11	174	171	168
12	172	172	165
13	168	-	164
14	162	-	165
15	156	-	166

Taula 7 Rangs de temperatures del procés de curació de les tres proves

Els resultats de les proves realitzades es mostra a la *Figura 13*. Com es pot apreciar, per obtenir uns bons resultats és recomanable mantenir una temperatura relativament estable un cop assolits els 175°C del forn, ja que d'aquesta manera la silicona assoleix una forma més estable. En el cas de la prova 3 la temperatura va ser excessivament irregular i no es van assolir els 175°C en cap instant, fet que va comportar una curació inacabada de la silicona, que s'acabaria trencant amb més facilitat que pels altres dos casos.

D'altra banda, és imprescindible refrigerar el motlle amb aigua a temperatura ambient immediatament després de treure la peça del forn. No obstant, és recomanable deixar que el motlle i la silicona es refredin progressivament a dins el forn durant uns tres minuts, ja que sinó la silicona és susceptible d'enganxar-se al motlle amb més facilitat, com és el cas de la prova 2.



Figura 13 Resultats de les proves 1, 2 i 3 realitzades respectivament

Tot i que no s'ha realitzat un nombre significatiu de proves, es pot concloure que els resultats obtinguts no són els esperats, ja que en tots els casos es produeixen trencaments de la silicona en alguna de les unions amb les peces metàl·liques. Aquest fet és degut principalment al procés de desemmotllament per la força que cal aplicar amb el punxó, i no tant al procés de curació argumentat anteriorment. Per tal de solucionar el problema hi ha dues opcions principals:

- 1) Caldria fer un **forat interior del motlle més gran** que permeti l'entrada i sortida de les peces metàl·liques d'una forma més suau, amb menys fricció entre les rosques autotarotants i les parets del motlle. Aquesta modificació mantindria intacte els perfils de les rosques. No obstant, el diàmetre de la silicona seria més gran i podria suposar un inconvenient.
- 2) Realitzar un **tall longitudinal al motlle** que permeti desemmotllar la peça amb la simple obertura del motlle. Per fer-ho s'haurien d'utilitzar un conjunt de pinces que mantingués totes les parts del motlle unides durant el procés de curació de la silicona. En aquest cas, si la silicona s'adhereix amb molta força a les parets del motlle es podria perdre la consistència de la part tubular de la peça.

6 CONCLUSIONS

Un cop finalitzat el procediment experimental d'aquest projecte es poden extreure les primeres conclusions referents a la fabricació de la pròtesi a escala ampliada i amb acer no biocompatible.

D'una banda, és evident la necessitat de seguir treballant amb la fabricació de les peces metàl·liques amb la utilització de les eines adequades que permetin assolir la geometria requerida, especialment les rosques i les ranures. A més, s'hauran d'obtenir bons acabats, imprescindibles per la funció que ha de desenvolupar la pròtesi, minimitzant per tant els efectes vibratoris durant el mecanitzat. Per aconseguir-ho caldrà provar la fabricació mitjançant les eines del catàleg Mitsubishi, les quals són molt més apropiades pel treball que s'està realitzant. Amb la mateixa tipologia d'eines, i ajustades a l'escala real, caldria intentar fabricar la pròtesi real per veure si el torn Okuma del taller és capaç d'assolir els requeriments establerts per la construcció del prototip. En cas que no fos possible s'hauria d'externalitzar la fabricació final del prototip a tallers especialitzats per peces petites i d'aquestes característiques.

Pel que fa a la part de silicona de la pròtesi no s'han obtingut uns resultat suficientment bons. Aquesta circumstància és deguda principalment a la manca de proves i d'exactitud del rang de temperatures del procés de curació de la silicona, i en especial a un disseny inapropiat del motlle. Així doncs, es fa evident la necessitat de replantejar el motlle, el qual hauria de permetre un desemmotllament més fàcil i còmode de la pròtesi. L'opció més adequada seria la partició longitudinal del motlle per tal de facilitar l'obertura del mateix i l'extracció de la pròtesi, sense haver d'aplicar unes forces excessives que en malmeten la part de silicona i el perfil de la rosca.

Finalment, si la fabricació fos factible es podria procedir a la utilització del material biocompatible adequat (titani Ti-6Al-4V) i amb instal·lacions preparades i compatibles amb la fabricació de pròtesis mèdiques implantables. Aquest darrer pas sempre estaria subjecte a l'aprovació final del disseny per un equip mèdic i tècnic especialitzat.

Olot, 8 de juny de 2012

Francesc Soy i Viñas

ANNEX. PROGRAMES CNC TORN ALECOP

A continuació es mostren els programes de control numèric utilitzats per la fabricació de les peces a escala 5:1, així com les principals modificacions incorporades al llarg de l'evolució del procés.

Programa-1: peça semilunar escala 5:1

```
N10 G90 G0 G96 X32 Z0.1 S120 T1 D1 M3 M41
N20 G1 X-0.8 F0.05
N30 G0 X30.5 Z1 F0.065
N40 G68 X11 Z0 C1.25 D0.2 L0.1 M0 S80 E120
N50 G0 X35 Z10
N60 X0 Z2 T3 D3
N70 G1 G5 G42 Z0 F0.04 S150
N80 X11 Z0
N90 X16 Z-20
N100 X10 Z-30
N110 X10 Z-50
N120 X30 Z-50
N130 G0 X35 Z10
N140 X0 Z2 T2 D2
N150 G0 X30.5 Z1 F0.065
N160 G68 X16 Z-20 C1.25 D0.2 L0.1 M0 S200 E310
N170 G0 X35 Z10
N180 X0 Z2 T2 D2
N190 G1 G5 G41 Z0 F0.04 S150
N200 X16 Z-20
N210 X10 Z-20
N220 X10 Z-22
```

N230 X7.5 Z-22

N240 X7.5 Z-24

N250 X10 Z-26

N260 X7.5 Z-26

N270 X10 Z-28

N280 X10 Z-30

N290 X7.5 Z-30

N300 X7.5 Z-32

N310 X30 Z-32

N320 G0 X35 Z-20

N330 G0 X35 Z10

N340 X0 Z2 T6 D6

N350 G86 X11 Z0 Q16 R-20 I1 B0.2 D0.5 L0.2 C1.25

N360 G0 G7 G40 X35 Z10

N370 M30

Programa-2

És igual que el programa-1, però amb les següents modificacions remarcades amb color verd:

Línies de la N10 a la N130 iguals

N140 X30 Z30 T2 D2 → *S'augmenta la distància de seguretat pel retorn de l'eina*

N150 G0 X30.5 Z1 F0.065

N160 G68 X16 Z-20 C0.625 D0.4 L0.1 M0 S200 E250 → *Es redueix el pas de mecanitzat per fer un desbast més suau i progressiu, i s'incrementa la distància de seguretat*

N170 G0 X35 Z30 → *S'augmenta la distància de seguretat pel retorn de l'eina*

N180 X30 Z30 T2 D2 → *S'augmenta la distància de seguretat pel retorn de l'eina*

N190 G1 G5 G41 F0.04 S150

N200 X16 Z-20 → *Inici de les línies de programa diferents respecte el programa-1*

N210 X10 Z-20

N220 X10 Z-32

N230 X7.5 Z-32

N240 X7.5 Z-34

N250 X30 Z-34

N260 G0 X35 Z10

N270 X30 Z30 T4 D4 → *Utilització de l'eina de ranurat*

N280 G0 X30.5 Z1 F0.04

N290 G0 X30.5 Z-20

N300 G88 X10 Z-22 Q7.5 R-24 D0.2 → *Cicle fix de ranurat*

N310 G88 X10 Z-26 Q7.5 R-28 D0.2 → *Cicle fix de ranurat*

N320 G0 X35 Z-20

N330 G0 X35 Z10 → *Fi de les línies de programa diferents respecte el programa-1*

N340 X30 Z30 T6 D6 → *S'augmenta la distància de seguretat pel retorn de l'eina*

N350 G86 X11 Z0 Q16 R-15 I1 B0.2 D0.5 L0.2 C1.25 → *Es redefineix el punt final de la rosca en l'eix Z*

N360 G0 G7 G40 X35 Z10

N370 M30

Programa-3

És igual que el programa-2, però amb les següents modificacions indicades amb color verd:

Línies de la N10 a la N290 iguals

N300 G86 X10 Z-23 Q10 R-31 I1.25 B0.4 D0.5 L0.2 C4 → *Es defineix una profunditat de la rosca de 1,25 mm i una profunditat de passada de 0,4 mm*

N310 G0 X35 Z-20

N320 G0 X35 Z10

N330 G97 Z30 S250 T7 D7 → *Es defineix la velocitat de gir del capçal en 250 rpm (G97) enlloc d'utilitzar la velocitat de tall constant (G96)*

N340 G86 X11 Z0 Q16 R-20 I1 B0.2 D0.5 L0.2 C1.25

N350 G0 G7 G40 X35 Z10

N360 M30

Programa-4

És igual que el programa-3, però amb les següents modificacions indicades amb color verd:

Línies de la N10 a la N290 iguals

N300 G97 Z30 S250 T7 D7 → *Es defineix la velocitat de gir del capçal en 250 rpm (G97) enlloc d'utilitzar la velocitat de tall constant (G96)*

N310 G86 X10 Z-23 Q10 R-31 I1.25 B0.4 D0.5 L0.2 C4

N320 G0 X35 Z-20

N330 G0 X35 Z10

N340 G86 X11 Z0 Q16 R-20 I1 B0.2 D0.5 L0.2 C1.25

N350 G0 G7 G40 X35 Z10

N360 M30

Programa-5: peça escafoide escala 5:1

N10 G90 G0 G96 X32 Z0.1 S120 T1 D1 M3 M41

N20 G1 X-0.8 F0.05

N30 G0 X30.5 Z1 F0.065

N40 G68 X11 Z0 C1.25 D0.2 L0.1 M0 S80 E130

N50 G0 X35 Z10

N60 X0 Z2 T3 D3

N70 G1 G5 G42 Z0 F0.04 S150

N80 X10 Z0

N90 X10 Z-10

N100 X16 Z-10

N110 X16 Z-30

N120 X15 Z-40

N130 X30 Z-40

N140 G0 X35 Z20

N150 X30 Z30 T4 D4

N160 G0 X30.5 Z1 F0.04

N170 G88 X16 Z-30 Q14 R-32 D0.2

N180 G0 X30 Z0

N190 G97 S250

N200 G86 X10 Z-1 Q10 R-7 I0.75 B0.1 D0.5 L0.2 C3

N210 G0 X30 Z30

N220 X30 Z30 T7 D7

N230 G86 X16 Z-10 Q16 R-30 I1 B0.2 D0.5 L0.2 C1.25

N240 G0 G7 G40 X35 Z10

N250 M30

Programa-6

És una variant del programa 5; les modificacions realitzades s'indiquen amb color verd:

N10 G90 G0 G96 X32 Z0.1 S120 T1 D1 M3 M41

N20 G1 X-0.8 F0.05

N30 G0 X30.5 Z1 F0.065

N40 G68 X11 Z0 C1.25 D0.2 L0.1 M0 S80 E130

N50 G0 X35 Z10

N60 X0 Z2 T3 D3

N70 G1 G5 G42 Z0 F0.04 S150

N80 X10 Z0

N90 X10 Z-10

N100 X16 Z-10

N110 X21 Z-30 → *Línea modificada respecte el programa 5 per obtenir el perfil cònic*

N120 X20 Z-40 → *Línea modificada respecte el programa 5 per obtenir el perfil cònic *

N130 X30 Z-40

N140 G0 X35 Z20

N150 X30 Z30 T4 D4

N160 G0 X30.5 Z1 F0.04

N170 G88 X21 Z-30 Q19 R-32 D0.2 → *Es redueix la profunditat de la ranura*

N180 G0 X30 Z0

N190 G97 S250

N200 G86 X10 Z1 Q10 R-7 I0.8 B0.1 D0.5 L0.2 C4 → *Pas d'hèlix adequat*

N210 G0 X30 Z30

N220 X30 Z30 T7 D7

N230 G86 X16 Z-10 Q21 R-30 I1 B0.2 D0.5 L0.2 C1.25

N240 G0 G7 G40 X35 Z10

N250 M30

Programa-7: conjunt de peces complet amb escala 5:1

La peça de l'escafoide és cilíndrica.

N10 G90 G0 G96 X32 Z0.1 S120 T1 D1 M3 M41

N20 G1 X-0.8 F0.05

N30 G0 X30.5 Z1 F0.065

N40 G68 X11 Z0 C1.25 D0.2 L0.1 M0 S80 E150

N50 G0 X35 Z10

N60 X0 Z2 T3 D3

N70 G1 G5 G42 Z0 F0.04 S150

N80 X11 Z0

N90 X16 Z-20

N100 X10 Z-30

N110 X10 Z-40

N120 X16 Z-40

N130 X16 Z-60

N140 X15 Z-63

N150 X30 Z-63

N160 G0 X35 Z20

N170 X30 Z30 T2 D2

N180 G0 X30.5 Z1 F0.065

N190 G68 X16 Z-20 C0.625 D0.4 L0.1 M0 S230 E250

N200 G0 X35 Z10

N210 X30 Z30 T2 D2

N220 G1 G5 G41 F0.04 S150

N230 X16 Z-20

N240 X10 Z-20

N250 X10 Z-30

N260 G0 X35 Z-20

N270 G0 X35 Z20

N280 G97 Z30 S250 T7 D7

N290 G86 X11 Z0 Q16 R-20 I1 B0.2 D0.5 L0.2 C1.25

N300 G0 X35 Z-40

N310 G86 X16 Z-40 Q16 R-60 I1.25 B0.2 D0.5 L0.2 C1.25

N320 G0 X30 Z30

N330 X30 Z30 T4 D4

N340 G0 X30.5 Z1 F0.04

N350 G0 X30.5 Z-20

N360 G86 X10 Z-22.5 Q10 R-37.5 I0.75 B0.15 D0.5 L0.2 C4

N370 G0 X35 Z-30

N380 G0 G7 G40 X35 Z10

N390 M30

Programa-8: conjunt de peces complet amb escala 5:1

La peça de l'escafoide és cònica.

N10 G90 G0 G96 X32 Z0.1 S120 T1 D1 M3 M41

N20 G1 X-0.8 F0.05

N30 G0 X30.5 Z1 F0.065

N40 G68 X11 Z0 C1.25 D0.2 L0.1 M0 S80 E150

N50 G0 X35 Z10

N60 X0 Z2 T3 D3

N70 G1 G5 G42 Z0 F0.04 S150

N80 X11 Z0

N90 X16 Z-20

N100 X10 Z-30

N110 X10 Z-40

N120 X16 Z-40

N130 X21 Z-60

N140 X20 Z-63

N150 X30 Z-63

N160 G0 X35 Z20

N170 X30 Z30 T2 D2

N180 G0 X30.5 Z1 F0.065

N190 G68 X16 Z-20 C0.625 D0.4 L0.1 M0 S230 E250

N200 G0 X35 Z10

N210 X30 Z30 T2 D2

N220 G1 G5 G41 F0.04 S150

N230 X16 Z-20

N240 X10 Z-20

N250 X10 Z-30

N260 G0 X35 Z-20

N270 G0 X35 Z20

N280 G97 Z30 S250 T7 D7

N290 G86 X11 Z0 Q16 R-20 I1 B0.2 D0.5 L0.2 C1.25

N300 G0 X35 Z-40

N310 G86 X16 Z-40 Q21 R-60 I1.25 B0.2 D0.5 L0.2 C1.25

N320 G0 X30 Z30

N330 X30 Z30 T4 D4

N340 G0 X30.5 Z1 F0.04

N350 G0 X30.5 Z-20

N360 G86 X10 Z-23 Q10 R-38 I0.75 B0.15 D0.5 L0.2 C4

N370 G0 X35 Z-30

N380 G0 G7 G40 X35 Z10

N390 M30

Eines utilitzades

T1 → Eina de desbast a dretes

T2 → Eina d'acabat a esquerres

T3 → Eina d'acabat a dretes

T4 → Eina de ranurat

T7 → Eina de roscat