



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

*Redisseny, muntatge i posada
a punt d'un braç robòtic
educatiu*

MEMÒRIA PRESENTADA PER:

Daniel Cardona Chiong

TUTOR/A:

Jaime Masià Vañó

GRAU EN ENGINYERIA MECÀNICA

Convocatòria de defensa: Desembre del 2021



Resumen

El TFG consiste en el rediseño, montaje y puesta a punto de un brazo robótico de 6 grados de libertad tomando en consideración el BCN3D Moveo, un brazo robótico de código abierto impreso en 3D.

Para ello se definirán todos los componentes adicionales que sean necesarios para el correcto funcionamiento del brazo. Algunos de ellos se adquirirán, como por ejemplo motores, correas, tornillos... Mientras que otros, como la carcasa, las pinzas de sujeción, etc. se diseñarán y se fabricarán mediante impresión 3D. El rediseño del brazo consistirá en implementar el motor que permite el movimiento de rotación de la base del brazo en el interior del mismo. Una vez rediseñado y montado el prototipo, se harán todas las pruebas necesarias para verificar su correcto funcionamiento.

El TFG constará también de un estudio económico que contemple todos los costes asociados a las tareas de diseño, montaje y puesta a punto del brazo robótico.

Palabras clave

Brazo robótico BCN3D Moveo, engranaje planetario, impresión 3D, SolidWorks, Ansys



Resum

El TFG consisteix en el redisseny, muntatge i posada a punt d'un braç robòtic amb 6 graus de llibertat prenent en consideració el BCN3D Moveo, un braç robòtic de codi obert imprès en 3D.

Per a això es definiran tots els components addicionals que siguen necessaris per al funcionament correcte del braç. Alguns d'ells s'adquiriran, com per exemple motors, corretges, caragols... Altres, com ho poden ser la carcassa, les pinces de subjecció, etc. es dissenyaran i es fabricaran per mitjà d'impressió 3D. El redisseny del braç consistirà a implementar el motor que permet el moviment de rotació de la base del braç en l'interior d'aquest mateix. Una vegada redissenyat i muntat el prototip, es faran totes les proves necessàries per a verificar el seu correcte funcionament.

El TFG constarà també d'un estudi econòmic en el que es contemplen tots els costos associats a les tasques de disseny, muntatge i posada a punt del braç robòtic.

Paraules clau

Braç robòtic BCN3D Moveo, engranatge planetari, impressió 3D, SolidWorks, Ansys



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

Abstract

The Final Degree Project (FDP) deals the redesign, assembly and tuning of a 6 degrees of freedom robotic arm, taking into consideration BCN3D Moveo, an open source 3D printed robotic arm.

In order to achieve this, all additional components needed for a correct operation of the arm will be defined. Some of them will be purchased, such as motors, belts, screws... while others, such as the shell, the gripper, etc will be designed and manufactured using 3D Printing. The redesign of the arm will consist of implementing the motor that allows the rotational movement of the arm base inside it. Once the prototype has been redesigned and assembled, all the necessary tests will be carried out to verify its correct operation.

An economic study that includes all costs associated with the design, assembly and tuning of the robotic arm will also be included in the FDP.

Keywords

Robotic arm BCN3D Moveo, planetary gear, 3D Printing, SolidWorks, Ansys



Índex

1	Introducció	10
1.1	Indústria 4.0.....	10
1.2	Braç robòtic BCN3D Moveo	11
1.2.1	Aspectes generals.....	11
1.2.2	Punt de partida.....	12
1.3	Impressió 3D	19
1.4	Solidworks	20
1.5	Arduino	21
1.6	Motivació	22
2	Objectius.....	23
3	Disseny del braç robòtic	24
3.1	Elecció i adquisició de components	24
3.1.1	Motor pas a pas de la base del braç	24
3.1.2	Motors pas a pas del mòdul 2M1	25
3.1.3	Motor pas a pas del mòdul 3M1	25
3.1.4	Motor pas a pas del mòdul 3M2.....	26
3.1.5	Motor pas a pas del mòdul 4M1	27
3.1.6	Servo motor Dynamixel AX-12A (Robotis).....	27
3.2	Selecció de materials	28
3.3	Disseny de peces i impressió 3D	30
3.3.1	Base del braç	30
3.3.2	Engranatge planetari.....	31
3.3.3	Peça mòdul 2M1	46
3.3.4	Peça mòdul 3M1	46
3.3.5	Caixa reductora.....	47
3.3.6	Peça mòdul 3M2	52
3.3.7	Pinça robòtica	53
3.3.8	Components no mostrats	55



3.4	Anàlisi estàtic de l'engranatge planetari de la primera etapa.....	56
4	Muntatge del robot.....	59
4.1	Muntatge mecànic.....	59
4.2	Muntatge elèctric.....	61
5	Posada a punt	68
6	Estudi econòmic	71
6.1	Cost dels components adquirits	71
6.2	Cost del graduat en Enginyeria Mecànica.....	74
7	Conclusions	75
8	Bibliografia.....	76
9	Annexes.....	77



Llistat de figures

<i>Figura 1. Braç robòtic complet sobre base de fusta (Github BCN3D Moveo, n.d.)</i>	12
<i>Figura 2. Base del braç robòtic (esquerra) i motor extern (dreta) (Github BCN3D Moveo, n.d.)</i>	13
<i>Figura 3. Mòdul 2M1 (Github BCN3D Moveo, n.d.)</i>	14
<i>Figura 4. Mòdul 2M2 (Github BCN3D Moveo, n.d.)</i>	14
<i>Figura 5. Mòdul 3M1 (Github BCN3D Moveo, n.d.)</i>	15
<i>Figura 6. Mòdul 3M2 (Github BCN3D Moveo, n.d.)</i>	16
<i>Figura 7. Mòdul 4M1 (Github BCN3D Moveo, n.d.)</i>	17
<i>Figura 8. Mòdul 4M2 (Github BCN3D Moveo, n.d.)</i>	18
<i>Figura 9. Gripper o pinça robòtica. Vista superior (esquerra) i vista inferior (dreta) (Github BCN3D Moveo, n.d.)</i>	19
<i>Figura 10. Propietats mecàniques de l'onyx (Bárník et al., 2019)</i>	28
<i>Figura 11. Propietats mecàniques del PLA (Farah et al., 2016)</i>	29
<i>Figura 12. Base braç robòtic modificada (Elaboració pròpia)</i>	30
<i>Figura 13. Relació transmissió original (Github BCN3D Moveo, n.d.)</i>	31
<i>Figura 14. Exemple engranatge planetari amb cada part nomenada (Elaboració pròpia)</i>	33
<i>Figura 15. Disseny d'engranatge planetari en una etapa (Elaboració pròpia)</i>	34
<i>Figura 16. Disseny engranatge planetari doble etapa vista de secció (Elaboració pròpia)</i>	36
<i>Figura 17. Planeta primera etapa (Elaboració pròpia)</i>	38
<i>Figura 18. Disseny satèl·lits primera etapa (Elaboració pròpia)</i>	39
<i>Figura 19. Disseny corona primera etapa inferior (esquerra) i superior (dreta) (Elaboració pròpia)</i>	40
<i>Figura 20. Disseny planeta segona etapa (Elaboració pròpia)</i>	43
<i>Figura 21. Disseny satèl·lit segona etapa (Elaboració pròpia)</i>	44
<i>Figura 22. Disseny corona segona etapa (Elaboració pròpia)</i>	45
<i>Figura 23. Peça 2M1 modificada (Elaboració pròpia)</i>	46
<i>Figura 24. Peça 3M1 modificada (esquerra) front a peça 3M1 original (dreta) (Elaboració pròpia)</i>	47
<i>Figura 25. Disseny de la caixa reductora vist de secció (Elaboració pròpia)</i>	48
<i>Figura 26. Planeta caixa reductora (Elaboració pròpia)</i>	49
<i>Figura 27. Satèl·lits caixa reductora (Elaboració pròpia)</i>	50
<i>Figura 28. Disseny corona caixa reductora (Elaboració pròpia)</i>	51
<i>Figura 29. Disseny porta-satèl·lits caixa reductora (Elaboració pròpia)</i>	51
<i>Figura 30. Disseny de tapa de caixa reductora (Elaboració pròpia)</i>	52
<i>Figura 31. Disseny mòdul 3M2 original (esquerra) i modificat (dreta) (Elaboració pròpia)</i>	53



<i>Figura 32. Disseny placa superior pinça original (esquerra) i modificat (dreta) (Elaboració pròpia)</i>	54
<i>Figura 33. Disseny placa inferior pinça original (esquerra) i modificat (dreta) (Elaboració pròpia)</i>	54
<i>Figura 34. Disseny braç impulsor pinça original (esquerra) i modificat (dreta) (Elaboració pròpia)</i>	55
<i>Figura 35. Zona objecte d'estudi Ansys (Elaboració pròpia)</i>	56
<i>Figura 36. Mallat per a l'estudi estàtic de l'engranatge planetari primera etapa (Elaboració pròpia)</i>	57
<i>Figura 37. Tensions equivalents de Von Misses obtingudes a Ansys (Elaboració pròpia)</i>	57
<i>Figura 38. Deformacions obtingudes a Ansys (Elaboració pròpia)</i>	58
<i>Figura 39. Base braç robòtic explosionada (Elaboració pròpia)</i>	59
<i>Figura 40. Pinça robòtica explosionada (Elaboració pròpia)</i>	60
<i>Figura 41. Alimentació de 12 Vcc al Dynamixel Shield ((Dynamixel Shield, n.d.)</i>	61
<i>Figura 42. Com alimentar amb 12 Vcc al Dynamixel Shield (Dynamixel Shield, n.d.)</i>	62
<i>Figura 43. Esquema del muntatge elèctric (Ref.: elaboració pròpia)</i>	63
<i>Figura 44. Ports TTL del Dynamixel Shield (Dynamixel Shield, n.d.)</i>	64
<i>Figura 45. Ports del motor Dynamixel AX-12A (Dynamixel AX-12A, n.d.)</i>	64
<i>Figura 46. Connexions del RAMPS 1.4 amb els TB6560 de cada motor pas a pas Nema (Elaboració pròpia)</i>	65
<i>Figura 47. Connexions GND (CW- i CLK-), direcció (CW+) i step (CLK+) del RAMPS 1.4 (Elaboració pròpia)</i>	65
<i>Figura 48. Connexions GND (CW- i CLK-), direcció (CW+) i step (CLK+) del TB6560, alimentació de 24 Vcc i connexions A-, A+, B- i B+ dels motors pas a pas Nema (Elaboració pròpia)</i>	66
<i>Figura 49. Ubicació del fitxer position_mode utilitzat per provar les pinces del braç robòtic (Elaboració pròpia)</i>	69
<i>Figura 50. Modificacions fetes al fitxer position_mode utilitzat per provar les pinces del braç robòtic (referència: elaboració pròpia)</i>	69
<i>Figura 51. Opcions dels interruptors del Dynamixel Shield (Dynamixel Shield, n.d.)</i>	70



Llistat de taules

<i>Taula 1. Comparació del motor pas a pas de la base del braç robòtic (Elaboració pròpia)</i>	<i>24</i>
<i>Taula 2. Comparació dels motors pas a pas del mòdul 2M1 (Elaboració pròpia)</i>	<i>25</i>
<i>Taula 3. Comparació del motor pas a pas del mòdul 3M1 (Elaboració pròpia)</i>	<i>26</i>
<i>Taula 4. Comparació del motor pas a pas del mòdul 3M2 (Elaboració pròpia)</i>	<i>26</i>
<i>Taula 5. Característiques del motor pas a pas del mòdul 4M1 (Elaboració pròpia)</i>	<i>27</i>
<i>Taula 6. Comparació del motor de la pinça del braç robòtic (Elaboració pròpia)</i>	<i>27</i>
<i>Taula 7. Valors de disseny per al planeta primera etapa (Elaboració pròpia)</i>	<i>37</i>
<i>Taula 8. Valors de disseny per a satèl·lit primera etapa (Elaboració pròpia)</i>	<i>38</i>
<i>Taula 9. Valors de disseny corona primera etapa (Elaboració pròpia)</i>	<i>40</i>
<i>Taula 10. Valors de disseny planeta segona etapa (Elaboració pròpia)</i>	<i>42</i>
<i>Taula 11. Valors de disseny satèl·lit segona etapa (Elaboració pròpia)</i>	<i>44</i>
<i>Taula 12. Valors de disseny corona segona etapa (Elaboració pròpia)</i>	<i>45</i>
<i>Taula 13. Valors de disseny per al planeta caixa reductora (Elaboració pròpia)</i>	<i>49</i>
<i>Taula 14. Valors de disseny per a corona de caixa reductora (Elaboració pròpia)</i>	<i>50</i>
<i>Taula 15. Elements per al muntatge de la base del braç robòtic (Elaboració pròpia)</i>	<i>59</i>
<i>Taula 16. Elements per al muntatge de la pinça robòtica</i>	<i>60</i>
<i>Taula 17. Valor dels interruptors SW1, SW2, SW3 i S1 del TB6560 segons siga la intensitat de corrent de cada motor pas a pas Nema (Elaboració pròpia)</i>	<i>66</i>
<i>Taula 18. Valor dels interruptors S3 i S4 del TB6560 segons siga la resolució del pas que es vulga per cada motor pas a pas Nema (Elaboració pròpia)</i>	<i>67</i>
<i>Taula 19. Pressupost components elèctrics (Elaboració pròpia)</i>	<i>71</i>
<i>Taula 20. Pressupost elements de transmissió de par torçor (Elaboració pròpia)</i>	<i>72</i>
<i>Taula 21. Pressupost "fasteners" (Elaboració pròpia)</i>	<i>73</i>
<i>Taula 22. Pressupost del braç robòtic (Elaboració pròpia)</i>	<i>74</i>
<i>Taula 23. Pressupost associat a graduat en Enginyeria Mecànica (Elaboració pròpia)</i>	<i>74</i>



1 Introducció

1.1 Indústria 4.0

Tirant la vista enrere, fixant-se en l'evolució dels models industrials que hi ha hagut presents al llarg de la història, es poden apreciar 3 revolucions industrials. Cada una d'aquestes ve donada per una innovació que canvia completament el paradigma establert en un moment determinat en el temps, com ho pot ser la invenció de la màquina de vapor (primera revolució), l'aprofitament de l'energia elèctrica (segona) o la innovació en tecnologies de la informació i Internet (tercera).

Aquest recorregut ens du a l'època actual, on a dia d'avui estem vivint la quarta revolució industrial, que vindria a ser els canvis que ocorren al voltant del sector industrial i a l'esfera digital. La quarta revolució es du a terme a través la introducció de "Internet of Things and Internet of Services" als processos industrials. A aquesta revolució se li anomena Indústria 4.0 i és un fet que la seva aplicació està augmentant considerablement i no mostra signes de canviar en un futur proper.

La implementació de la indústria 4.0 ens condueix cap a processos de fabricació intel·ligents, màquines i logística intel·ligents, amb la possibilitat de millorar els processos de producció mitjançant l'intercanvi d'informació entre aquests. D'aquesta manera podem afirmar que la indústria 4.0 es fonamenta en la robòtica i automatització, impressió 3D, computació etc. I el que consistia en una línia de producció es transforma en un bucle tancat, ja que es proveeix d'informació completa del producte en qualsevol moment (Karabegović et al., 2020).

Al ser la robòtica un factor tan important al món industrial, es tracta del camp principal d'estudi d'aquest TFG.



1.2 Braç robòtic BCN3D Moveo

1.2.1 Aspectes generals

L'empresa BCN3D Technologies comença al 2011, com a una divisió de la Fundació CIM a la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), sent una organització sense ànim de lucre per a l'avanç de la tecnologia i líder en fabricació additiva. Amb el nom de RepRapBCN, s'especialitza en la tecnologia FFF (Fused Filament Fabrication), iniciant-se a la indústria d'impressores 3D mitjançant la venda i investigació d'aquestes entre els anys 2012 i 2014.

Al 2015 canvien el nom a BCN3D Technologies, nom que mantenen fins ara, i al 2019 s'independitzen del centre tecnològic CIM-UPC, convertint-se en una empresa independent, especialitzada en el disseny, fabricació i distribució d'impressores 3D, com ho poden ser la Sigmax o la BCN3D.

BCN3D Moveo és un braç robòtic Open Source dissenyat des de zero, desenvolupat pels enginyers de BCN3D Technologies conjuntament al Departament d'Ensenyament de la Generalitat de Catalunya. L'estructura principal d'aquest s'imprimeix en 3D i la seva tecnologia està programada mitjançant el software Arduino. Aquest naix amb la idea de ser modificable per qualsevol i reproduïble a baix cost, tenint com a públic objectiu l'alumnat (*BCN3D Moveo*, n.d.).

La Figura 1 mostra el braç robòtic integrat per una base, 6 mòduls (2M1, 2M2, 3M1, 3M2, 4M1 i 4M2) i una pinça robòtica. Presenta 6 graus de llibertat, rotacional a la base sobre el plànol xy, possibilitat de rotació als mòduls 2M2, 3M2 i 4M2 sobre el plànol zy, possibilitat de rotació sobre el plànol xz al mòdul 4M1 i moviment d'apertura i tancament de les pinces.

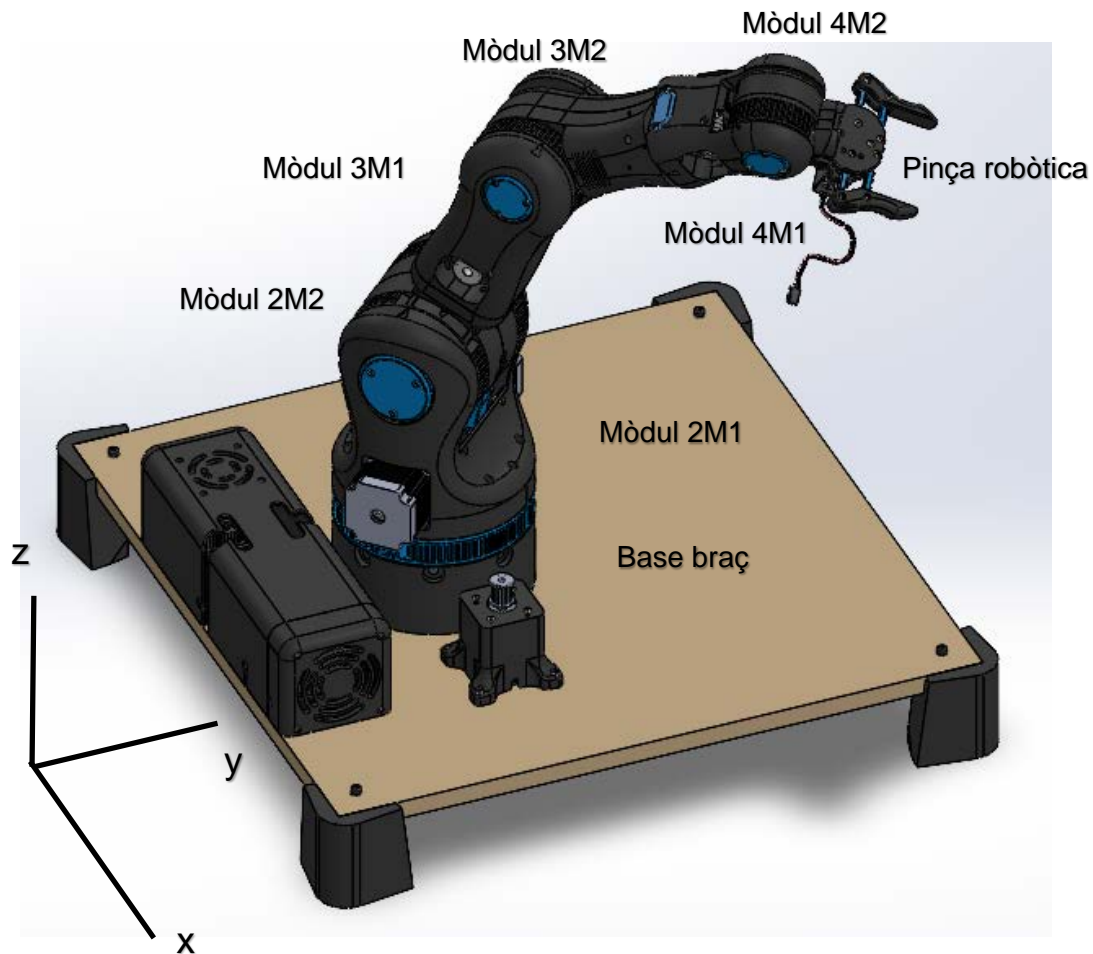


Figura 1. Braç robòtic complet sobre base de fusta (Github BCN3D Moveo, n.d.)

1.2.2 Punt de partida

En aquest apartat es fa un breu resum del disseny inicial del braç, amb la finalitat de que els canvis posteriors s'aprecien amb major facilitat.

1.2.2.1 La base del braç

Aquesta és una peça cilíndrica de 160 mm de diàmetre, amb una roda dentada al capdamunt que gira gràcies a un motor extern (Figura 2), transmetent la potència mitjançant una corretja. El moviment rotacional de la roda es veu facilitat per la inclusió de rodaments, distribuïts a la perifèria de la base, distanciats entre ells 45°.

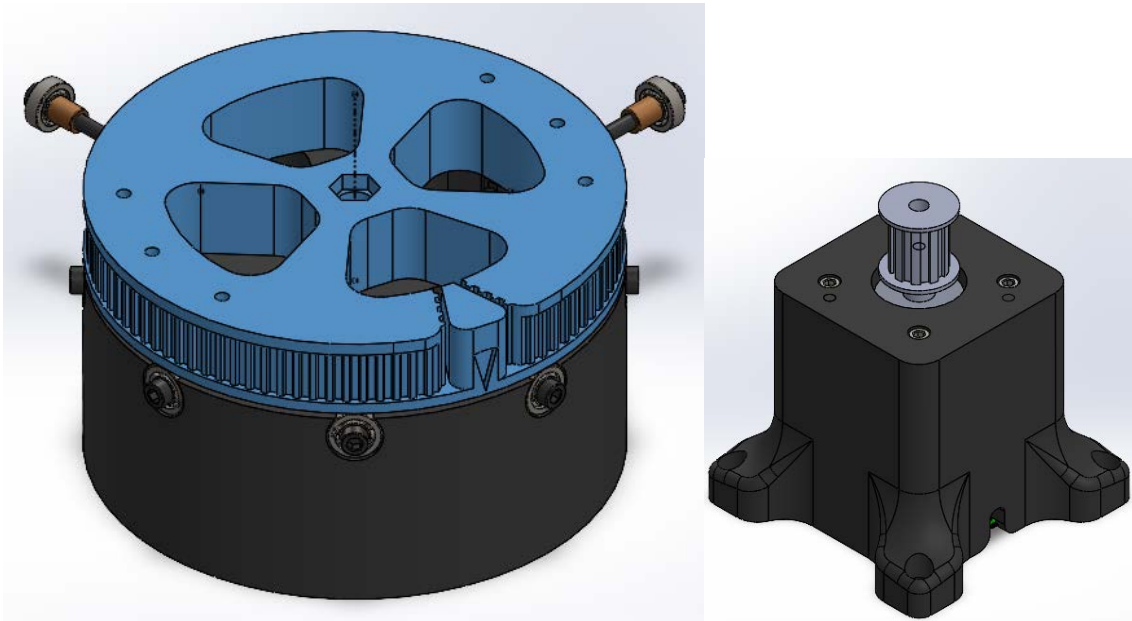


Figura 2. Base del braç robòtic (esquerra) i motor extern (dreta) (Github BCN3D Moveo, n.d.)

1.2.2.2 Mòdul 2M1

Es tracta del mòdul d'assemblatge situat sobre la base del braç, fixe a la roda dentada mitjançant caragols. Aquest s'encarrega de dotar-li al braç d'un colze, es a dir, un moviment de rotació sobre l'eix de la barra grisa horitzontal que es veu a la Figura 3. Per aconseguir-ho s'utilitzen els dos motors Nema 23 encastats a la base del subassemblatge, que transmeten el seu par a una corriola connectada al mòdul 2M2 mitjançant dues corretges.

Cadascuna d'aquestes corretges compta amb un tensor, col·locat a les parets laterals, damunt de les corrioles. La seva funció, com bé ho indica el seu nom, es tensar la corretja a fi de que aquesta mantinga una tensió correcta durant tot el seu cicle de servei.

Una tensió molt baixa pot provocar lliscaments entre les dents, perdent par, provocant soroll i desgastant-se prematurament. Una tensió molt alta causa un desgast excessiu en els components accionats per la corretja.

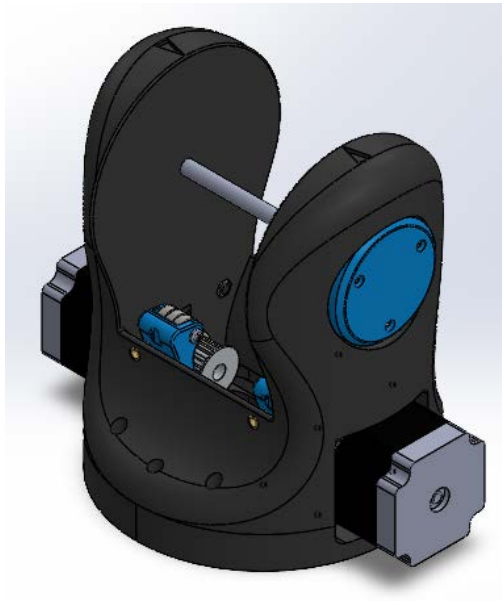


Figura 3. Mòdul 2M1 (Github BCN3D Moveo, n.d.)

1.2.2.3 Mòdul 2M2

Aquest mòdul (Figura 4) té com a funció enllaçar el mòdul 2M1 amb el 3M1. El forat passant horitzontal que té al centre de la peça està destinat a albergar la barra present al mòdul 2M1, mentre les rodes dentades s'uneixen a les corrioies d'aquest mòdul mitjançant corretges dentades. Les protuberàncies que el mòdul 2M2 presenta a la part superior serveix com a ancoratge del mòdul 3M1, on és caragolat.

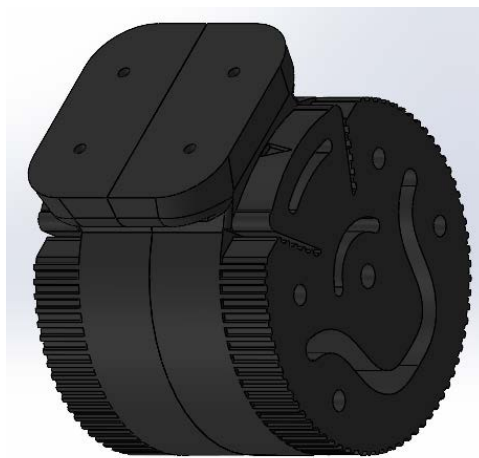


Figura 4. Mòdul 2M2 (Github BCN3D Moveo, n.d.)



1.2.2.4 Mòdul 3M1

Semblant al mòdul 2M1, aquest es queda fixat a la part superior del mòdul 2M2 mitjançant caragols, i conté un motor pas a pas amb una caixa reductora a la seva base (Figura 5). Aquest motor transmet el par torçor a una corriola, que s'uneix al següent mòdul 3M2 amb una altra corretja dentada. Al igual que al mòdul 2M1, a la part superior té una barra metàl·lica horitzontal per dotar al braç robòtic d'un altre colze.

Per millorar el moviment de la corretja s'aplica un tensor a la paret lateral, damunt de la corretja. Com s'explica al mòdul 2M1, el tensor és un element indispensable en qualsevol transmissió per corretges dentades.

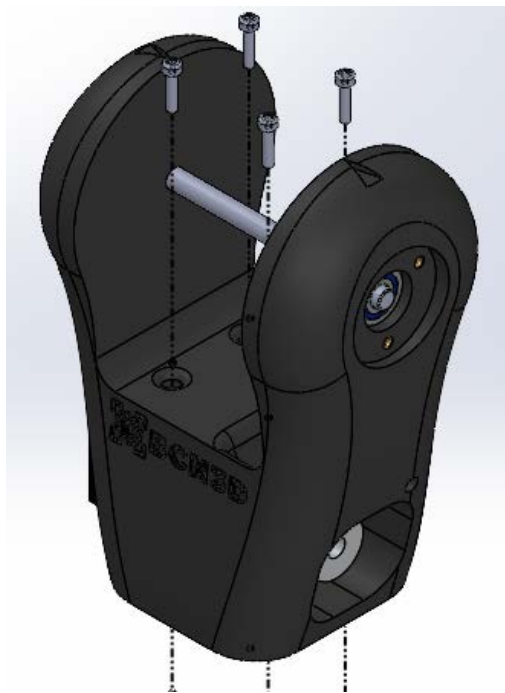


Figura 5. Mòdul 3M1 (Github BCN3D Moveo, n.d.)



1.2.2.5 Mòdul 3M2

Actua d'enllaç entre el mòdul 3M1 i el 4M1. Amb el 3M1 s'uneix mitjançant la barra que aquest té a la part superior, de manera que la relació de transmissió del motor pas a pas es transmet al mòdul 3M2 mitjançant corretges, ja que aquest compta amb una base composta per una roda dentada (Figura 6).

L'enllaç amb el mòdul 4M1 es fa mitjançant un acoblament que connecta l'eix del motor pas a pas inserit al mòdul 3M2 amb la barra metàl·lica roscada que es bloqueja amb una femella auto blocant al mòdul 4M1. D'aquesta manera es produeix un moviment de rotació sobre aquest eix.

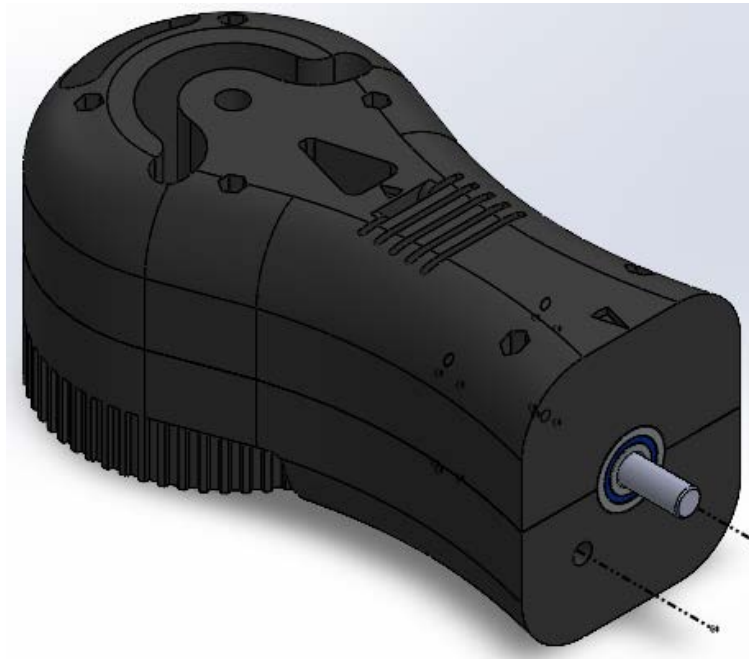


Figura 6. Mòdul 3M2 (Github BCN3D Moveo, n.d.)

1.2.2.6 Mòdul 4M1

Segueix el mateix patró que els mòduls 2M1 i 3M1, és a dir, consta d'una peça a la que se li acobla un motor pas a pas a la seva base, que transmet el seu par torçor a una corriola i aquesta connecta amb el mòdul superior 4M2 mitjançant una corretja. A la paret lateral es disposa un tensor que, com ja s'ha explicat, consisteix en un element indispensable en aquests tipus de transmissions.



A la part superior del mòdul 4M1 es troba una barra llisa horitzontal (Figura 7), que serà la que permetrà el moviment rotacional del mòdul superior 4M2. El mòdul 4M1 s'adhereix al mòdul inferior 3M2 gràcies a un forat que té a la seva base, en la que una barra roscada acobla amb una femella auto blocant introduïda per una petita ranura que es tapada posteriorment a la inserció.

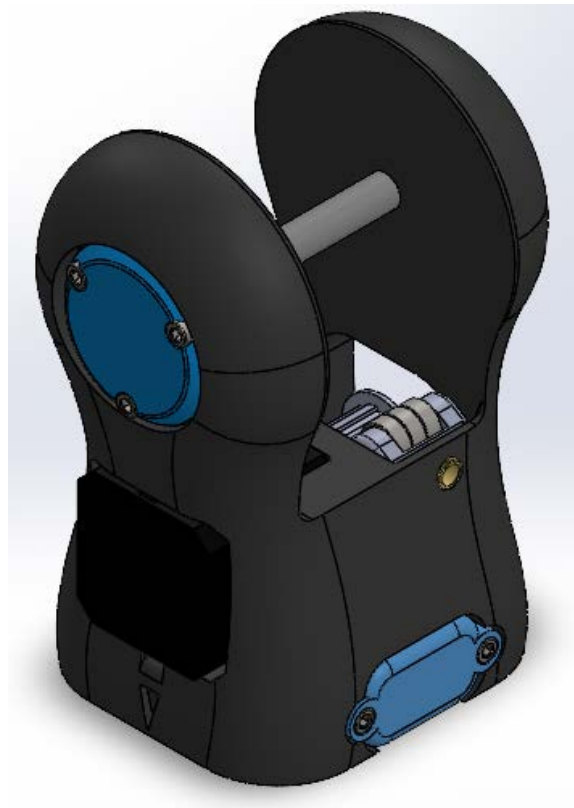


Figura 7. Mòdul 4M1 (Github BCN3D Moveo, n.d.)

1.2.2.7 Mòdul 4M2

De manera similar al mòdul 2M2, aquest té com a funció l'enllaç entre el mòdul 4M1 i la pinça robòtica. Aquest mòdul es situa a la barra que hi ha a la part superior del mòdul 4M1, on actua com a eix i permet un moviment rotacional de les pinces, actuant com a la monyica del braç (Figura 8). Les protuberàncies que aquest mòdul presenta a la part superior serveix com a ancoratge de la pinça, on es caragolada.

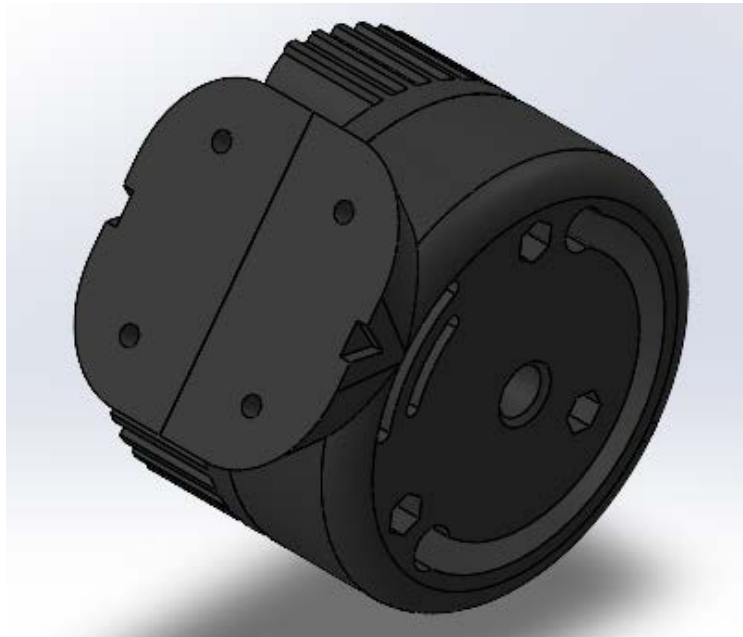


Figura 8. Mòdul 4M2 (Github BCN3D Moveo, n.d.)

1.2.2.8 Pinça robòtica

Es tracta de l'element d'agafada que, situat a l'extrem del braç robòtic acoblat al mòdul 4M2, actua com a intermediari entre màquina i procés productiu (Figura 9).

La pinça està composta per 2 plaques que actuen com a element de suport per als mecanismes que contenen i element de fixació amb la resta del braç, mitjançant el mòdul 4M2. Estan separades entre sí per 2 cilindres buits i entre les seves cares es troben 2 braços de fixació per als agafadors, un braç impulsor i un braç receptor. El braç impulsor s'acobla al motor pas a pas mitjançant un forat a la placa inferior de les pinces, que permet la unió. El braç impulsor i el receptor presenten un quart de roda dentada, a fi d'engrenar entre ells però tenir un moviment restringit de 90° cada element. A l'extrem final de cadascun dels braços es fixen els agafadors, de manera que el seu rang de moviment queda definit pel rang de dits braços.

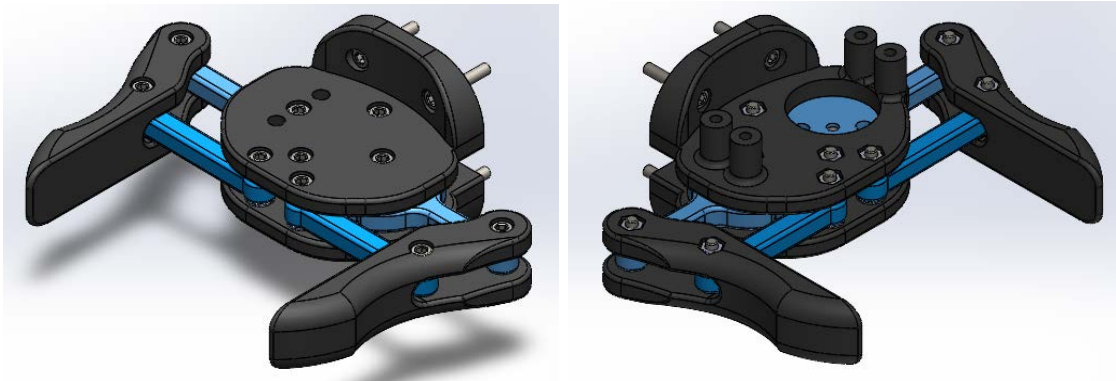


Figura 9. Gripper o pinça robòtica. Vista superior (esquerra) i vista inferior (dreta) (Github BCN3D Moveo, n.d.)

1.3 Impressió 3D

Moltes de les peces del braç robòtic BCN3D Moveo es poden construir mitjançant impressió 3D. La impressió 3D es tracta d'un conjunt de processos mitjançant els quals es generen objectes amb la superposició de capes de materials corresponents a seccions transversals successives d'un model 3D. Si bé tant aliatges de ferro com de plàstic són els materials més comunament utilitzats a la impressió 3D, aquest procés no està limitat a aquests. De fet, pot fer servir quasi qualsevol element, havent-se emprat també en múltiples sectors, com per exemple l'alimentari.

Entre totes les tecnologies 3D disponibles, la més comú entre aquestes és la FFF (Fusion Filament Fabrication), que consisteix en un procés de fabricació additiva, en la que es deposita un filament calent mitjançant un escalfador (situat a l'extrem de l'extrusor) per tal de disminuir la viscositat del filament i aquest fluisca millor (Horvath, 2014).

Paràmetres importants a l'hora d'imprimir una peça són:

- Altura de la capa.
- Infill i Shell.
- Velocitat d'impressió.
- Temperatura.
- Parts que sobresurten.



Tots aquests paràmetres influeixen en la qualitat de la peça i el temps d'impressió.

1.4 Solidworks

Abans de fer qualsevol peça mitjançant impressió 3D és necessari dissenyar-la fent ús de software específic. Un dels més emprats arreu del món és el SolidWorks, que és un software de disseny CAD 3D (disseny assistit per ordinador) per modelar peces i assemblatges en 3D i plànols en 2D, desenvolupat actualment per SolidWorks Corp., una filial de Dassault Systèmes. Aquest software ofereix una gama d'opcions per cobrir possibles aspectes implicats als processos de desenvolupament del producte. D'aquesta manera no tan sols es dissenya, sinó que es poden realitzar simulacions, càlcul de pressupostos, administració de dades, etc.

Aquest software naix al 1993 quan Jon Hirschtik, el fundador de SolidWorks, contracta un grup d'enginyers per tal de crear un software amb l'objectiu de facilitar l'accés a la tecnologia CAD 3D. No és fins el 1995 quan ix al mercat la primera versió, que rep gran acceptació (Kumar, 2020).

Els principals avantatges d'aquest software són:

- Un disseny 3D eficient, gràcies a una interfície altament intuïtiva, de manera que l'usuari pot editar fàcilment el disseny en qualsevol etapa del procés creatiu.
- D'ús més fàcil que altres softwares de temàtica semblant.
- Compatibilitat al mercat, donada la seva importància i facilitat d'ús. Es tracta d'un software emprat a grans corporacions.
- Inclou ferramentes analítiques integrades i automatització de disseny per tal de simular el comportament físic, adaptant-se a qualsevol tipus de geometria.



1.5 Arduino

El control del braç robòtic està fonamentat en la tecnologia Arduino (*Arduino*, n.d.). Aquest és una plataforma electrònica que es basa en hardware open-source de fàcil utilització (les targetes Arduino) combinades amb software també open-source (Arduino IDE). Al voltant d'Arduino existeix una comunitat de usuaris a nivell mundial que han creat una gran quantitat de llibreries que estan a l'abast de qualsevol que les necessite.

Arduino va nàixer al Ivrea Interaction Design Institute (Itàlia) amb la finalitat de proporcionar als alumnes una ferramenta que els permetera desenvolupar prototips de manera fàcil i ràpida, encara que no tingueren habilitats consolidades en programació o electrònica.

S'ha fet ús d'Arduino per a la construcció d'instrumental científic de baix cost, per a provar experimentalment principis físics i químics, en robòtica, electrònica, control de processos, etc.

Hui en dia es poden trobar diferents tipus de targetes Arduino, que es poden escollir en funció de les necessitats que tinguen els usuaris: Nano, UNO, Leonardo, MEGA o Yun

Els principals avantatges d'Arduino són:

- Baix cost.
- Permet treballar en Windows, Macintosh OSX i Linux.
- És fàcil pels que comencen a programar i a fer muntatges senzills, i també permet fer coses de més nivell als usuaris avançats.
- El software és open-source i pot ampliar-se fent ús de llibreries programades amb C++.
- Al tractar-se d'un hardware open-source, els dissenyadors de circuits amb experiència poden fer les seues pròpies versions de les targetes, dotant-les de més capacitats o millorant-les.
- Pot utilitzar-se Arduino amb Matlab/Simulink.



1.6 Motivació

Com ja he comentat anteriorment, la robòtica és un camp molt important al món industrial, de manera que es necessari tindre una noció bàsica d'aquesta si es vol formar part d'aquest sector. Tanmateix el preu d'adquisició de productes, ja siga mecànics com elèctrics, dificulta una immersió més orgànica en aquest camp, de manera que centrar l'estudi del TFG al voltant d'aquest és una ocasió idònia per aprofundir els meus coneixements sobre aquest tema.

No solament això, al ser un disseny creat específicament per a la seva fabricació al campus, dona la possibilitat de que es treballa a posterior sobre aquest, per adaptar el seu disseny a futures necessitats, programar diverses funcions en aquest, per tal de permetre-li realitzar determinades accions... En resum, incentivar l'ampliació de coneixements de l'alumnat o d'investigadors en aquest àmbit.



2 Objectius

L'objectiu principal del projecte és l'estandardització del braç robòtic BCN3D Moveo, facilitant el seu muntatge a les instal·lacions de la Universitat Politècnica de València, en qualsevol del seus campus. Açò inclou:

- Compra de components a proveïdors oficials de la UPV, substituint aquells que no estiguen per altres de propietats similars.
- Canviar completament el disseny de la base del braç, substituint la transmissió de la corretja per un engranatge planetari, mantenint la mateixa relació de reducció.
- Realitzar els canvis pertinents a l'estructura del braç, per tal de que els nous components s'acoblen perfectament, malgrat els canvis de dimensions.
- Realitzar un anàlisi estàtic de la zona més crítica a l'engranatge planetari per tal de determinar la viabilitat de disseny
- Validar el disseny dels components per tal de que aquests puguem ser impresos en 3D
- Descripció del procés de muntatge del braç robòtic, tant mecànic com elèctric.
- Realitzar una posada a punt de certs components del braç robòtic, per tal de validar un correcte funcionament.
- Realitzar un pressupost del cost total del projecte.



3 Disseny del braç robòtic

3.1 Elecció i adquisició de components

Per a l'estandardització de components presents al BCN3D Moveo, s'ha hagut de buscar substituïts adequats d'alguns dels components originals presents al disseny inicial. Per tal d'aconseguir-ho, s'han comparat les característiques, tant mecàniques com elèctriques, i les dimensions.

3.1.1 Motor pas a pas de la base del braç

Aquest és el motor pas a pas que es troba a la base del braç. Mentre que en el disseny original es defineix un Nema 17 (SM42HT47-1684), hem decidit substituir-lo per un Nema 23 (57BYGH420-2). A les pàgines dels proveïdors no es troba actualment el motor Nema 17 (SM42HT47-1684), raó per la qual s'ha escollit un altre candidat amb característiques similars.

	Nema 17 (SM42HT47-1684) (Original)	Nema 23 (57BYGH420-2) (Substitut)
Etiqueta		Nema 23 1.2 N·m
Tensió Nominal (V)	2.8	3.2
Angle de step (°)	1.8	1.8
Intensitat (A)	1.68	2
Par torçor (N·m)	0.5	1.2
Resistència (Ω)/Fase	1.65	1.6
Inductància (mH)/Fase	2.8	5.5
Massa (kg)	0.35	

Taula 1. Comparació del motor pas a pas de la base del braç robòtic (Elaboració pròpia)

A la Taula 1 es pot observar que presenten valors molt semblants, prioritzant tenir un marge superior al component substituït, a fi de no córrer riscos a l'hora que aquest es trobe en funcionament.



3.1.2 Motors pas a pas del mòdul 2M1

Aquests motors es troba adherit al mòdul 2M1, utilitzant-se 2 d'aquests. Al trobar-se aquesta peça a la part inferior, justament damunt de la base, és la zona que més par sol·licita. És per això que aquest ha sigut el principal valor que s'ha buscat complir, encara que això implique un augment de dimensions considerable, com ha sigut el cas.

	Nema 23 (SM57HT112-3004A) (Original)	Nema 23 (23HS45-4204S) (Substitut)
Etiqueta		Nema 23 3 N·m
Tensió nominal (V)	4.8	3.8
Angle de step (°)	1.8	1.8
Intensitat (A)	3	4.2
Par torçor (N·m)	2.75	3
Resistència (Ω)/Fase	1.6	0.9
Inductància (mH)/Fase	6.8	3.8
Massa (kg)	1.4	1.6

Taula 2. Comparació dels motors pas a pas del mòdul 2M1 (Elaboració pròpia)

Si bé en aquests motors els valors es troben un poc més dispars, tots són valors nominals, és a dir, poden suportar pics de tensió o voltatge majors (Taula 2). A més, prima un par torçor que complisca amb el proposat, a la fi de poder realitzar el moviment de rotació de manera òptima.

3.1.3 Motor pas a pas del mòdul 3M1

Aquest motor, un Nema 17 (17HS19-1684S-PG5) en el disseny original, du una caixa reductora adherida a ell, amb una relació de transmissió 1:5. A les pàgines web dels proveïdors oficials de la UPV no s'ha trobat cap motor que complira les característiques del Nema 17 original i tinguera, a més, una caixa reductora acoblada.

Tampoc s'ha trobat cap caixa reductora independent al motor que complira la relació de transmissió desitjada. Raó per la qual al final s'ha decidit per la compra d'un motor Nema 17 (42BYGHM809) amb característiques similars a les de l'original (Taula 3). I la caixa reductora s'ha dissenyat des d'un inici, impresa a impressores 3D i acoblada manualment al procés de muntatge. Els detalls del disseny es troben més endavant.



	Nema 17 (17HS19-1684S-PG5) (Original)	Nema 17 (42BYGHM809) (Substitut)
Etiqueta		Nema 17 0.48 N·m
Tensió nominal (V)	2.8	3
Angle de step (°)	0.35	0.9
Intensitat (A)	1.68	1.7
Par torçor (N·m)	0.52	0.48
Resistència (Ω)/Fase	1.8	1.8
Inductància (mH)/Fase	3.2	2.8
Massa (kg)	0.52	

Taula 3. Comparació del motor pas a pas del mòdul 3M1 (Elaboració pròpia)

3.1.4 Motor pas a pas del mòdul 3M2

Mentre que en el disseny original es defineix un Nema 17 (SM42HT33-1334), hem decidit substituir-lo per un Nema 17 (SY42STH38-1684A) (Taula 4). Aquest motor es troba situat a l'interior del mòdul 3M2, que és el que es troba unit al mòdul 4M1. Es dona importància sobre tot al par torçor i a les dimensions, que no poden diferir massa de l'original, ja que al estar completament incorporat a l'interior del mòdul 3M2, un canvi massa gran del tamany canviaria l'estructura del braç i podria provocar zones amb poc o nul gruix.

	Nema 17 (SM42HT33-1334) (Original)	Nema 17 (SY42STH38-1684A) (Substitut)
Etiqueta		Nema 17 0.36 N·m
Tensió nominal (V)	2.8	2.8
Angle de step (°)	1.8	1.8
Intensitat (A)	1.33	1.68
Par torçor (N·m)	0.22	0.36
Resistència (Ω)/Fase	2.1	1.65
Inductància (mH)/Fase	2.5	3.2
Massa (kg)	0.22	0.29

Taula 4. Comparació del motor pas a pas del mòdul 3M2(Elaboració pròpia)



3.1.5 Motor pas a pas del mòdul 4M1

Aquest motor és un Nema 14 (SM35HT36-1004A), amb les característiques mostrades a la Taula 5. Es tracta del subconjunt més proper a la pinça, raó per la qual sabem que és el més allunyat de la base (descomptant el servo Dynamixel AX-12A que es descriu al següent punt), de tal manera que els valors del pes i del par torçor seran els paràmetres més importants a tindre en consideració. En aquest cas el motor pas a pas escollit és exactament igual a l'original.

	Nema 14 (SM35HT36-1004A) (Original)
Etiqueta	Nema 14 0.14 N·m
Tensió nominal (V)	2.7
Angle de step (°)	1.8
Intensitat (A)	1
Par torçor (N·m)	0.14
Resistència (Ω)/Fase	2.7
Inductància (mH)/Fase	4.3
Massa (kg)	0.18

Taula 5. Característiques del motor pas a pas del mòdul 4M1 (Elaboració pròpia)

3.1.6 Servo motor Dynamixel AX-12A (Robotis)

Aquest servo motor es troba adherit a la pinça del braç robòtic. A petició del tutor, s'ha escollit com a substitut del servo motor del disseny original el motor Dynamixel AX-12A de Robotis (Taula 6), de fàcil control amb característiques semblants a l'original, i que ha sigut prèviament testat al Grup de Robòtica i Mecatrònica de la EPSA (GROMEP).

	Servo Motor (Original)	Dynamixel AX-12A Robotis (Substitut)
Etiqueta		Dynamixel AX-12A
Tensió Nominal (V)	4.8-7.2	9-12
Angle de rotació (°)	0-180	0-300
Intensitat (A)	1	1.5
Par torçor (N·m)	1.27	1.25
Massa (g)	55	54.6

Taula 6. Comparació del motor de la pinça del braç robòtic (Elaboració pròpia)



3.2 Selecció de materials

Per a fer la impressió 3D de les peces del braç robòtic s'ha fet ús del PLA. Aquest es tracta, junt a l'ABS, del material més emprat per a aquest tipus de processos. Les principals causes d'un ús tan abundant són:

- Gran facilitat d'impressió
- Baix cost econòmic
- Una velocitat d'imprimació elevada en relació a altres materials
- No necessita de llit calen (aportar calor a la base sobre la que es realitza la impressió)
- Temperatura de fusió baixa, de manera que no és necessari calfar-lo molt per tal de començar la imprimació.

Tanmateix presenta una sèrie d'inconvenients que resulten perjudicials per a certs elements del braç, i és que el PLA és un material fràgil comparat front altres materials emprats per a aquest procés (Figura 11). És per això que per a peces amb rodes dentades s'ha utilitzat l'onix, tractant-se d'un material compost per nylon i fibra de carboni. L'onix s'adapta en gran mesura a aplicacions en les que es requerisca bona resistència (Figura 10), gràcies al reforç de les fibres i a més, compta amb una major estabilitat dimensional i impressions molt fiables (ideal per a la imprimació de les dents dels nostres engranatges).

Young's modulus [GPa]	1.4
Yield stress [MPa]	36
Ultimate stress [MPa]	30
Flexural strength [MPa]	81
Flexural modulus [MPa]	2.9
Density [g/cm ³]	1.2

Figura 10. Propietats mecàniques de l'onix (Bárník et al., 2019)



Characteristics	Unit	Amount	Reference
Physical:			
Mw	g/mol	66,000	[5]
Specific gravity	-	1.27	
Solid density	g/cm ³	1.252	
Melt density	g/cm ³	1.073	
T _g	°C	55	[60]
T _m	°C	165	
Specific heat (Cp)	J/kg °C		
190 °C		2060	
100 °C		1955	
55 °C		1590	
Thermal conductivity	W/m °C		
190 °C		0.195	[61]
109 °C		0.197	
48 °C		0.111	
Optical:			
UV light transmission			[17]
190 to 220 nm		<5%	
225 to 250 nm		85%	
>300 nm		95%	
Visible light transmission		95%	
Color			
L*		90.64 ± 0.21	
a*		-0.99 ± 0.01	
b*		-0.50 ± 0.04	
Mechanical:			
Tensile strength	Mpa	59	
Elongation at break	%	7	
Elastic modulus	MPa	3500	
Shear modulus	MPa	1287	
Poisson's ratio	-	0.36	[61]
Yield strength	MPa	70	
Flexural strength	MPa	106	
Unnotched izod	J/m	195	
Notch izod impact	J/m	26	
Rockwell hardness	HR	88	
Heat deflection temp	°C	55	
Vicat penetration	°C	59	
Ultimate tensile strength	MPa	73	
Percent of elongation	%	11.3	
Young's modulus	MPa	1280	

Figura 11. Propietats mecàniques del PLA (Farah et al., 2016)



3.3 Disseny de peces i impressió 3D

En aquest part s'explicaran els canvis de disseny que s'ha realitzat a cada una de les peces que conformen el braç robòtic respecte al disseny original. En cas de que la peça no haja sofrit cap modificació, implicarà que continua igual a les peces explicades a l'apartat 1.2. Els plànols amb les cotes geomètriques de cada peça es troben als annexes del TFG.

3.3.1 Base del braç

Per al disseny de la base del braç s'ha volgut mantenir-se tant fidel al disseny original (Figura 2) com siga possible, dins de les restriccions que ens suposa implementar el motor pas a pas dins d'aquesta peça en compte d'estar a l'exterior.

La principal diferència és que aquesta base s'ha hagut de dividir en 2 peces per poder albergar l'engranatge planetari i tenir un disseny que siga compatible amb la impressió 3D.

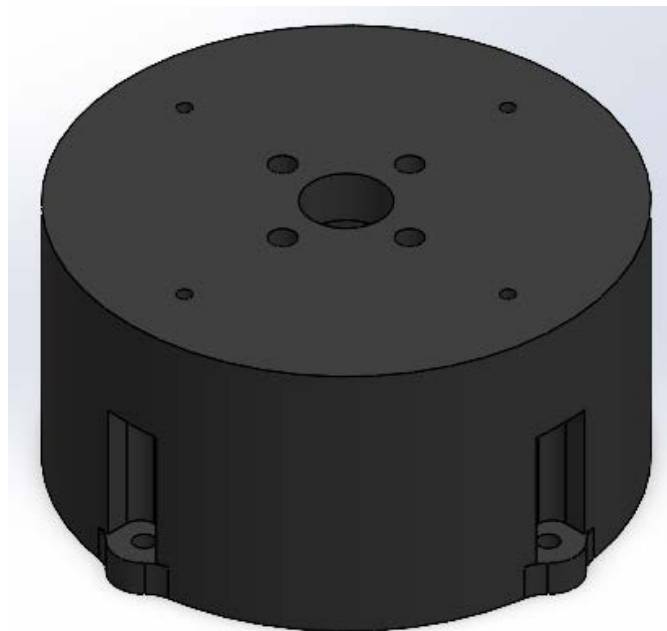


Figura 12. Base braç robòtic modificada (Elaboració pròpia)

Un altre canvi amb l'original és que, al no ser aquesta la peça que suporta la roda dentada que dota al braç robòtic d'un moviment rotacional, se li han retirat les cavitats per a rodaments que presentava a la perifèria. A més, s'han realitzat incisions a la base



d'aquesta peça, sobreeixint lleugerament i distanciat 90° entre sí, per situar al robot a una bancada de treball dotada de ranures separades a múltiples de 25 mm, de tal manera que aquest quede fixe.

A la part superior hi ha un orifici central que permetrà l'acoblament entre el planeta de l'engrenatge planetari i el motor pas a pas Nema 23 1.2 N·m situat a l'interior de la base. Aquest orifici ha de ser lo suficientment espaiós per a que càpiga la part inferior del planeta destinada a la subjecció, mantenint un cert espai de marge, però sense arribar a ser massa gran, ja que el planeta (Figura 17) ha de lliscar sobre aquesta superfície i no caure o ballar per culpa d'aquest forat. A més, al seu voltant s'han disposat 4 orificis més per fixar el motor pas a pas i evitar que aquest rote sobre el seu propi eix i permetre que la transmissió de forces actue correctament.

Per últim, per tal que la corona de la primera etapa (Figura 19), explicada posteriorment, quede fixada, s'han practicat 4 forats més als que posteriorment es caragolarà dita peça.

3.3.2 Engrenatge planetari

Per al disseny de l'engrenatge planetari, primer s'ha de tenir en compte la relació de reducció que es vol. Per tal de mantenir el disseny tan fidel a l'original com es pot, es prendrà la relació de transmissió que hi havia en un inici.

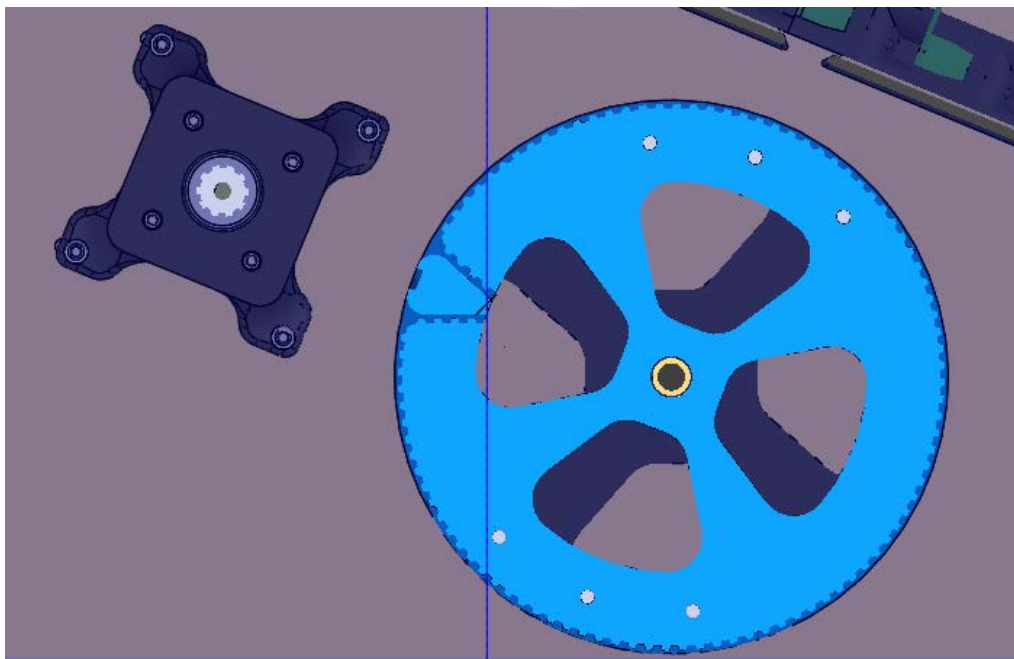


Figura 13. Relació transmissió original (Github BCN3D Moveo, n.d.)



La relació de transmissió per a corretges dentades es calcula d'igual manera que per a engranatges rectes (Besa González, 2016).

$$i = \frac{z1}{z2} \quad (1)$$

Sent $z1$ les dents de l'engranatge conductor i $z2$ les dents de l'engranatge conduït. En aquest cas, sabem que $z1 = 10$ dents i $z2 = 100$ dents (Figura 13), obtenint una relació de transmissió $i = 1/10$.

Per al càlcul de la relació de transmissió d'un engranatge planetari (Figura 14):

$$(z_c + z_p) * w_s = z_c * w_c + z_p * w_p \quad (2)$$

Sent:

- z_c = nombre de dents de la corona
- z_p = nombre de dents al planeta
- z_s = nombre de dents al satèl·lit
- w_s = velocitat de gir del satèl·lit (concretament del porta-satèl·lits)
- w_c = velocitat de gir de la corona
- w_p = velocitat de gir del planeta

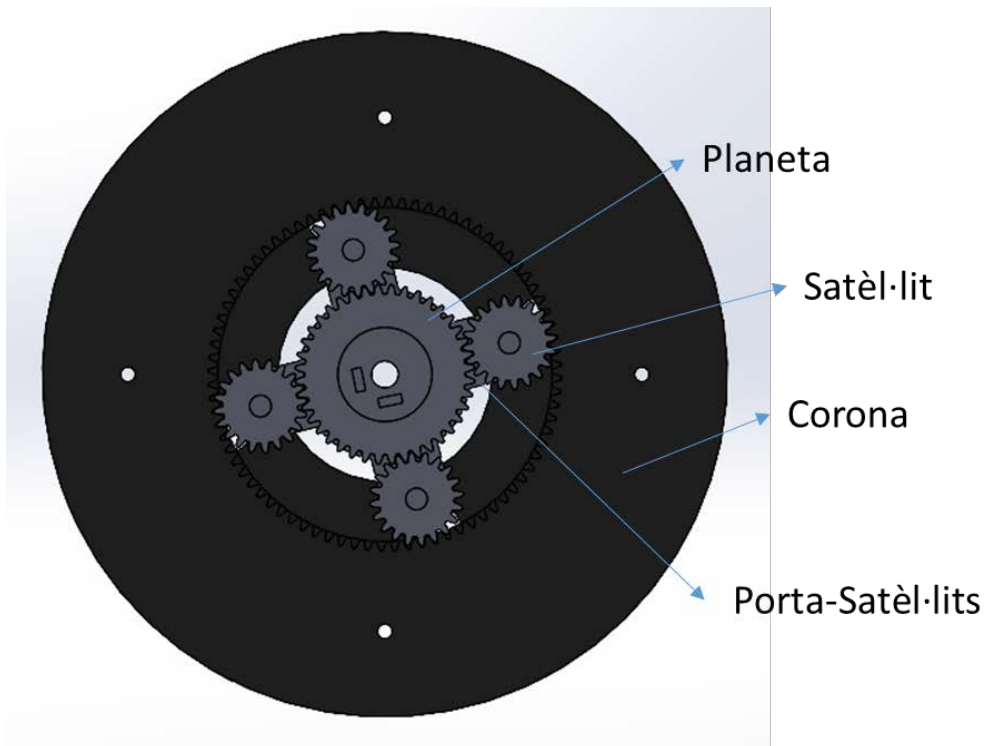


Figura 14. Exemple engranatge planetari amb cada part nomenada (Elaboració pròpia)

Generalment, als engranatges planetaris hi ha un element fixe. En el nostre cas, per tal d'habilitar un moviment de rotació a la base de l'eix del braç robòtic, es fixa el porta-satèl·lits, de tal manera que $w_s = 0$ en l'equació (2). Substituint obtenim:

$$w_p = -\frac{w_c * z_c}{z_p} \quad (3)$$

En aquest cas la relació de transmissió vindria donada per la relació entre les dents de la corona i del planeta, girant en sentit negatiu al d'origen.

Una altra equació important per al càlcul d'un engranatge planetari és la que relaciona el número de dents de cadascun dels elements que el conformen. D'aquesta manera tenim que:

$$z_c = 2 * z_s + z_p \quad (4)$$

Amb les equacions (3) i (4), i donant nosaltres com a valor inicial que el planeta vaja amb 10 dents ($z_p = 10$), obtenim $z_s = 45$ i $z_c = 100$ dents. Amb això s'aconsegueix complir amb la relació de transmissió proposada, tanmateix una ullada al disseny que s'obtidria amb aquests càlculs descarta aquesta possibilitat.

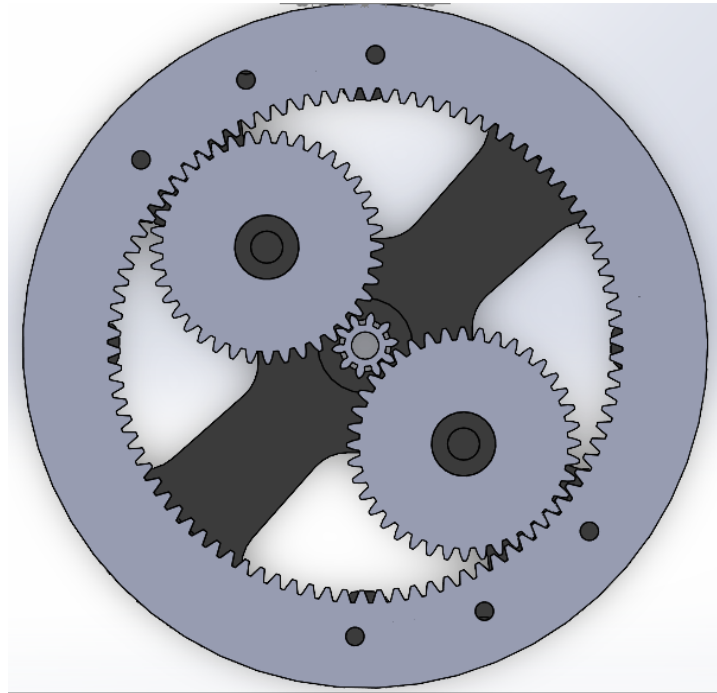


Figura 15. Disseny d'engranatge planetari en una etapa (Elaboració pròpia)

Com s'aprecia a la Figura 15, el planeta és molt feble, al tenir un diàmetre primitiu tan petit. A més, el forat destinat a l'eix és invariable, de tal manera que la quantitat de material entre aquest i les cavitats entre dents és molt reduïda. La unió entre dents i roda és un concentrador de tensions i, de no tenir suficient material per recolzar dita unió, la peça deformaria o, en el pitjor dels casos, trencaria. Augmentar de tamany l'engranatge pareix una solució evident, tanmateix sorgeixen una sèrie de problemes.

Una condició indispensable per a que 2 engranatges acoblen entre ells és que aquests tinguin el mateix mòdul. El mòdul ve donat per:

$$m = \frac{dp}{z} \quad (5)$$

On dp és el diàmetre primitiu i z el nombre de dents. Si dp augmenta, mantenint constant el nombre de dents que s'han obtingut anteriorment (equacions (3) i (4)), veiem que el mòdul s'incrementa. D'aquesta manera, si per exemple es decideix ampliar el diàmetre del planeta al doble del plantejat originalment (de 10 mm a 20 mm), el mòdul, al mantenir una relació directament amb aquest, també es doblaria. Com tots els engranatges han de tenir el mateix mòdul per engranar entre si, això significa que tant corona com satèl·lits ara tindrien el doble del mòdul que tenien originalment. Donat que el nombre



de dents no canvia, ja que es vol obtenir una relació de transmissió determinada, els diàmetres primitius de corona i satèl·lits també es veurien doblats.

Donat que la corona tenia originalment un diàmetre primitiu de 100 mm, ara seria de 200 mm. El disseny inicial de la base del braç robòtic parteix amb una base amb diàmetre exterior de 160 mm. Augmentar doncs els diàmetres primitius és una opció inviable, ja que, si bé l'augment és igual proporcionalment (ambdós doblen el seu tamany), en magnituds absolutes un petit augment al planeta implica un gran canvi a la corona, havent de redissenyar tota la resta del braç robòtic.

Modificar el nombre de dents tampoc soluciona res, ja que si es disminueix ha d'augmentar el diàmetre primitiu (amb els problemes que això implica) o el mòdul. Un augment de mòdul implica un major tamany de les dents, ja que:

$$\text{diàmetre exterior} = \text{diàmetre primitiu} + 2 * m \quad (6)$$

$$\text{diàmetre interior} = \text{diàmetre primitiu} - 2.5 * m \quad (7)$$

Si augmenta el tamany de les dents, la quantitat de material que hi ha entre les cavitats de les dents i el forat per a l'eix disminueix, de manera que es presenta el mateix problema plantejat anteriorment.

En cas d'incrementar el nombre de dents, augmenta el diàmetre primitiu (amb els problemes que això implica) o ha de disminuir el mòdul. El problema que açò implica és un mal acoblament entre dents, ja que al ser peces petites, fetes per impressió 3D, es poden desgastar ràpidament.

3.3.2.1 Engranatge planetari doble etapa

Donada la impossibilitat d'expandir-se horitzontalment, degut a les problemàtiques exposades a l'apartat anterior, s'ha decidit dividir l'engranatge en 2 etapes. D'aquesta manera, al no estar limitats en l'altura que ha de tenir la base, podem disposar de 2 engranatges planetaris, disposats un damunt de l'altre.

Açò ens permet dotar de relacions de transmissió menys abruptes, és a dir, en compte de reduir la velocitat de gir 10 vegades en una sola interacció, la idea és obtenir aquesta reducció combinant les 2 relacions de transmissió de cadascuna de les etapes, de manera que individualment no siguin tan abruptes.



Suavitzar les relacions de transmissió és beneficiós, ja que les diferències entre nombre de dents i diàmetres primitius entre els diferents elements que conformen un engranatge planetari també es suavitzen. D'aquesta manera, al tenir tots un tamany més parell entre sí, cap element queda massa petit ni fràgil o fàcil de deformar.

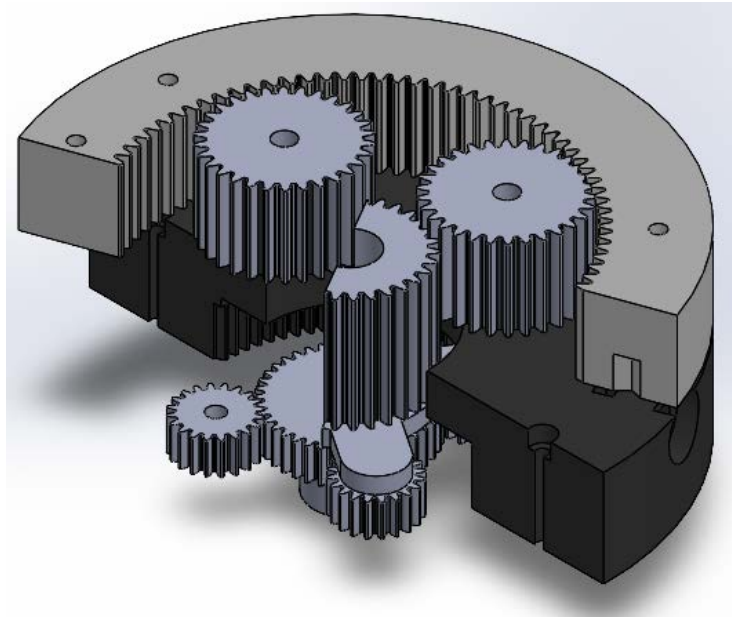


Figura 16. Disseny engranatge planetari doble etapa vista de secció (Elaboració pròpia)

Com es veu a la Figura 16, el planeta a l'engranatge planetari inferior és el que rebrà el par directament del motor i la corona del superior és la que transmetrà el moviment rotacional a la base del robot. La resta d'elements es disposen optimitzant l'espai disponible a l'interior del braç per tal de que l'altura de la base no augmente en gran mesura respecte a l'original.

Per al càlcul del nombre de dents de cada engranatge, s'utilitza l'equació (2). Com cada etapa manté un element fixe diferent, és a dir, amb una velocitat de gir nul·la, els càlculs per obtenir el nombre de dents entre els diferents elements no seran iguals per a les dues.

3.3.2.2 Primera etapa

A la primera etapa es deixa fixa la corona i l'element transmissor del par torçor del motor pas a pas és el planeta. Els satèl·lits es deixen lliures i tindran un moviment de rotació sobre el seu propi eix i un de translació al voltant del planeta. Així doncs, tenint en compte que $w_c = 0$ rad/s, substituint a l'equació (2), obtenim:



$$ws = wp \frac{zp}{zp + zc} \quad (8)$$

Amb l'equació (4) i (8), donant-li una relació de transmissió de $i= 1/3$ i partint amb un planeta amb 40 dents, obtenim $zs= 20$ i $zc= 80$ dents.

Planeta primera etapa

Es tracta de l'element central de l'engranatge planetari a la primera etapa. Com s'ha comentat anteriorment, es tracta de l'element adherit a l'eix del motor a fi de transmetre el moviment a la resta de peces. L'únic moviment que presenta és de rotació sobre el seu propi eix, ja que al estar el motor fixat, també ho està el planeta.

Establert el nombre de dents que té, s'han d'obtenir una sèrie de valors, segons normativa ISO. Aquests són generals per a qualsevol engranatge recte, de manera que a la Taula 7 s'ha utilitzat per al càlcul de la resta d'elements que conformen el conjunt de l'assemblatge.

Número de Dents	40	=	Diàmetre Primitiu * Mòdul	40
Mòdul	1	=	Diàmetre Primitiu / Número de Dents.	1
Diàmetre Extern		=	Diàmetre Primitiu + 2*(Mòdul)	42
Diàmetre Primitiu	40	=	Número de Dents * Mòdul.	40
Diàmetre Intern		=	Diàmetre Primitiu - (2.5 * Mòdul)	37.5
Espessor de la dent		=	19/40 * (PI * Mòdul)	1.49
Ample entre dents		=	21/40 * (PI * Mòdul)	1.65
Pas circular		=	PI * Mòdul	3.1
Radi d'entalla		=	(PI * Mòdul) /12	0.3
Angle entre dents		=	360 / Número de Dents	9
Angle de pressió	20°			

Taula 7. Valors de disseny per al planeta primera etapa (Elaboració pròpia)

Amb aquestes dades es pot procedir al disseny de l'engranatge, Tanmateix aquest no serà un engranatge recte convencional. A la part inferior del planeta s'ha adjuntat un cilindre, amb la finalitat de que aquest pugui transmetre el par torçor del motor a la resta de l'assemblatge, ja que l'eix del motor no té cap tipus de ranura o xaveta. Separats 90° entre ells, hi ha 2 forats de mètrica 3, amb les seves respectives fenedures. Amb aquestes, es pot introduir un caragol per aplicar la pressió necessària per tal de que eix i planeta no llisquen.

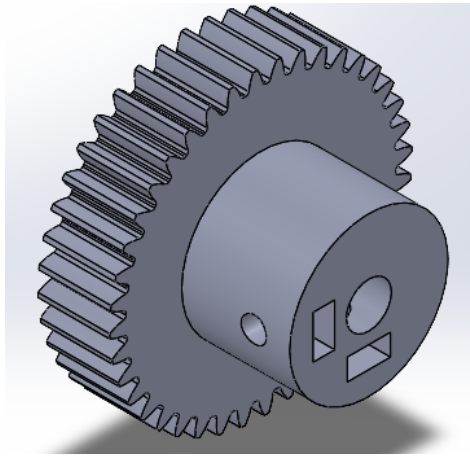


Figura 17. Planeta primera etapa (Elaboració pròpia)

Satèl·lit primera etapa

Es tracta d'un engranatge recte, situat entre el planeta i la corona, engranant amb aquests 2 components. Al no estar fixat en una zona concreta (contrari a la corona, que és l'element fixe), el satèl·lit seguirà un moviment de translació al voltant del planeta i un de rotació al voltant del seu propi eix. Els valors necessaris per al seu disseny es troben a la Taula 8:

Número de Dents	20	=	Diàmetre Primitiu * Mòdul	20
Mòdul	1	=	Diàmetre Primitiu / Número de Dents.	1
Diàmetre Extern		=	Diàmetre Primitiu + 2*(Mòdul)	22
Diàmetre Primitiu	20	=	Número de Dents * Mòdul.	20
Diàmetre Intern		=	Diàmetre Primitiu - (2.5 * Mòdul)	17.5
Espessor de la dent		=	19/40 * (PI * Mòdul)	1.49
Ample entre dents		=	21/40 * (PI * Mòdul)	1.65
Pas circular		=	PI * Mòdul	3.1
Radi d'entalla		=	(PI * Mòdul) /12	0.3
Angle entre dents		=	360 / Número de Dents	18
Angle de pressió	20°			

Taula 8. Valors de disseny per a satèl·lit primera etapa (Elaboració pròpia)

Per a una repartició de forces més equitativa i dotar de major estabilitat a l'estructura, no s'utilitza un sol planeta. Aquests són 4 engranatges, disposats a 90° entre sí.



D'aquesta manera, al ser aquests els elements més menuts de l'engranatge, no sofreixen tantes tensions a les dents (Figura 18).

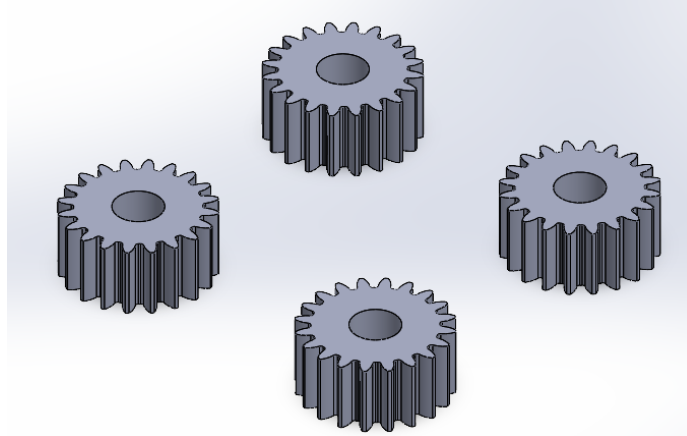


Figura 18. Disseny satèl·lits primera etapa (Elaboració pròpia)

Corona primera etapa

Es tracta de l'últim element dentat a la primera etapa. Consisteix en un anell de major tamany amb les dents a la seva cara interior, que engrana amb els satèl·lits per a permetre que aquests tinguen el moviment de translació al voltant del planeta.

Per calcular els valors restants per al correcte disseny de la peça, s'ha de fer un incís a les equacions (6) i (7). En aquestes s'especifica la mesura del diàmetre exterior i interior de la roda dentada. Tanmateix, al tenir la corona les dents a la seva cara interior, per a un correcte acoblament entre corona-satèl·lit, o qualsevol altre engranatge recte, s'ha de modificar la fórmula:

$$\text{diàmetre exterior} = \text{diàmetre primitiu} + 2.5 * m \quad (9)$$

$$\text{diàmetre interior} = \text{diàmetre primitiu} - 2 * m \quad (10)$$

Dites equacions són exclusives per a la corona, quan les dents es troben a la cara interior. Els valors aconseguits poden veure's a la Taula 9:

Número de Dents	80	=	Diàmetre Primitiu * Mòdul	80
Mòdul	1	=	Diàmetre Primitiu / Número de Dents.	1
Diàmetre Extern		=	Diàmetre Primitiu + 2.5*(Mòdul)	82.5
Diàmetre Primitiu	80	=	Número de Dents * Mòdul.	80
Diàmetre Intern		=	Diàmetre Primitiu - (2 * Mòdul)	78
Espessor de la dent		=	$19/40 * (PI * Mòdul)$	1.49
Ample entre dents		=	$21/40 * (PI * Mòdul)$	1.65
Pas circular		=	$PI * Mòdul$	3.1
Radi d'entalla		=	$(PI * Mòdul) / 12$	0.3
Angle entre dents		=	$360 / \text{Número de Dents}$	4.5
Angle de pressió	20°			

Taula 9. Valors de disseny corona primera etapa (Elaboració pròpia)

La corona, a part d'actuar com a element fixe per a la primera etapa, serveix com a superfície de suport per a la segona etapa.

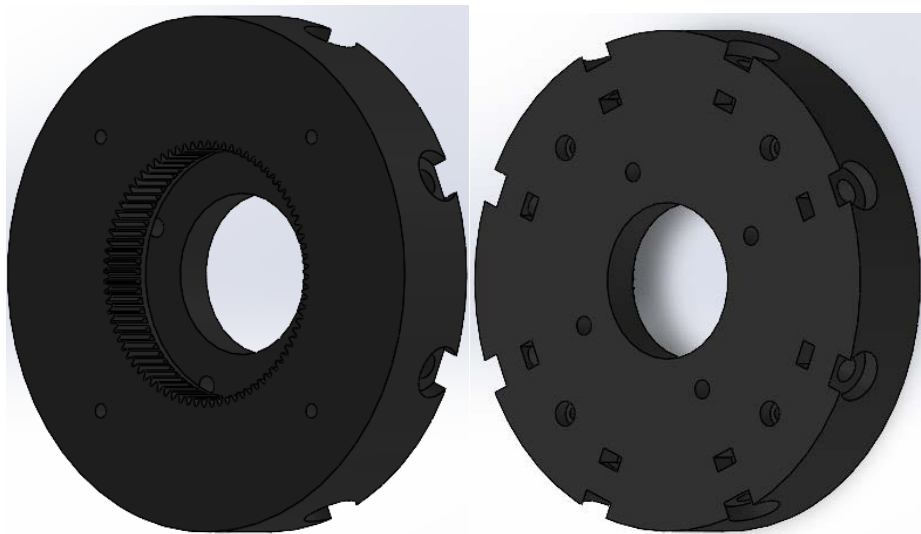


Figura 19. Disseny corona primera etapa inferior (esquerra) i superior (dreta) (Elaboració pròpia)

Com s'aprecia a la Figura 19, la corona actua com una espècie de tapa per a l'engrenatge planetari de la primera etapa. A la part inferior es troba la corona pròpiament dita, és a dir, les dents a la cara interior. Entre les dents i el sostre es deixa un espai amb una cara llisa que compleix 2 finalitats: facilitar la impressió 3D de la peça i servir com a transició entre sostre i dents per evitar concentradors de tensions elevats.



Tenint en compte l'espessor dels engranatges, es deixa un espai de marge entre aquests i el sostre per facilitar un millor lliscament entre superfícies.

A la part superior hi ha un forat al centre de gran tamany, pel qual eixirà el planeta de l'engranatge planetari de la segona etapa. Els 4 forats més propers a aquest tenen com a finalitat albergar 4 barres metàl·liques que serviran com a eixos dels satèl·lits de la segona etapa. Finalment, els 4 forats cilíndrics més allunyats del centre serveixen per fixar la corona a la base del braç robòtic (Figura 12).

Als laterals d'aquesta podem veure una sèrie de cavitats cilíndriques, separades cada 45° . En cadascuna d'aquestes s'instal·la un rodament, que ajudarà a un millor moviment de rotació per part de la corona a la segona etapa, ja que s'ha de recordar que sobre aquesta descansa tot el pes del braç robòtic. Les ranures quadrades a la part superior són unes cavitats per inserir les rosques per als caragols que han de fixar els rodaments a les parets laterals.

3.3.2.3 Segona etapa

Per a la segona etapa s'ha decidit calcular el nombre de dents de cada un dels engranatges per a una relació de transmissió $i = 1/3$. Combinada amb la de la primera etapa obtenim una relació de reducció de $i = 1/9$. Si bé aquesta no és la relació desitjada (recordar que al disseny original aquesta era de $1/10$), és lo suficientment propera com per a que no hi haja una gran diferència i permeta optimitzar el disseny de la segona etapa de manera que encaixe perfectament en l'espai donat.

A més, gràcies a elegir motors pas a pas amb pars torçors lleugerament superiors als escollits originalment, no hi ha temor a quedar-se curt en aquest apartat, ja que a pesar de tenir una relació de reducció menor, el par transmès és superior.

Per al càlcul del nombre de dents utilitzem la equació (3) i (4), ja que en aquesta etapa l'element transmissor serà el planeta i l'element fixe seran els satèl·lits. Per a un nombre de dents del planeta $z_p = 30$, s'obtenen $z_c = 90$ i $z_s = 30$.



Planeta segona etapa

Donat el número de dents del planeta, queda decidir el mòdul d'aquest per tal d'obtenir el diàmetre primitiu. Tenint en compte que el nombre de dents de la corona és de 90, un mòdul igual a 1 seria massa menut per a les dimensions de la base, ja que aquesta té un diàmetre de 160 mm. Amb aquesta composició obtindríem una corona amb una quantitat immensa de material entre la seva perifèria i les ranures de les dents i uns planetes i satèl·lits molt menuts.

Per aquesta raó s'ha emprat un mòdul $m = 1.25$, de manera que les peces s'adeqüen a les dimensions de la base. D'aquesta manera els paràmetres obtinguts per al disseny de l'engranatge són els de la Taula 10:

Número de Dents	30	=	Diàmetre Primitiu * Mòdul	30
Mòdul	1.25	=	Diàmetre Primitiu / Número de Dents.	1.25
Diàmetre Extern		=	Diàmetre Primitiu + 2*(Mòdul)	40
Diàmetre Primitiu	37.5	=	Número de Dents * Mòdul.	37.5
Diàmetre Intern		=	Diàmetre Primitiu - (2.5 * Mòdul)	34.375
Espessor de la dent		=	$19/40 * (PI * Mòdul)$	1.87
Ample entre dents		=	$21/40 * (PI * Mòdul)$	2.06
Pas circular		=	$PI * Mòdul$	3.9
Radi d'entalla		=	$(PI * Mòdul) / 12$	0.3
Angle entre dents		=	$360 / \text{Número de Dents}$	12
Angle de pressió	20°			

Taula 10. Valors de disseny planeta segona etapa (Elaboració pròpia)

Amb aquests valors es pot dissenyar la roda dentada amb les característiques necessàries per complir la funció desitjada. Tanmateix, s'ha d'habilitar l'engranatge d'alguna manera per a que aquest gire amb la velocitat reduïda de la primera etapa. La idea és aprofitar el moviment de translació dels satèl·lits a la primera etapa per convertir-lo en el moviment de rotació del planeta de la segona etapa.

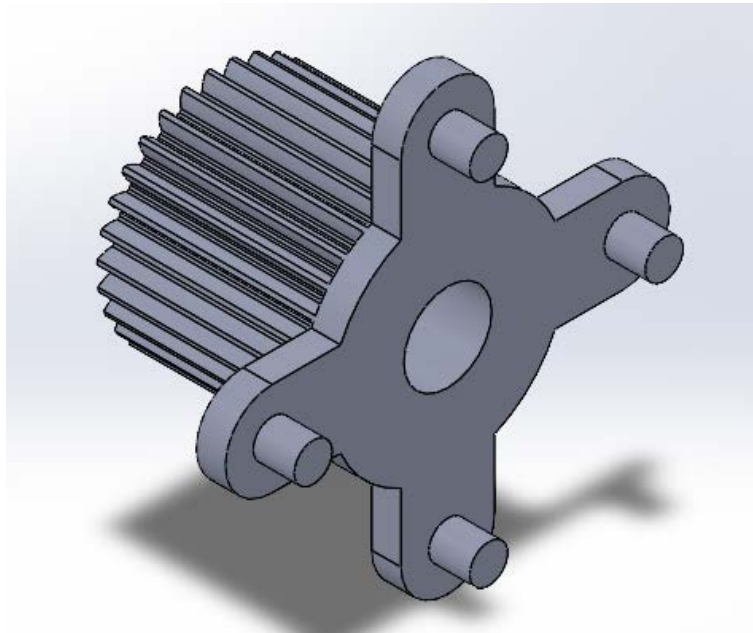


Figura 20. Disseny planeta segona etapa (Elaboració pròpia)

Com es veu a la Figura 20, s'ha implementat el planeta de la segona etapa sobre el porta-satèl·lits de la primera etapa. D'aquesta manera els satèl·lits tenen un element que restringeix la seva llibertat per mantindre-los sempre a 90° i el planeta transmet el par que ens interessa.

Cal recalcar que els eixos destinats a permetre una rotació són sempre d'un tamany inferior al diàmetre de l'orifici en els que tenen cabuda. El principal objectiu d'açò es facilitar el moviment i preveure possibles errors d'impressió 3D, ja que un marge molt menut pot portar conseqüències si no es té en compte el grossor del filament del material.

Satèl·lits segona etapa

En aquest cas els satèl·lits es troben fixos, és a dir, mantenen el moviment de rotació sobre el seu propi eix, però ja no segueixen un moviment de translació al voltant del planeta de la segona etapa. Els paràmetres per al disseny són els mostrats a la Taula 11:



Número de Dents	30	=	Diàmetre Primitiu * Mòdul	30
Mòdul	1.25	=	Diàmetre Primitiu / Número de Dents.	1.25
Diàmetre Extern		=	Diàmetre Primitiu + 2*(Mòdul)	40
Diàmetre Primitiu	37.5	=	Número de Dents * Mòdul.	37.5
Diàmetre Intern		=	Diàmetre Primitiu - (2.5 * Mòdul)	34.375
Espessor de la dent		=	$19/40 * (PI * Mòdul)$	1.87
Ample entre dents		=	$21/40 * (PI * Mòdul)$	2.06
Pas circular		=	$PI * Mòdul$	3.9
Radi d'entalla		=	$(PI * Mòdul) / 12$	0.3
Angle entre dents		=	$360 / \text{Número de Dents}$	12
Angle de pressió	20°			

Taula 11. Valors de disseny satèl·lit segona etapa (Elaboració pròpia)

Al igual que a la primera etapa, per a una repartició de forces més equitativa i dotar de major estabilitat a l'estructura, no s'utilitza un sol planeta. S'empren 4 rodes dentades, disposades a 90° entre si (Figura 21).

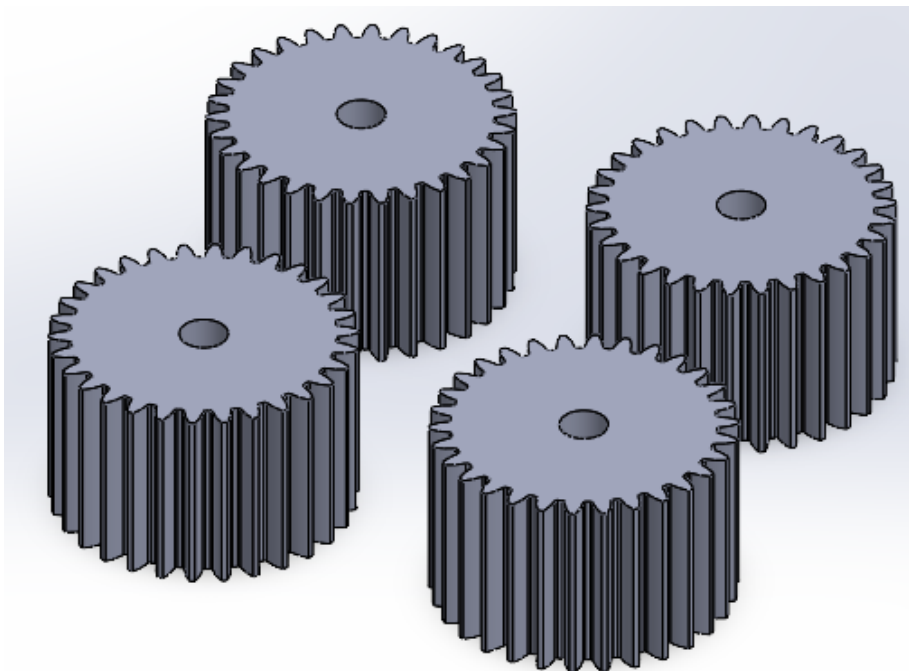


Figura 21. Disseny satèl·lit segona etapa (Elaboració pròpia)



Corona segona etapa

Com ja s'ha comentat anteriorment, la corona és l'element mòbil que transmet el moviment de rotació a la resta del braç, amb la relació de reducció desitjada. Els paràmetres per al disseny són els mostrats a la Taula 12 (recordar equacions (9) i (10)):

Número de Dents	80	=	Diàmetre Primitiu * Mòdul	80
Mòdul	1	=	Diàmetre Primitiu / Número de Dents.	1
Diàmetre Extern		=	Diàmetre Primitiu + 2.5*(Mòdul)	82.5
Diàmetre Primitiu	80	=	Número de Dents * Mòdul.	80
Diàmetre Intern		=	Diàmetre Primitiu - (2 * Mòdul)	78
Espessor de la dent		=	19/40 * (PI * Mòdul)	1.49
Ample entre dents		=	21/40 * (PI * Mòdul)	1.65
Pas circular		=	PI * Mòdul	3.1
Radi d'entalla		=	(PI * Mòdul) / 12	0.3
Angle entre dents		=	360 / Número de Dents	4.5
Angle de pressió	20°			

Taula 12. Valors de disseny corona segona etapa (Elaboració pròpia)

Per fixar la resta del braç a la corona es realitzen 6 orificis per tal de col·locar els caragols (Figura 22)

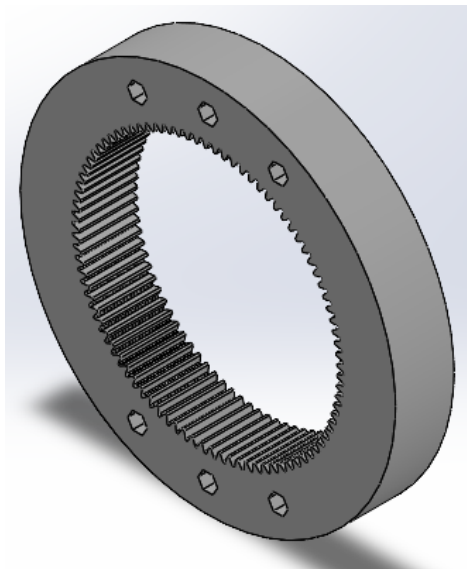


Figura 22. Disseny corona segona etapa (Elaboració pròpia)



3.3.3 Peça mòdul 2M1

Per a aquesta peça simplement s'ha donat 5 mm menys de profunditat als orificis per caragolar el mòdul 2M1 a la corona de la segona etapa de la base del braç robòtic, en comparació amb el disseny original.

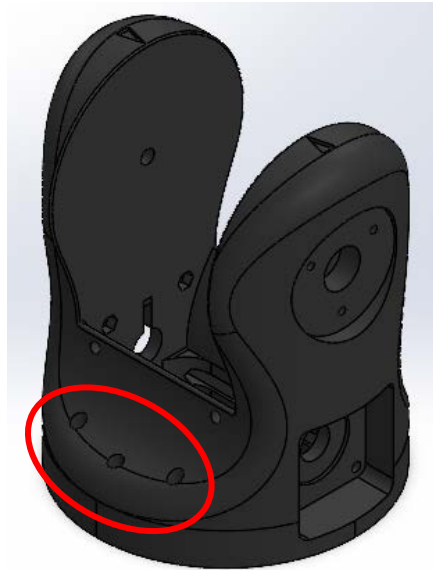


Figura 23. Peça 2M1 modificada (Elaboració pròpia)

3.3.4 Peça mòdul 3M1

Amb aquesta peça s'ha hagut de modificar la cavitat preparada per al motor pas a pas Nema 17 (17HS19-1684S-PG5) amb una caixa reductora incorporada. Al haver de crear una caixa reductora de zero i ser aquesta d'onyx, les dimensions són superiors a les de l'original. D'aquesta manera s'ha ampliat l'espai destinat a la caixa reductora i s'han canviat els orificis destinats a fixar el nou motor pas a pas Nema 17 0.48 N·m i la caixa, per tal d'adaptar-se a les noves mesures (Figura 24).

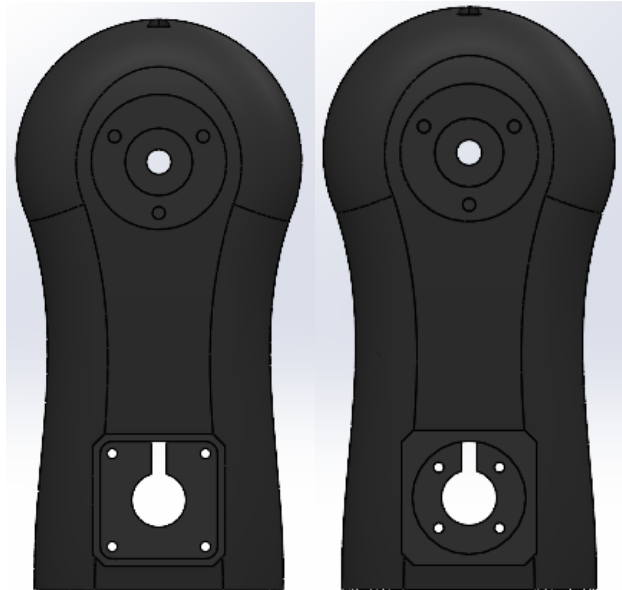


Figura 24. Peça 3M1 modificada (esquerra) front a peça 3M1 original (dreta) (Elaboració pròpia)

3.3.5 Caixa reductora

En aquest cas s'ha de dissenyar una caixa reductora des de zero. El problema limitant és l'espai, ja que aquesta ha d'estar insertada dins del mòdul 3M1, de manera que no pot ser molt superior a la caixa original, o de lo contrari no cabria.

La següent problemàtica sorgeix amb la fixació de la caixa reductora i el nou motor pas a pas Nema 17 0.48 N·m al mòdul 3M1. Al disseny original la caixa reductora ve fixada al Nema 17 (17HS19-1684S-PG5) de sèrie, de manera que en aquest cas tan sols s'ha de caragolar aquesta.

En el nostre cas la caixa reductora no està fixada al motor sinó que són dues peces independents, de manera que s'ha de trobar una manera de que els caragols passen a través de la caixa, restringint el seu moviment, i s'ancoren al motor.

El mecanisme de la caixa reductora és molt simple, ja que es tracta d'un engranatge planetari, tenint com a element fixe la corona i sent l'element impulsor el planeta (Figura 25). D'aquesta manera l'element que transmetrà el par torçor del motor a la corriola serà el moviment dels satèl·lits, un cas idèntic a la primera etapa de l'engranatge planetari present a la base del braç robòtic.

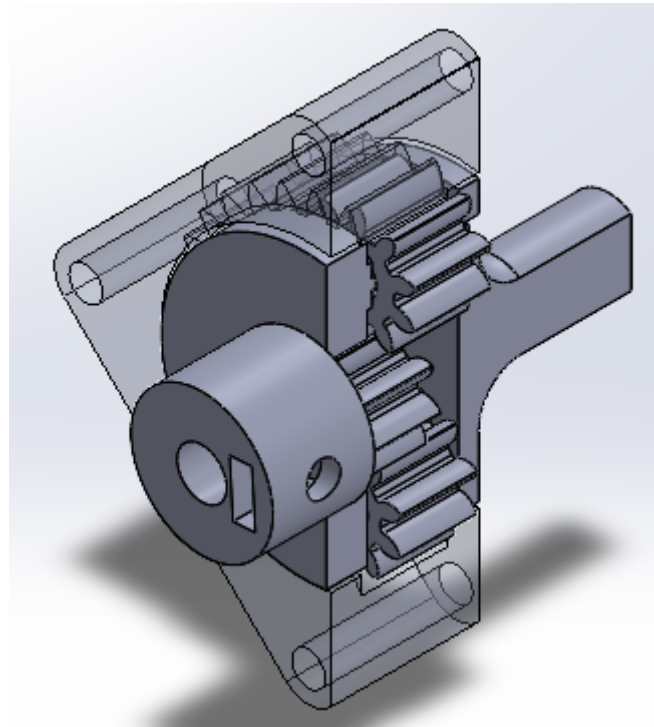


Figura 25. Disseny de la caixa reductora vist de secció (Elaboració pròpia)

Amb les equacions (8) i (4) podem obtenir el valor de les dents de cada un dels elements que componen la caixa reductora. Al haver de ser de tamany reduït, se li dona $z_p = 10$ dents al planeta. La relació de transmissió original és de $i = 1/5$, tanmateix per requeriments a l'hora d'implementar aquesta al mòdul s'ha optat per una relació $i = 1/4$. Amb aquestes dades s'obté $z_s = 10$ i $z_c = 30$ dents.

Com s'aprecia a la Taula 3, el par torçor del motor pas a pas escollit Nema 17 0.48 N·m és superior al de l'original Nema 17 (17HS19-1684S-PG5), de tal manera que aquest no serà un impediment per al correcte funcionament del braç robòtic.

Planeta caixa reductora

Per al disseny del planeta s'ha seguit el mateix procediment que el que s'ha utilitzat al planeta de la primera etapa de l'engranatge planetari present a la base del braç (Figura 17). Açò es deu a que els dos comparteixen la mateixa funció dins de l'assemblatge: actuar d'element impulsor mitjançant una fixació a l'eix del motor pas a pas.

Per tant, primerament s'obtenen els valors per al disseny de la roda dentada (Taula 13) i posteriorment s'aplicaran els elements de fixació pertinents.



Número de Dents	10	=	Diàmetre Primitiu * Mòdul	10
Mòdul	1	=	Diàmetre Primitiu / Número de Dents.	1
Diàmetre Extern		=	Diàmetre Primitiu + 2*(Mòdul)	12
Diàmetre Primitiu	10	=	Número de Dents * Mòdul.	10
Diàmetre Intern		=	Diàmetre Primitiu - (2.5 * Mòdul)	7.5
Espessor de la dent		=	19/40 * (PI * Mòdul)	1.49
Ample entre dents		=	21/40 * (PI * Mòdul)	1.65
Pas circular		=	PI * Mòdul	3.1
Radi d'entalla		=	(PI * Mòdul) / 12	0.3
Angle entre dents		=	360 / Número de Dents	36
Angle de pressió	20°			

Taula 13. Valors de disseny per al planeta caixa reductora (Elaboració pròpia)

A fi de mantenir unes dimensions apropiades, s'ha decidit que el mòdul siga d'1, així que el diàmetre primitiu del planeta també serà de 10 mm.

A la part inferior de l'engrenatge s'ha adjuntat un cilindre, amb la finalitat de que aquest puga transmetre el par torçor del motor a la resta de l'assemblatge, ja que l'eix del motor no té cap tipus de ranura o xaveta (Figura 26). A diferencia del planeta de la primera etapa, aquest sols presenta una fenedura per a introduir la femella, ja que el par a transmetre i el tamany del planeta de la caixa reductora són menors. Per tal de que eix i planeta no llisquen, es caragola la unió.

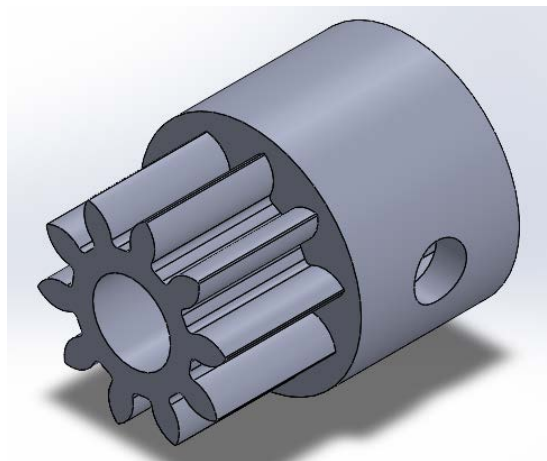


Figura 26. Planeta caixa reductora (Elaboració pròpia)



Satèl·lit caixa reductora

Per al disseny del satèl·lit s'han pres els mateixos valors que per al planeta de la caixa reductora (Taula 13). La única diferència entre aquests és el gruix, ja que el satèl·lit presenta un gruix menor i el seu diàmetre d'orifici per a l'eix és també menor (Figura 27).

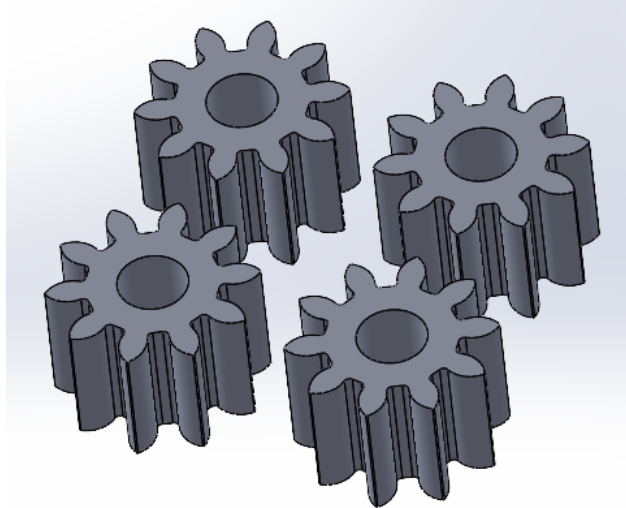


Figura 27. Satèl·lits caixa reductora (Elaboració pròpia)

Corona caixa reductora

Novament es tracta de l'element fixe de l'assemblatge. Els valors per al seu disseny són els mostrats a la Taula 14:

Número de Dents	80	=	Diàmetre Primitiu * Mòdul	30
Mòdul	1	=	Diàmetre Primitiu / Número de Dents.	1
Diàmetre Extern		=	Diàmetre Primitiu + 2.5*(Mòdul)	32.5
Diàmetre Primitiu	80	=	Número de Dents * Mòdul.	30
Diàmetre Intern		=	Diàmetre Primitiu - (2 * Mòdul)	28
Espessor de la dent		=	19/40 * (PI * Mòdul)	1.49
Ample entre dents		=	21/40 * (PI * Mòdul)	1.65
Pas circular		=	PI * Mòdul	3.1
Radi d'entalla		=	(PI * Mòdul) /12	0.3
Angle entre dents		=	360 / Número de Dents	12
Angle de pressió	20°			

Taula 14. Valors de disseny per a corona de caixa reductora (Elaboració pròpia)



A part de l'engranatge en sí, es col·loca un carril tant dalt com baix de les dents, de manera que el moviment dels satèl·lits es trobe restringit transversalment. Es defineixen també 4 orificis, distanciats entre si per 31 mm, per poder fixar la corona al motor i al mòdul 3M1 (Figura 28).

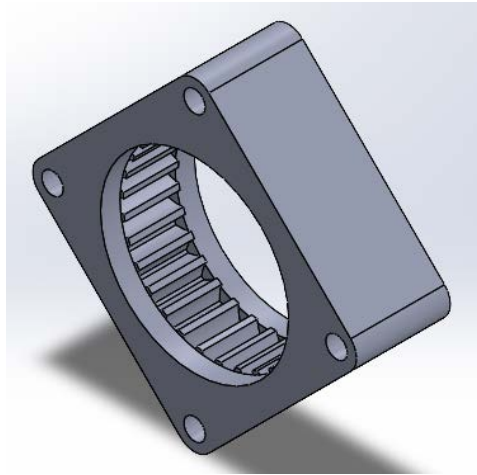


Figura 28. Disseny corona caixa reductora (Elaboració pròpia)

Porta-satèl·lits caixa reductora

Per tal de garantir un bon moviment dels satèl·lits, aquests han de tenir una guia, una peça que permeta el moviment de rotació de cada peça mitjançant la introducció d'eixos a cada un dels orificis i a la vegada s'encarregue de transmetre el moviment de translació al voltant del planeta.

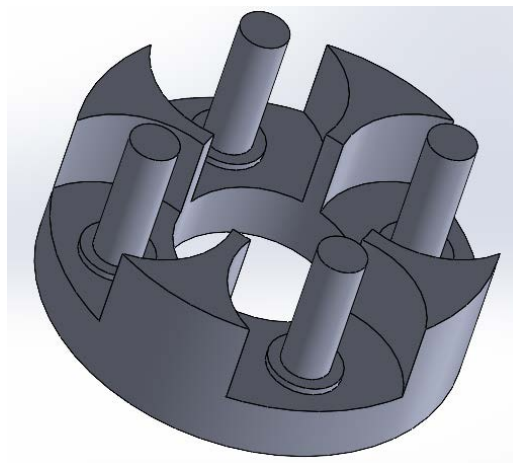


Figura 29. Disseny porta-satèl·lits caixa reductora (Elaboració pròpia)



Com es veu a la Figura 29, cada un dels satèl·lits es col·loca al seu respectiu eix, de manera que giren sobre aquest. Per tal d'evitar que els engranatges puguen caure, ja que durant la maniobrabilitat del braç robòtic es poden donar situacions en les que aquesta peça es trobe invertida, es dissenya una tapa.

Aquesta tapa compleix dos propòsits: servir com a restricció per als satèl·lits, impedit que aquests arriben a eixir de l'eix, i com a element transmissor del par motor una vegada reduït. Per aconseguir-ho, sobre la tapa es col·loca un eix de 8 mm de diàmetre que connecta amb la corriola del mòdul 3M1, de manera que la faça girar. Per evitar un concentrador de tensions excessiu en aquesta part, s'aplica un aixamfranat entre eix i tapa (Figura 30).

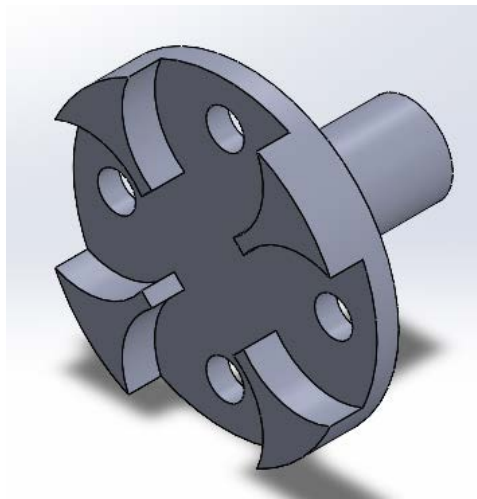


Figura 30. Disseny de tapa de caixa reductora (Elaboració pròpia)

Els forats que la tapa presenta coincideixen amb els eixos del port-satèl·lits, de manera que aquesta acobla mitjançant pressió, sense necessitat de caragols. No és necessari que en duga perquè la tapa es troba ubicada entre el motor i la paret del mòdul 3M1, de manera que a més de tancar amb aquests forats, té una pressió constant a les seves parets per part de motor i mòdul (aquests sí caragolats).

3.3.6 Peça mòdul 3M2

Els canvis al mòdul 3M2 es limiten a un augment de l'espai destinat per al motor Nema 17 0.36 N·m, ja que les dimensions del motor substituït excedeixen les del plantejat originalment. Donat que no es vol augmentar la longitud global de la peça, es redueix l'espessor que hi ha entre acoblament i rodament, mantenint les mesures destinades



per a aquests 2 elements sense modificacions. D'aquesta manera el nou disseny és es pot observar a la Figura 31.



Figura 31. Disseny mòdul 3M2 original (esquerra) i modificat (dreta) (Elaboració pròpia)

3.3.7 Pinça robòtica

L'últim dels subasseblatges que s'ha hagut de modificar per a la correcta inserció dels nous components és la pinça. Per tal d'acoblar el motor Dynamixel AX-12A no s'ha hagut de fer un simple canvi de dimensions, com és el cas del mòdul 3M2, ja que el nou motor té diferències substancials amb el servo motor original, de manera que s'ha alterat disseny i procés de muntatge (Figura 40). Les peces amb un nou redisseny són la placa superior, la inferior i el braç impulsor, concretament.

La placa superior (Figura 32) té un canvi a la profunditat deixada per al cap dels caragols, reduint-la lleugerament per tal de que l'extrem contrari d'aquests no tinga contacte amb el motor, ja que aquest es troba més proper a la placa inferior. També s'eliminen 2 orificis, que amb el nou disseny del braç impulsor no tenen propòsit pràctic a la pinça i poden endarrerir la impressió 3D.

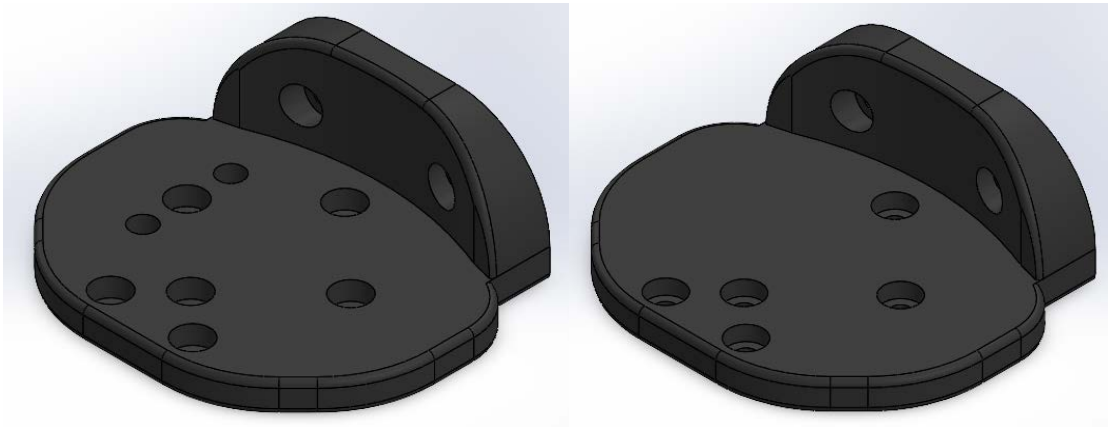


Figura 32. Disseny placa superior pinça original (esquerra) i modificat (dreta) (Elaboració pròpia)

Quant a la placa inferior (Figura 33), a aquesta se li retiren els orificis destinats a fixar el motor, ubicats als extrems, per tal de substituir-los per 2 protuberàncies més centralitzades, però amb la mateixa funció. A la part superior de la placa es realitzen 4 forats passants, que travessen dites protuberàncies amb la finalitat de permetre el caragolament de motor i pinça. A més se li dona més diàmetre a l'orifici destinat a ajuntar motor i braç impulsor per tal d'evitar fregaments innecessaris. Per últim, es canvien les ranures de les femelles, de tal manera que passen de tenir una secció hexagonal a una quadrada. Amb aquesta mesura se li dona més resistència al lliscament, es a dir, és més difícil que la rosca aplegue a desgastar tant el material com per a que aquesta pugui girar lliurement.

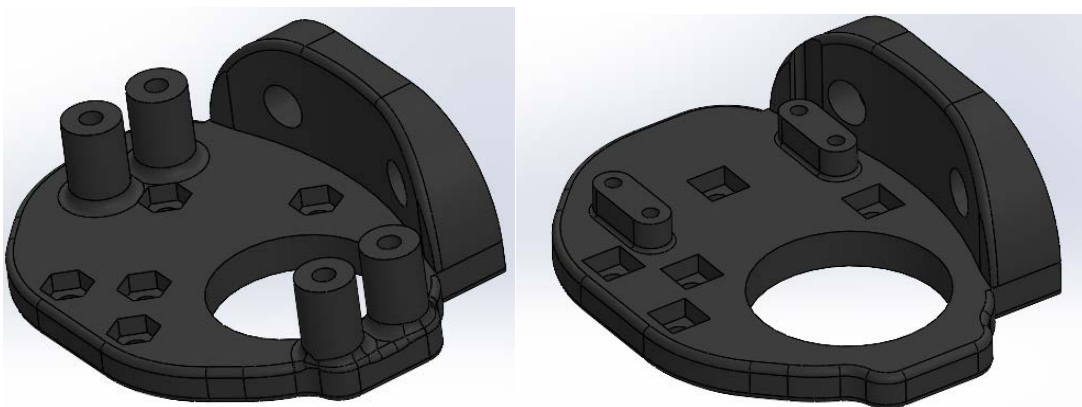


Figura 33. Disseny placa inferior pinça original (esquerra) i modificat (dreta) (Elaboració pròpia)



Pel que fa al braç impulsor (Figura 32), a aquest se li ha de modificar la cara que acobla amb el motor Dynamixel AX-12A, ja que el mètode d'unió és diferent. D'aquesta manera es realitzen 4 orificis de mètrica M2, disposats de manera equidistant al voltant de l'eix i s'allarga la part inferior del braç respecte l'original, per tal de que aquesta tinga contacte directe amb la cara superior del motor.

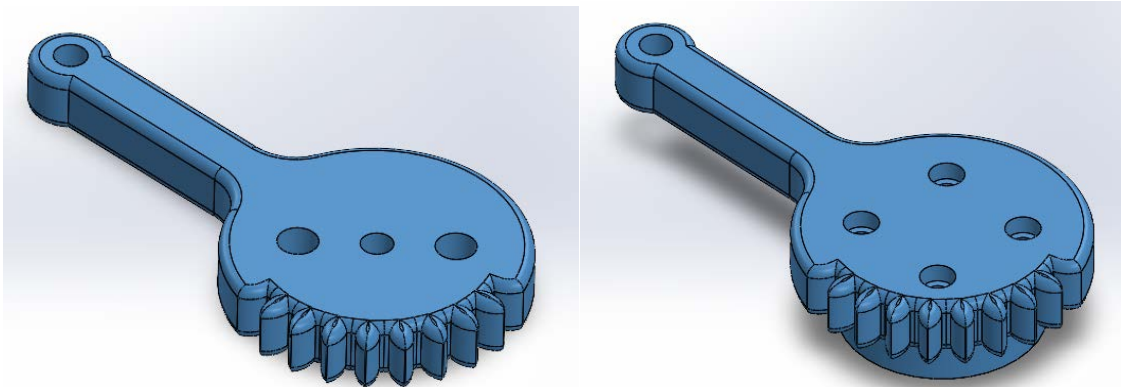


Figura 34. Disseny braç impulsor pinça original (esquerra) i modificat (dreta) (Elaboració pròpia)

3.3.8 Components no mostrats

En cas de que un dels components nomenats a l'apartat 1.2 no es trobe a l'apartat 3.3, implica que el disseny no ha sofrit cap canvi, de manera que les mesures es mantindran idèntiques a les originals. Aquestes es poden trobar a la pàgina web de BCN3D Moveo (*Github BCN3D Moveo*, n.d.). En concret es tracta dels mòduls 2M2, 4M1 i 4M2.



3.4 Anàlisi estàtic de l'engranatge planetari de la primera etapa

Per verificar la viabilitat del disseny proposat de l'engranatge s'ha realitzat un anàlisi estàtic amb Ansys Static Structural a fi de comprovar que les peces no sofrisquen deformacions plàstiques permanents, o no hi haja deformacions durant l'aplicació de l'esforç inviàbles per a un correcte funcionament de l'assemblatge.

Primerament es delimita la zona més crítica de l'engranatge, que és la relació entre el planeta i els satèl·lits de la primera etapa, al ser aquests els elements amb menys material i el mòdul més petit. De tal manera la zona objecte d'estudi es mostra a la Figura 35

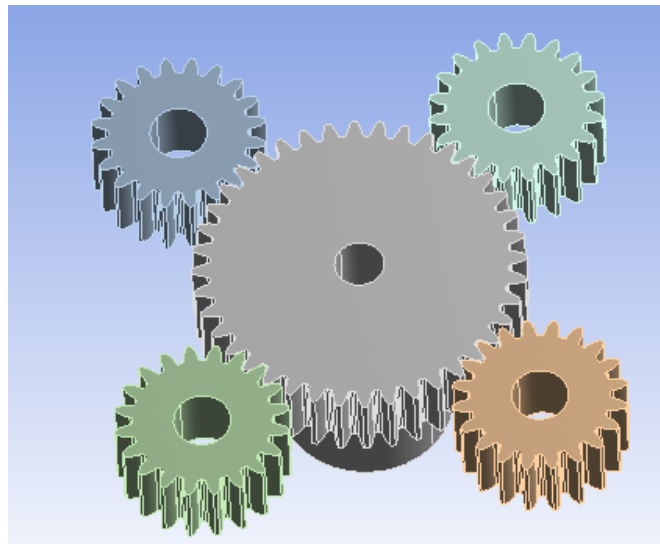


Figura 35. Zona objecte d'estudi Ansys (Elaboració pròpia)

Per tal de realitzar l'estudi s'han considerat les següents restriccions: fixes per a cadascun dels satèl·lits i amb opció de rotar per al planeta. Açò es calcula així per veure el punt més crític en el temps, que seria a l'inici del moviment. Pel que fa al tema de les forces, s'ha aplicat un par torçor sobre el planeta d'1.2 N·m, que seria el major valor de par que pot transmetre el motor pas a pas Nema 23 1.2 N·m.

Al no trobar-se l'onyx a les bases de dades de l'Ansys, s'ha hagut d'inserir manualment el valor de les característiques mecàniques més importants, com poden ser el límit



elàstic o el mòdul de Young, entre altres. Definit el material, es procedeix al mallat, afinant els paràmetres de malla a la zona de les dents, com es veu a la Figura 36

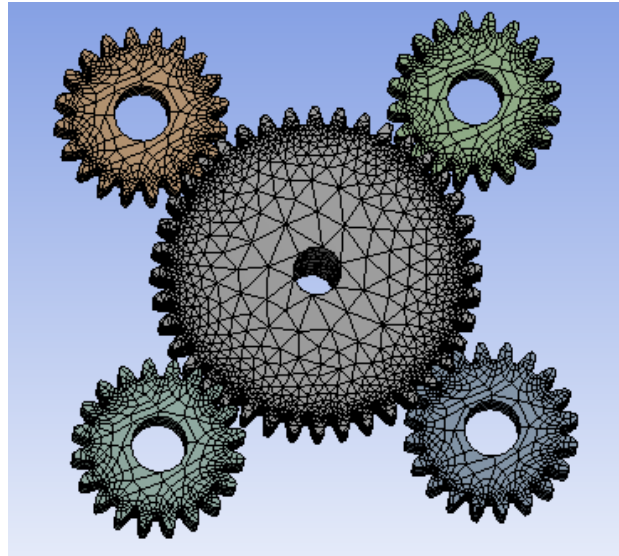


Figura 36. Mallat per a l'estudi estàtic de l'engranatge planetari primera etapa (Elaboració pròpia)

Una vegada definides les constants que es necessiten per a l'estudi, es procedeix a realitzar el càlcul de les solucions. D'aquesta manera s'obtenen dos resultats, un en el que es veuen les tensions equivalents de Von Mises (Figura 37) i un altre en el que es mostren les deformacions (Figura 38)

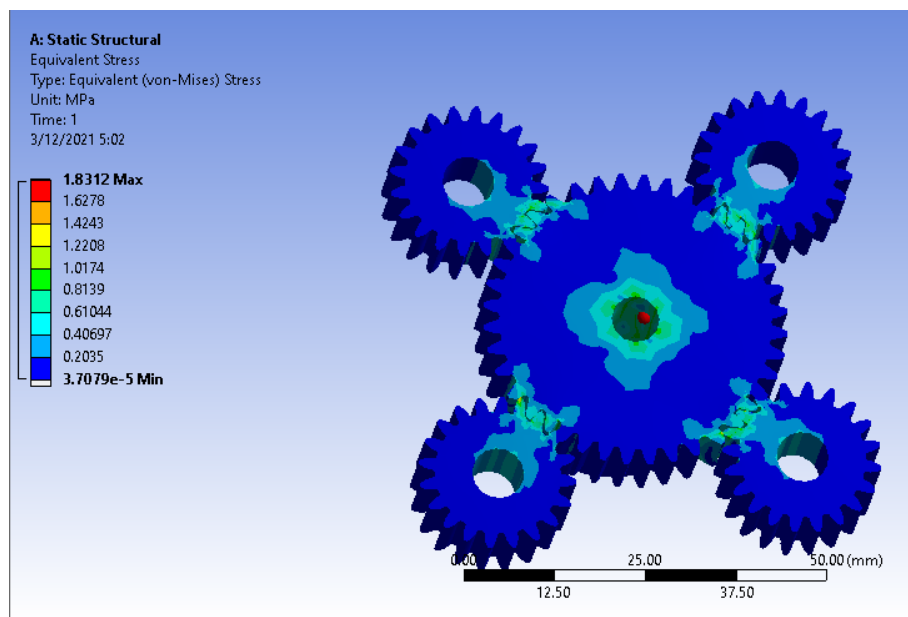


Figura 37. Tensions equivalents de Von Mises obtingudes a Ansys (Elaboració pròpia)

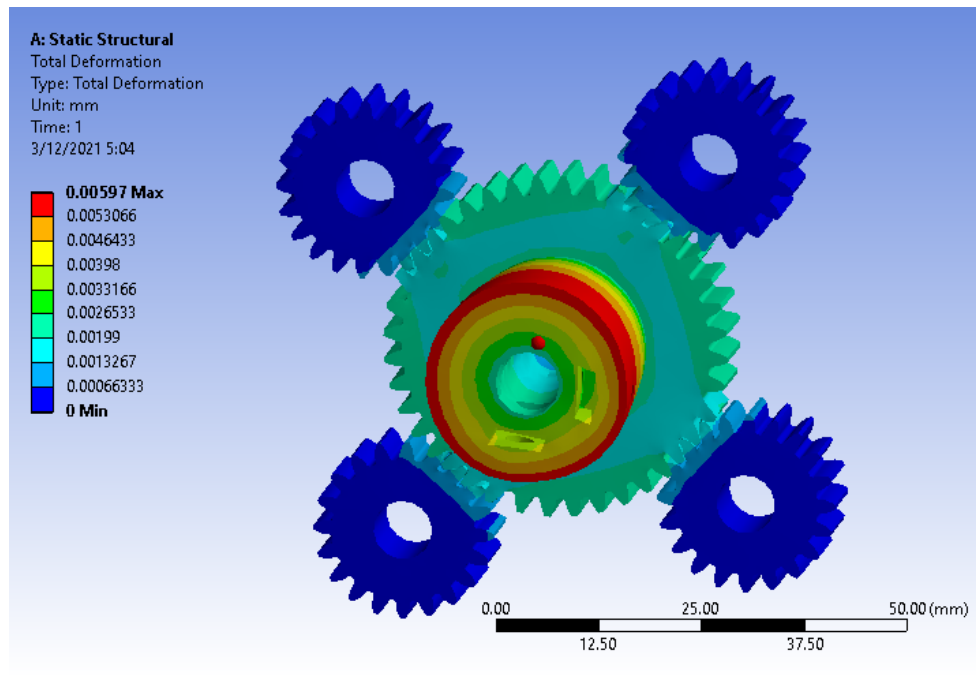


Figura 38. Deformacions obtingudes a Ansys (Elaboració pròpia)

Analitzant els resultats obtinguts, veiem que tant el material escollit com el disseny aguanten el par torçor del motor pas a pas sense deformacions severes. El límit elàstic de l'onix és de 36 MPa (Bárník et al., 2019), que comparat a la màxima deformació de Von Mises de 1.83 MPa, comprovem que l'onix es troba lluny del seu límit elàstic, de manera que qualsevol deformació sobre la peça retornarà al seu estat de forma original.

Pel que fa a les deformacions, aquestes oscil·len al voltant de 6 μm , una deformació minúscula tenint en consideració el tamany de les peces. D'aquesta manera és segur dir que cap deformació impedirà el correcte funcionament del mecanisme, evitant encallaments i altres possibles falles.

4 Muntatge del robot

4.1 Muntatge mecànic

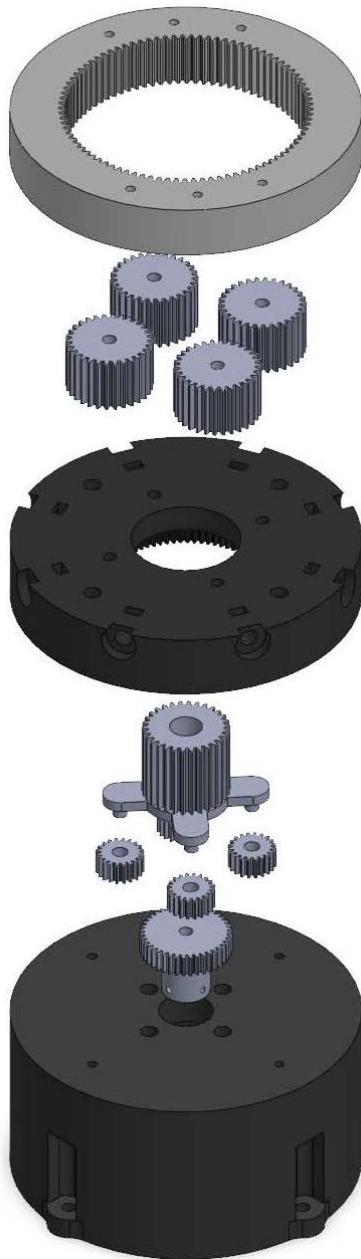


Figura 39. Base braç robòtic explosionada
(Elaboració pròpia)

Per explicar el muntatge mecànic del braç robòtic, només es consideren aquells mòduls que varien en gran mesura respecte al disseny original, ja que aquest es poden consultar a (*Github BCN3D Moveo*, n.d.)

Comencem per la base del braç robòtic, en la que s'utilitza, en ordre de col·locació, el material indicat a la Taula 15. La Figura 39 il·lustra el procés de muntatge.

Descripció	Quantitat
Motor pas a pas Nema 23 Base braç	1
Base del braç	1
Caragol M3 L:20mm	4
Planeta primera etapa	1
Satèl·lit primera etapa	1
Planeta segona etapa	1
Corona primera etapa	1
Caragol M4 L:40mm	4
Barra metàl·lica d:6mm L:37.5 mm	4
Satèl·lit segona etapa	1
Corona segona etapa	1

Taula 15. Elements per al muntatge de la base del braç robòtic (Elaboració pròpia)

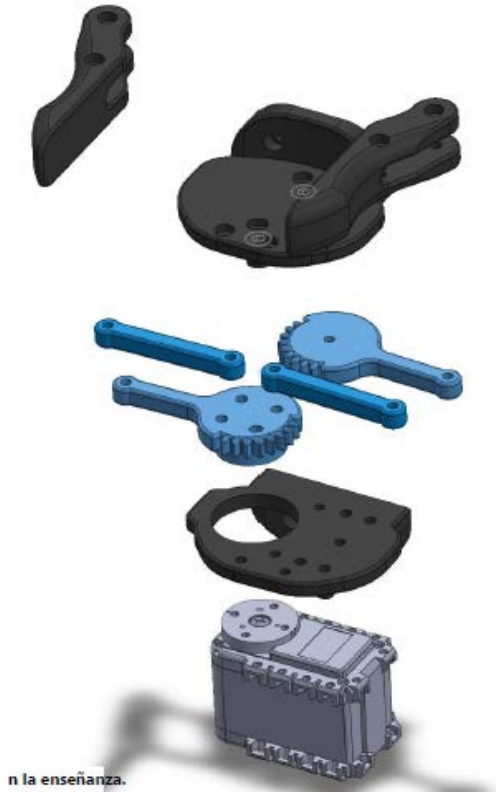


Figura 40. Pinça robòtica explosionada (Elaboració pròpia)

Per al muntatge de la pinça robòtica, mostrat a la Figura 40, s'ha fet ús del material de la Taula 16, en ordre de col·locació:

Descripció	Quantitat
Motor Dynamixel AX-12A	1
Rosques M3 quadrades	9
Placa inferior	1
Caragol M2 L: 16 mm	8
Braç impulsor	1
Caragol M2 L: 16 mm	4
Braç receptor	1
Braç de fixació	2
Cilindre separació de plaques	2
Placa superior	1
Caragols M3 L:16 mm	6
Agafadors	2
Rosques M3 hexagonals	4
Caragol M3 L:16 mm	4

Taula 16. Elements per al muntatge de la pinça robòtica

4.2 Muntatge elèctric

En aquest apartat es descriu com s'ha de fer el muntatge elèctric associat al braç robòtic. La Figura 43 mostra, de manera esquemàtica, com estarien interconnectats tots els elements. Primer es tractarà el muntatge elèctric corresponent al motor Dynamixel AX-12A i, posteriorment, el corresponent a la resta de motors pas a pas Nema.

1) Motor Dynamixel AX-12A

Mitjançant el convertidor LB-10 es redueix la tensió contínua proporcionada per la font d'alimentació HEP-320-24A de 24 Vcc a 12 Vcc, que és la tensió que necessita el Dynamixel Shield, i es fa la connexió d'acord al que mostra la Figura 41.

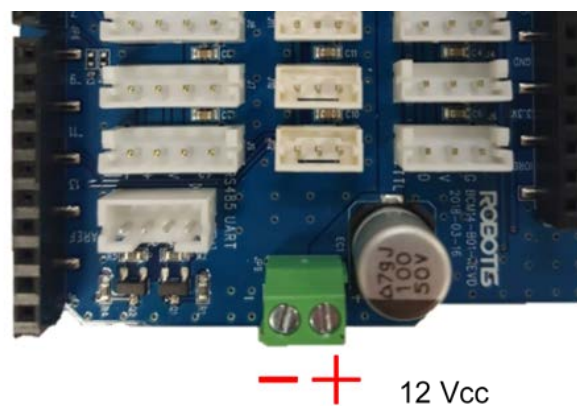


Figura 41. Alimentació de 12 Vcc al Dynamixel Shield ((Dynamixel Shield, n.d.)

Per poder alimentar d'aquesta manera el Dynamixel shield, en compte de fer-ho mitjançant la targeta Arduino, és necessari retirar la tapeta que porta de fàbrica aquest dispositiu, tal com es mostra a la Figura 42.

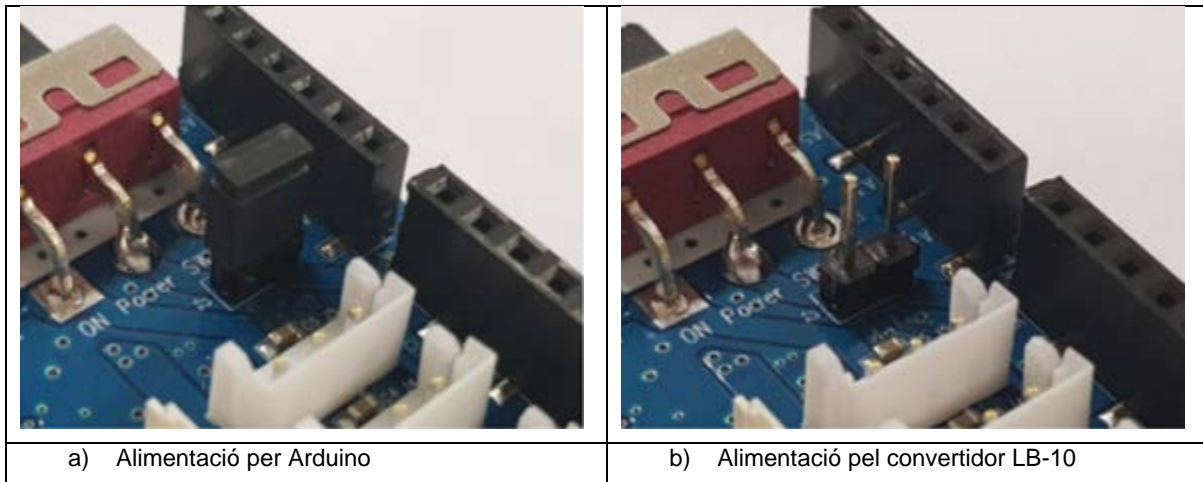


Figura 42. Com alimentar amb 12 Vcc al Dynamixel Shield (Dynamixel Shield, n.d.)

Aquest shield presenta la mateixa posició dels pins que la targeta Arduino UNO. En cas d'acoblar el shield a la targeta Arduino Mega 2560, es pot veure fàcilment la correspondència que hi ha entre els pins d'ambdues targetes.

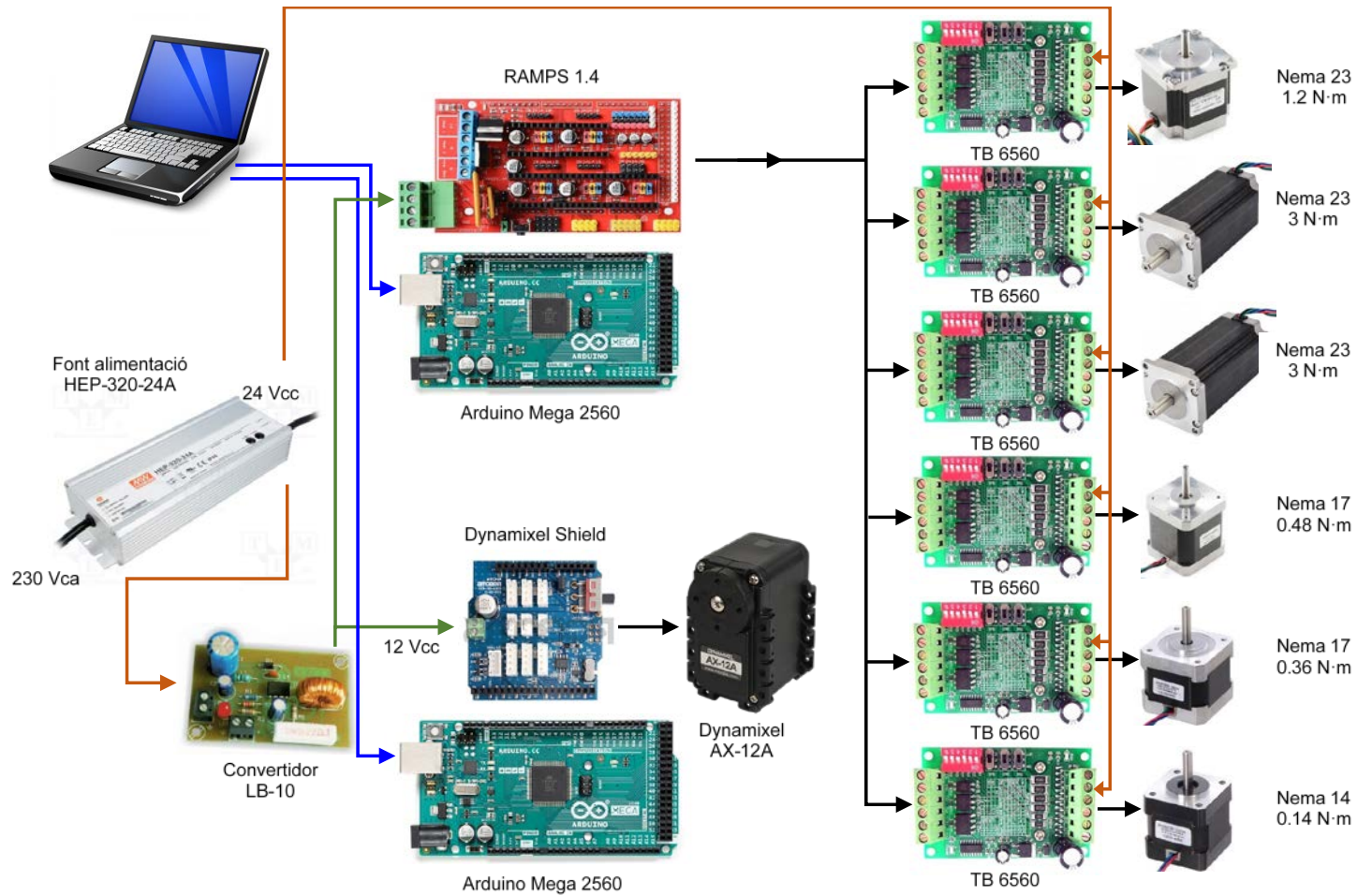


Figura 43. Esquema del muntatge elèctric (Ref.: elaboració pròpia)

La connexió entre el Dynamixel Shield i el motor Dynamixel AX-12A es fa amb un connector JST mascle-mascle de tres pins des de qualsevol dels tres ports TTL del shield (Figura 44), a qualsevol dels dos ports del motor (Figura 45).

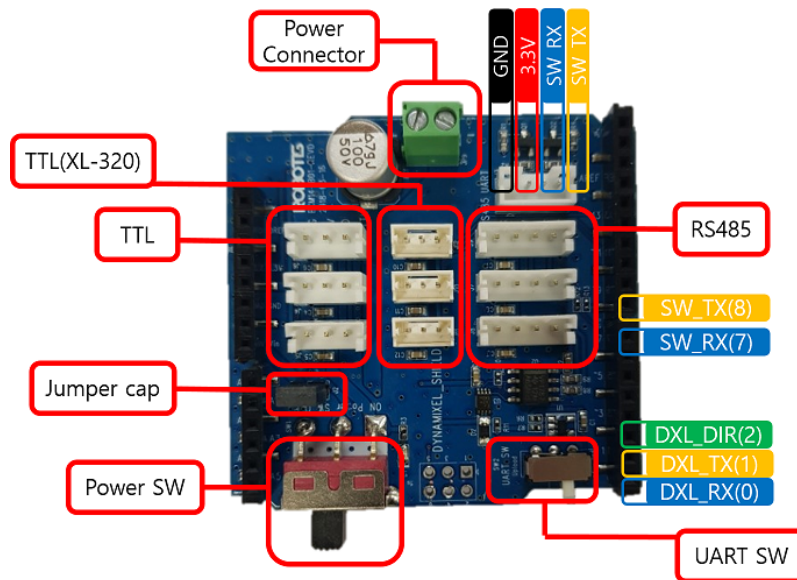


Figura 44. Ports TTL del Dynamixel Shield (Dynamixel Shield, n.d.)



Figura 45. Ports del motor Dynamixel AX-12A (Dynamixel AX-12A, n.d.)

2) Motors pas a pas Nema.

Els 6 motors pas a pas Nema fan ús d'un únic shield RAMPS 1.4, acoblat a una targeta Arduino Mega 2560, i d'una placa controladora TB6560 per cadascun d'ells. El RAMPS 1.4 s'alimenta a 12 Vcc i es connecta amb el TB6560 del motor Nema corresponent de la forma que es mostra a la Figura 46 i a la Figura 47.

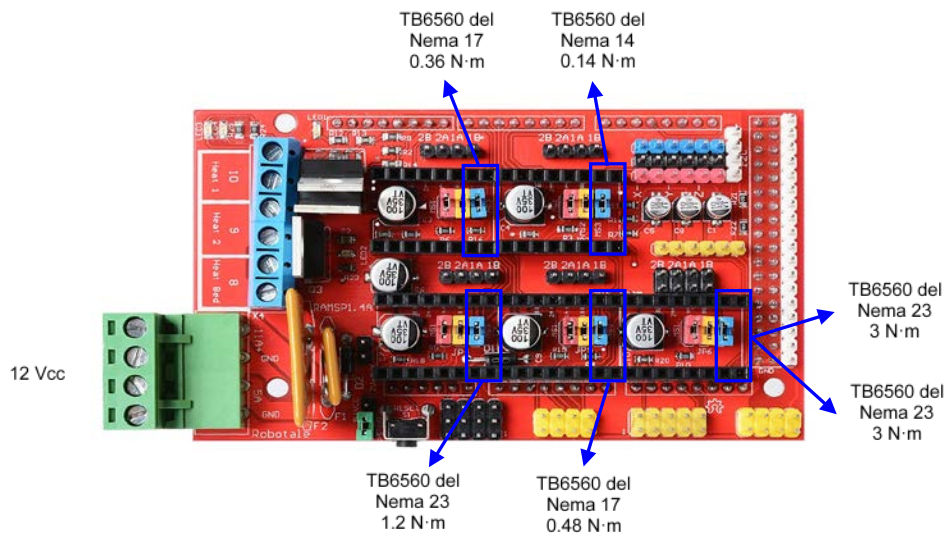


Figura 46. Connexions del RAMPS 1.4 amb els TB6560 de cada motor pas a pas Nema (Elaboració pròpia)

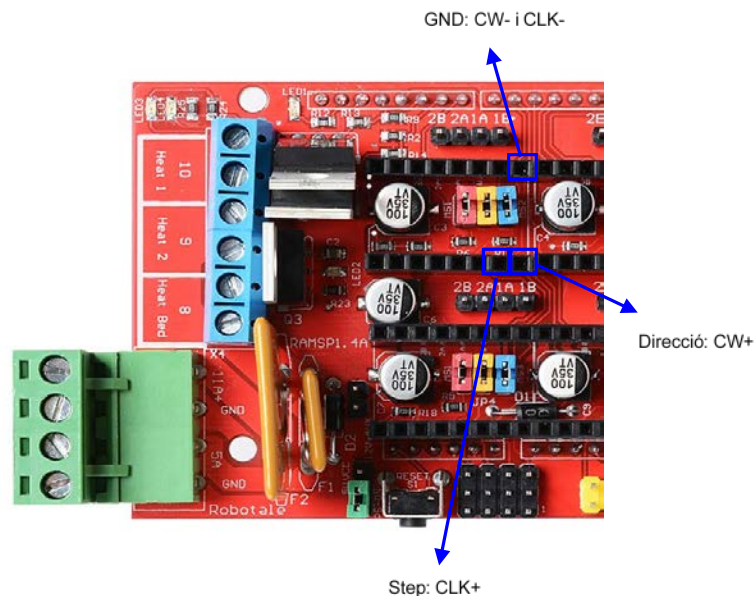


Figura 47. Connexions GND (CW- i CLK-), direcció (CW+) i step (CLK+) del RAMPS 1.4 (Elaboració pròpia)

La placa controladora TB6560 requereix una alimentació de 24 Vcc proporcionada per la font d'alimentació HEP-320-24A. A més, el TB6560 de cada motor pas a pas Nema fa ús de les connexions GND, CW+ i CLK+ del RAMPS 1.4 assignats a cada motor. Amb CLK+ se li indica quants graus ha de girar el motor i amb CW+ en quina direcció, segons la informació que es transmeta mitjançant la targeta Arduino Mega 2560. Per una altra banda, al TB6560 se li connecten els 4 cables corresponents a cada motor pas a pas Nema. Totes aquestes connexions es poden observar a la Figura 48.



Figura 48. Connexions GND (CW- i CLK-), direcció (CW+) i step (CLK+) del TB6560, alimentació de 24 Vcc i connexions A-, A+, B- i B+ dels motors pas a pas Nema (Elaboració pròpia)

Cada placa TB6560 presenta una sèrie d'interruptors SW1, SW2, SW3, S1, S2, S3, S4, S5 i S6, com es veu a la Figura 48, que, activant-los o desactivant-los, permeten a l'usuari adaptar el TB6560 a cada motor pas a pas Nema. Així, segons siga la intensitat de corrent de cada motor, s'han de posicionar els interruptors SW1, SW2, SW3 i S1 d'acord a la Taula 17.

I (A)	0.3	0.5	0.8	1	1.1	1.2	1.4	1.5	1.6	1.8	2	2.2	2.6	3
SW1	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	OFF	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON
SW2	OFF	OFF	ON	ON	ON	OFF	ON	OFF	OFF	ON	OFF	ON	ON	ON
SW3	ON	ON	OFF	OFF	ON	OFF	ON	ON	OFF	OFF	ON	ON	OFF	ON
S1	ON	OFF	ON	OFF	ON	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	OFF

Taula 17. Valor dels interruptors SW1, SW2, SW3 i S1 del TB6560 segons siga la intensitat de corrent de cada motor pas a pas Nema (Elaboració pròpia)



L'interruptor S2 normalment està a la posició ON, per fixar que la intensitat de parada del motor siga la més menuda possible (20% de la intensitat nominal del motor). Per una altra banda, els interruptors S3 i S4 serveixen per anar reduint el pas per defecte que tinga cada motor Nema, segons s'indica a la Taula 18.

Resolució del pas	S3	S4
1 step	OFF	OFF
1/2 step	ON	OFF
1/8 step	ON	ON
1/16 step	OFF	ON

Taula 18. Valor dels interruptors S3 i S4 del TB6560 segons siga la resolució del pas que es vulga per cada motor pas a pas Nema (Elaboració pròpia).

Finalment, indicar que els interruptors S5 i S6 solen estar en les posicions OFF i OFF, respectivament, per fixar el "decay setting" al 0%.



5 Posada a punt

Aquest apartat pretén descriure els procediments que s'han seguit per assegurar que el braç robòtic funciona correctament. S'ha establert un procediment per cada un dels diferents motors pas a pas que integren el braç, per poder verificar el moviment correcte del sistema mecànic associat a cada motor:

- 1.- Posada a punt del motor Nema 23 1.2 N·m a la base del braç
- 2.- Posada a punt del motor Nema 23 3 N·m al mòdul 2M1
- 3.- Posada a punt del motor Nema 17 0.48 N·m al mòdul 3M1
- 4.- Posada a punt del motor Nema 17 0.36 N·m al mòdul 3M2
- 5.- Posada a punt del motor Nema 14 0.14 N·m al mòdul 4M1
- 6.- Posada a punt de les pinces del braç robòtic associades al motor Dynamixel AX-12A.

En aquest apartat només es farà una descripció del procediment 6. La resta de procediments són semblants i, en tot cas, presenten menys dificultats.

S'ha fet ús de les següent llibreries per a Arduino que proporciona el Dynamixel Shield (*Libraries Dynamixel Shield*, n.d.):

- Dynamixel2Arduino Library
- DynamixelShield Library

Ambdues llibreries són necessàries per poder executar els fitxers d'exemples que contenen dites llibreries. Per verificar el funcionament correcte del sistema objecte d'aquest procediment s'ha fet ús del fitxer "position_mode", que es troba dins de l'apartat "basic" de la llibreria DynamixelShield, tal com es pot veure a la Figura 49.

El fitxer-exemple "position_mode" s'ha hagut de modificar per tindre en compte el protocol i el baudrate corresponent al motor Dynamixel AX-12A. Així, s'ha canviat el protocol de 2 a 1, i el baudrate de 57600 bps a 1000000 bps, tal com es pot veure a la Figura 50.

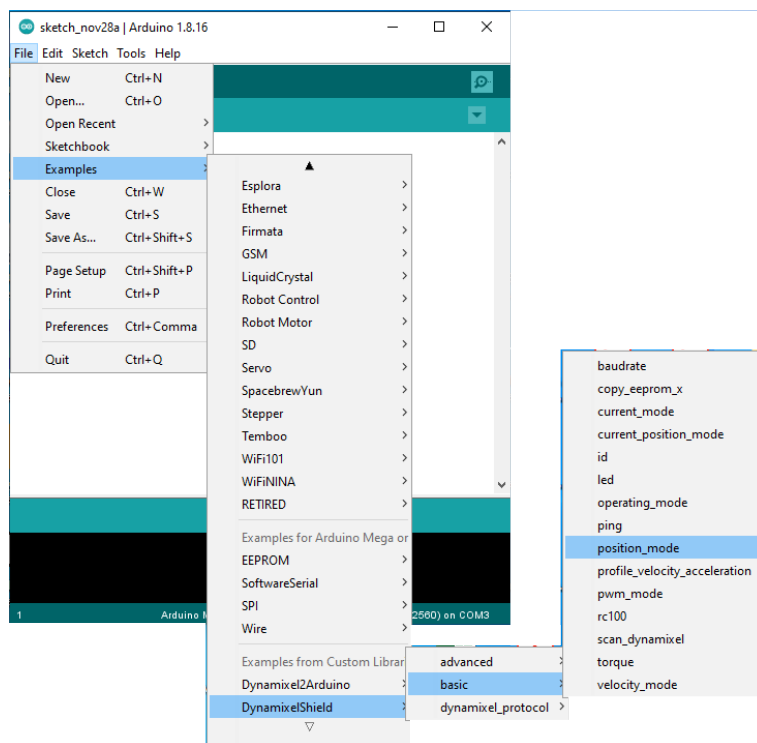


Figura 49. Ubicació del fitxer `position_mode` utilitzat per provar les pinces del braç robòtic (Elaboració pròpia)

```
position_mode_Dani | Arduino 1.8.16
File Edit Sketch Tools Help
position_mode_Dani
#if defined(ARDUINO_AVR_UNO) || defined(ARDUINO_AVR_MEGA2560)
#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial soft_serial(7, 8); // DYNAMIXELShield UART RX/TX
#define DEBUG_SERIAL soft_serial
#elif defined(ARDUINO_SAM_DUE) || defined(ARDUINO_SAM_ZERO)
#define DEBUG_SERIAL SerialUSB
#else
#define DEBUG_SERIAL Serial
#endif
const uint8_t DXL_ID = 1;
const float DXL_PROTOCOL_VERSION = 1.0;
DynamixelShield dxl;
//This namespace is required to use Control table item names
using namespace ControlTableItem;
void setup() {
// put your setup code here, to run once:
// For Uno, Nano, Mini, and Mega, use UART port of DYNAMIXEL Shield to debug.
DEBUG_SERIAL.begin(115200);
// Set Port baudrate to 57600bps. This has to match with DYNAMIXEL baudrate.
dxl.begin(1000000);
// Set Port Protocol Version. This has to match with DYNAMIXEL protocol version.
```

Figura 50. Modificacions fetes al fitxer `position_mode` utilitzat per provar les pinces del braç robòtic (referència: elaboració pròpia)



Abans de carregar el nou fitxer “position_mode” a la targeta Arduino Mega 2560, en el Dynamixel Shield s’ha de verificar que està desconnectada l’alimentació al motor (mitjançant l’interruptor d’alimentació que porta el mateix Shield en posició Off), així com que l’interruptor UART està en posició Upload (Figura 51). Una vegada feta aquesta càrrega l’interruptor UART es posa en la posició Dynamixel i l’interruptor d’alimentació es posa en posició On, de manera que el motor Dynamixel AX-12A s’activa i comença a fer moviments repetitius que demostren el funcionament adequat de les pinces del braç robòtic.

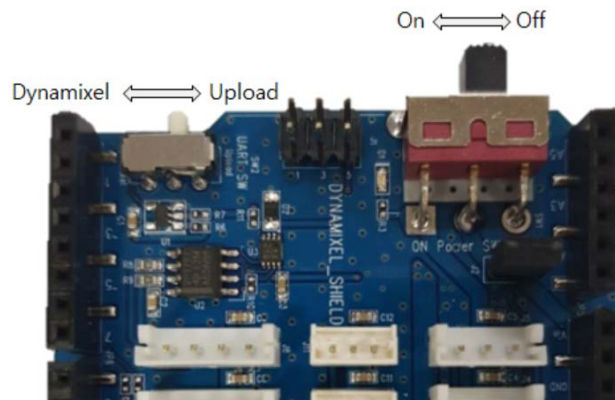


Figura 51. Opcions dels interruptors del Dynamixel Shield (Dynamixel Shield, n.d.)



6 Estudi econòmic

Per a l'elaboració del pressupost es tindrà en compte el cost dels components adquirits i el cost d'un graduat en Enginyeria Mecànica per a dur a terme el disseny, muntatge i posada a punt del braç robòtic.

6.1 Cost dels components adquirits

En primer lloc es consideren tots els components elèctrics utilitzats en el braç robòtic (Taula 19)

Descripció	Preu unitari (€)	Quantitat	Preu total (€)
Arduino Mega 2560	41.93	2	83.86
Placa controladora TB6560	13.26	6	79.56
Font d'alimentació HEP-320-24A (24 V, 320 W)	178.68	1	178.68
Shield RAMPS V1.4	12.34	1	12.34
Convertidor LB-10 de 24 V a 12 V	27.77	1	27.77
Dynamixel Shield	28.95	1	28.95
Motor Nema 23 1.2 N·m Base braç	48.01	1	48.01
Motor Nema 23 3 N·m Mòdul 2M1	36.50	2	73.00
Motor Nema 17 0.48 N·m Mòdul 3M1	22.16	1	22.16
Motor Nema 17 0.36 N·m Mòdul 3M2	15.94	1	15.94
Motor Nema 14 0.14 N·m Mòdul 4M1	15.94	1	15.94
Dynamixel AX-12A Pinça robòtica	65.00	1	65.00
Ventilador axial DC 24 V 80 x 80 mm	11.13	1	11.13
Ventilador axial DC 24 V 50 x 50 mm	31.87	1	31.87
Cable subministrador de potència IEC 1.8 m	5.40	1	5.40
Cable USB 2.0 AM/BM 1.8 m	9.30	2	18.60
Preu total (€)			718.21

Taula 19. Pressupost components elèctrics (Elaboració pròpia)



Seguidament, es presenta el llistat de components que ajuden a la transmissió del par torçor dels motors com poden ser corrioles, corretges i altres elements semblants (Taula 20).

Descripció	Preu unitari (€)	Quantitat	Preu total (€)
Barra llisa d'acer-134 mm	5.58	1	5.58
Barra llisa d'acer-114 mm	4.74	1	4.74
Barra llisa d'acer-80 mm	3.33	1	3.33
Rodament 608ZZ 8 mm x 22 mm x 7 mm	5.60	10	56.00
Rodament 625ZZ 5 mm x 16 mm x 5 mm	4.19	8	33.52
Rodament 624ZZ 4 mm x 13 mm x 5 mm	5.70	9	51.30
Rodament 623ZZ 3 mm x 10 mm x 4 mm	6.67	3	20.01
Insert roscat M4	0.29	3	0.87
Insert roscat M3	0.28	20	5.66
Corriola T5, Bore 8 mm, 14 tooth, 17 mm width	12.33	2	24.66
Corriola T5, Bore 5 mm, 10 tooth, 17 mm width	12.33	2	24.66
Barra roscada M8 L 42 mm	0.04	1	0.04
Acoplament 5 a 8 mm rígid	120.64	1	120.64
Brides	0.23	10	2.26
Coixinet 5 mm x 8 mm x 10 mm	0.65	8	5.16
Coixinet 8 mm x 12 mm x 20 mm	1.56	2	3.12
Corretja dentada T5, 16 mm ample, L 180 cm	56.65	1.8	101.97
Preu total (€)			463.52

Taula 20. Pressupost elements de transmissió de par torçor (Elaboració pròpia)



També s'estudia la inversió destinada als "fasteners" (Taula 21), consistents en la seva majoria de caragols i rosques de diferents mètriques i longituds. Per al càlcul del preu s'ha calculat el preu unitari de cada unitat, ja que aquests venen en conjunts de peces, de tal manera que s'ha dividit el preu del producte entre el nombre d'elements que el conformen.

Descripció	Material	Preu unitari (€)	Quantitat	Preu total (€)
Caragol A: M-3 Dimensió B: 10 mm	Acer	0.21	30	6.37
Caragol A: M-3 Dimensió B: 12 mm	Acer	0.15	6	0.88
Caragol A: M-3 Dimensió B: 16 mm	Acer	0.22	13	2.83
Caragol A: M-3 Dimensió B: 20 mm	Acer	0.22	4	0.90
Caragol A: M-3 Dimensió B: 25 mm	Acer inoxidable	0.57	5	2.83
Caragol A: M-3 Dimensió B: 30 mm	Acer inoxidable	0.55	2	1.10
Caragol A: M-3 Dimensió B: 40 mm	Acer	0.34	7	2.38
Caragol A: M-4 Dimensió B: 12 mm	Acer inoxidable	0.95	2	1.90
Caragol A: M-4 Dimensió B: 10 mm	Acer inoxidable	0.60	2	1.21
Caragol A: M-4 Dimensió B: 16 mm	Acer inoxidable	0.31	8	2.48
Caragol A: M-4 Dimensió B: 40 mm	Acer	0.31	8	2.46
Caragol A: M-5 Dimensió B: 20 mm	Acer inoxidable	0.31	8	2.50
Caragol A: M-8 Dimensió B: 65 mm	Acer	0.83	1	0.83
Caragol A: M-4 Dimensió B: 25 mm	Acer	0.25	4	1.01
Dimensió A: M-3 Rosca	Acer inoxidable	0.09	30	2.84
Dimensió A: M-4 Rosca	Acer inoxidable	0.04	4	0.17
Dimensió A: M-4 Rosca blocant	Acer	0.07	18	1.28
Dimensió A: M-5 Rosca blocant	Acer	0.07	16	1.19
Dimensió A: M-8 Rosca blocant	Acer	0.12	2	0.24
Caragol A: M-4 Dimensió B: 20 mm	Acer	0.23	3	0.70
Caragol A: M-3 Dimensió B: 8 mm	Acer	0.19	4	0.77
Caragol A: M-4 Dimensió B: 30 mm	Acer	0.25	8	2.04
Caragol A: M-3 Dimensió B: 35 mm	Acer	0.32	4	1.28
Volandera M-3	Acer	0.01	10	0.09
Caragol A: M-6 Dimensió B: 20 mm	Acer inoxidable	0.41	4	1.65
Caragol A: M-4 Dimensió B: 50 mm	Acer inoxidable	0.93	6	5.57
Caragol A: M-5 Dimensió B: 14 mm	Acer	0.20	8	1.63
Preu total (€)				49.11

Taula 21. Pressupost "fasteners" (Elaboració pròpia)



Per tal d'obtenir el cost del braç robòtic físic es sumen els tres costos descrits abans, donant un valor de 1230.84 € (Taula 22).

Descripció	Preu total (€)
Pressupost components elèctrics	718.21
Pressupost elements de transmissió	463.52
Pressupost "fasteners"	49.11
Pressupost braç robòtic	1230.84

Taula 22. Pressupost del braç robòtic (Elaboració pròpia)

6.2 Cost del graduat en Enginyeria Mecànica

En aquest apartat es considera el cost associat a les tasques de disseny de les peces, la preparació de la impressió 3D, l'adquisició de materials, l'anàlisi estàtic, el muntatge i la posada a punt, realitzades per un graduat en Enginyeria Mecànica (Taula 23).

Descripció	Temps (h)	Preu unitari (€/h)	Preu total (€)
Disseny de les peces	130	20	2600
Preparació impressió 3D	20	20	400
Adquisició de material	30	20	600
Anàlisi estàtic	50	20	1000
Muntatge	50	20	1000
Posada a punt	50	20	1000
Total	330 h		6600 €

Taula 23. Pressupost associat a graduat en Enginyeria Mecànica (Elaboració pròpia)

Tenint en compte tots els costos computats, podríem establir que el cost total associat al braç robòtic dissenyat, muntat i posat a punt en aquest TFG és de 7830.84 €.



7 Conclusions

Al llarg d'aquest treball, s'ha redissenyat amb èxit la base del braç robòtic per tal d'integrar el motor pas a pas a l'interior d'aquest, creant, a més, un engranatge planetari de doble etapa completament funcional, mantenint una relació de transmissió adequada per al moviment del braç. També s'ha realitzat un estudi estàtic amb Ansys a les zones més crítiques de l'engranatge, per tenir una validació teòrica de la viabilitat del disseny.

S'han substituït satisfactòriament els elements necessaris del braç robòtic original BCN3D Moveo i s'ha explicat el muntatge, tant mecànic com elèctric, de la totalitat del braç, així com s'ha comprovat el funcionament d'aquest empíricament, detallant els passos seguits per tal d'aconseguir-ho.

Finalment s'ha realitzat un pressupost del cost total del braç, de 7830.84 €, tenint en compte els costos materials i d'enginyeria.



8 Bibliografia

Arduino. (n.d.). <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>

Bárník, F., Vaško, M., Handrik, M., Dorčiak, F., & Majko, J. (2019). Comparing mechanical properties of composites structures on Onyx base with different density and shape of fill. *Transportation Research Procedia*, 40, 616–622. <https://doi.org/10.1016/J.TRPRO.2019.07.088>

BCN3D Moveo. (n.d.). <https://www.bcn3d.com/es/sobre-nosotros/>

Besa González, A. J. (2016). *Diseño de máquinas* (F. Valero Chuliá (Ed.)). Universitat Politècnica de València.

Dynamixel AX-12A. (n.d.). <https://botland.store/standard-servos/13984-servo-robotis-dynamixel-ax-12a-8809052930196.html>

Dynamixel Shield. (n.d.). https://emanual.robotis.com/docs/en/parts/interface/dynamixel_shield/

Farah, S., Anderson, D. G., & Langer, R. (2016). Physical and mechanical properties of PLA, and their functions in widespread applications — A comprehensive review. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 107, 367–392. <https://doi.org/10.1016/J.ADDR.2016.06.012>

Github BCN3D Moveo. (n.d.). <https://github.com/BCN3D/BCN3D-Moveo>

Horvath, J. (2014). *Mastering 3D Printing* (1st ed. 20). Apress. <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-0025-4>

Karabegović, I., Turmanidze, R., & Dašić, P. (2020). Robotics and automation as a foundation of the fourth industrial revolution-industry 4.0. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 128–136. https://doi.org/10.1007/978-3-030-40724-7_13

Kumar, K. (2020). *Mastering SolidWorks Practical Examples* (D. Zindani & J. P. Davim (Eds.); 1st ed. 20). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-38901-7>

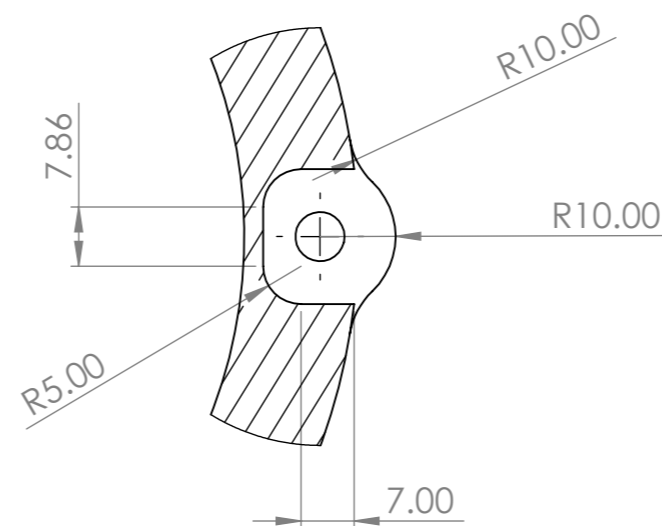
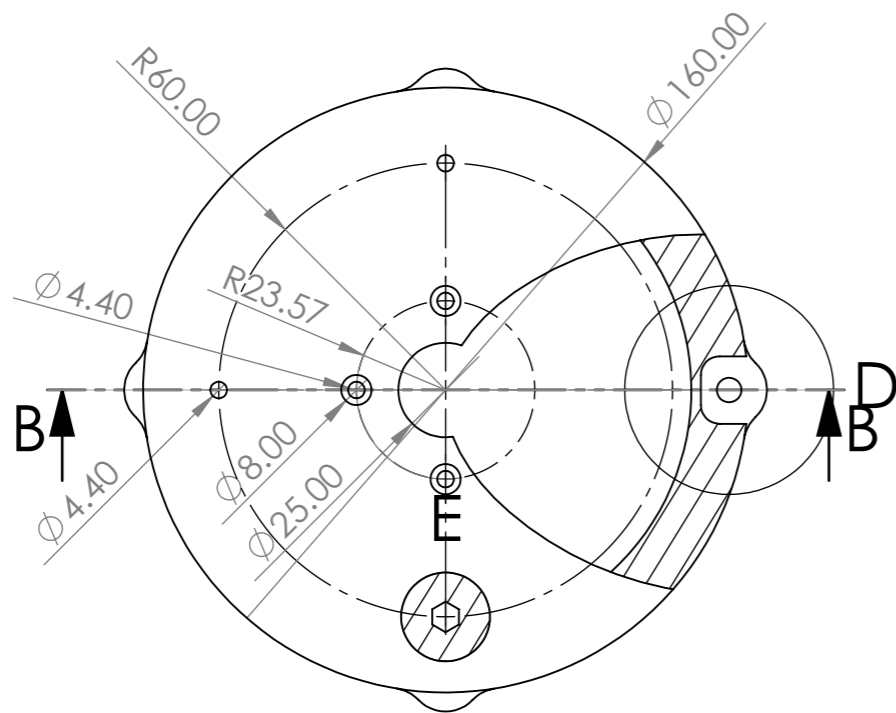
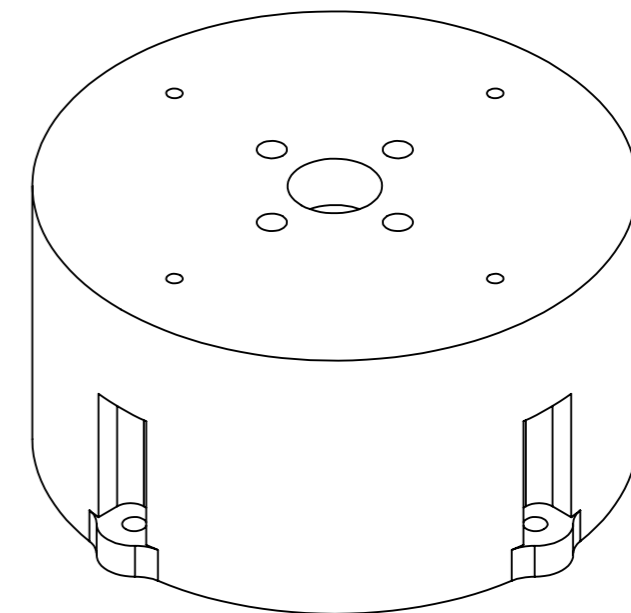
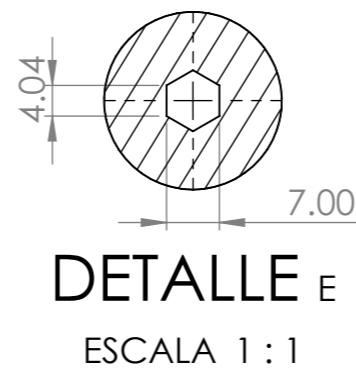
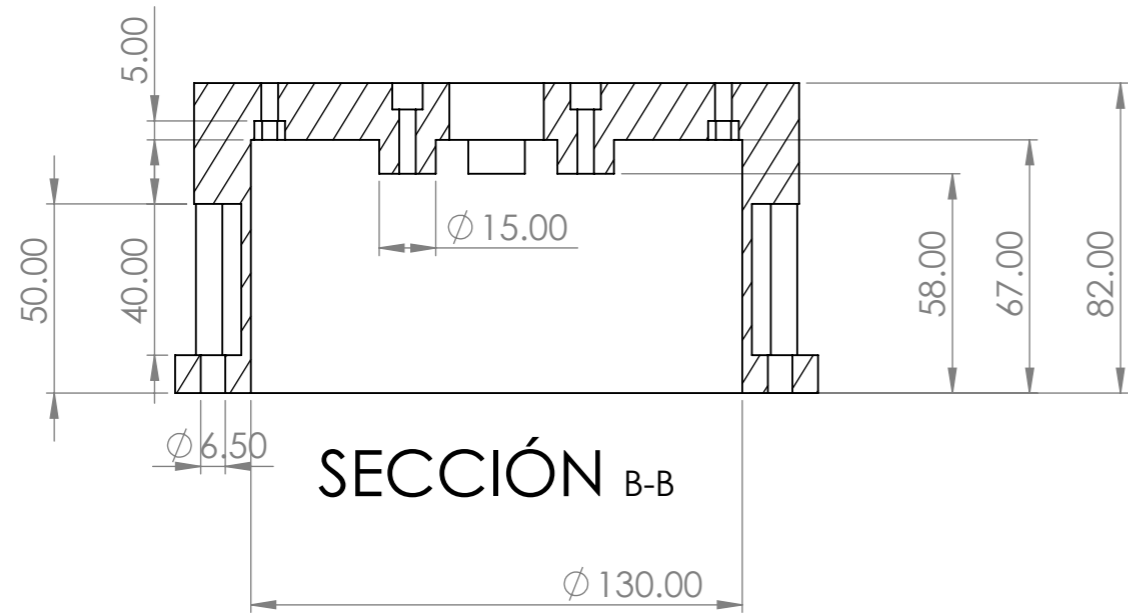
Libraries Dynamixel Shield. (n.d.). https://emanual.robotis.com/docs/en/parts/interface/dynamixel_shield/#dynamixel-shield-libraries



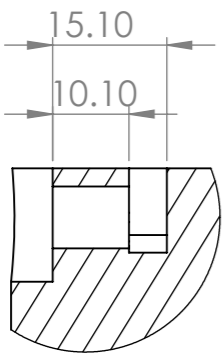
UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

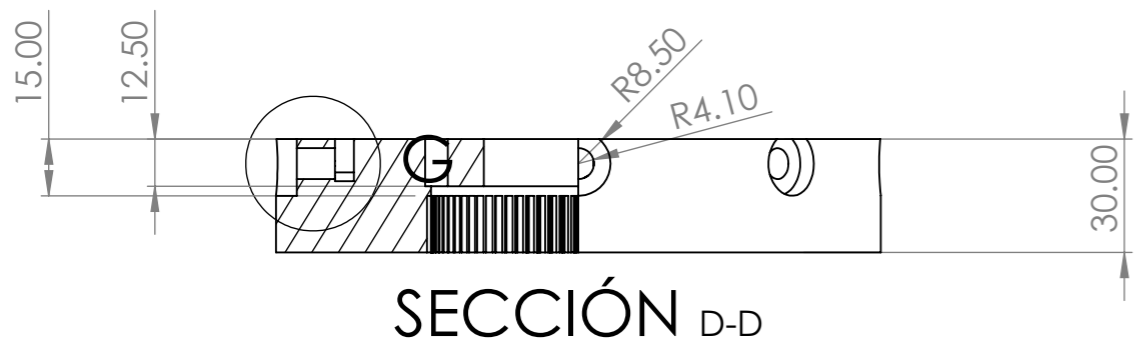
9 Annexes



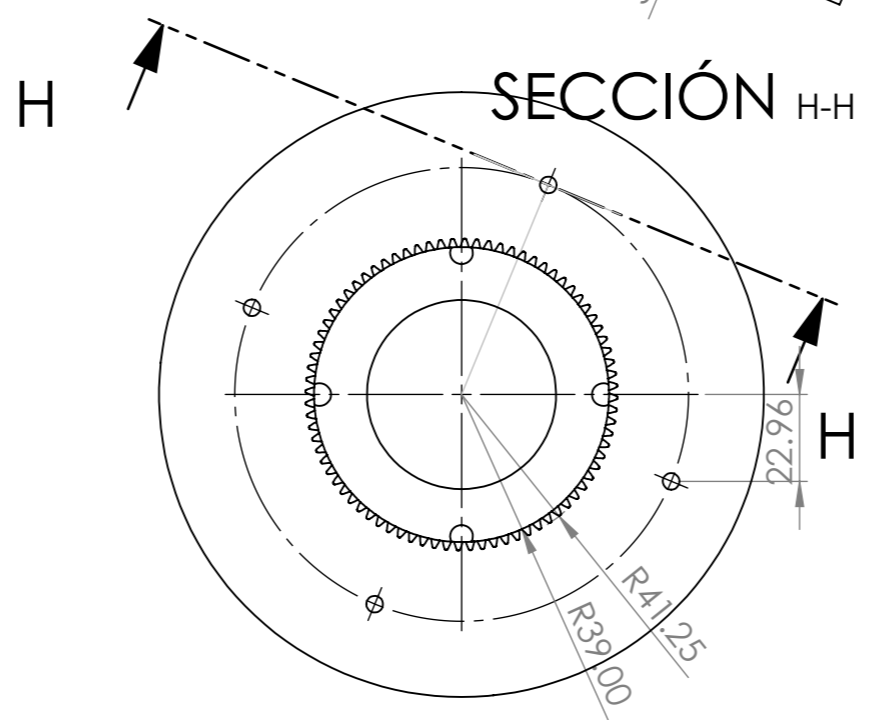
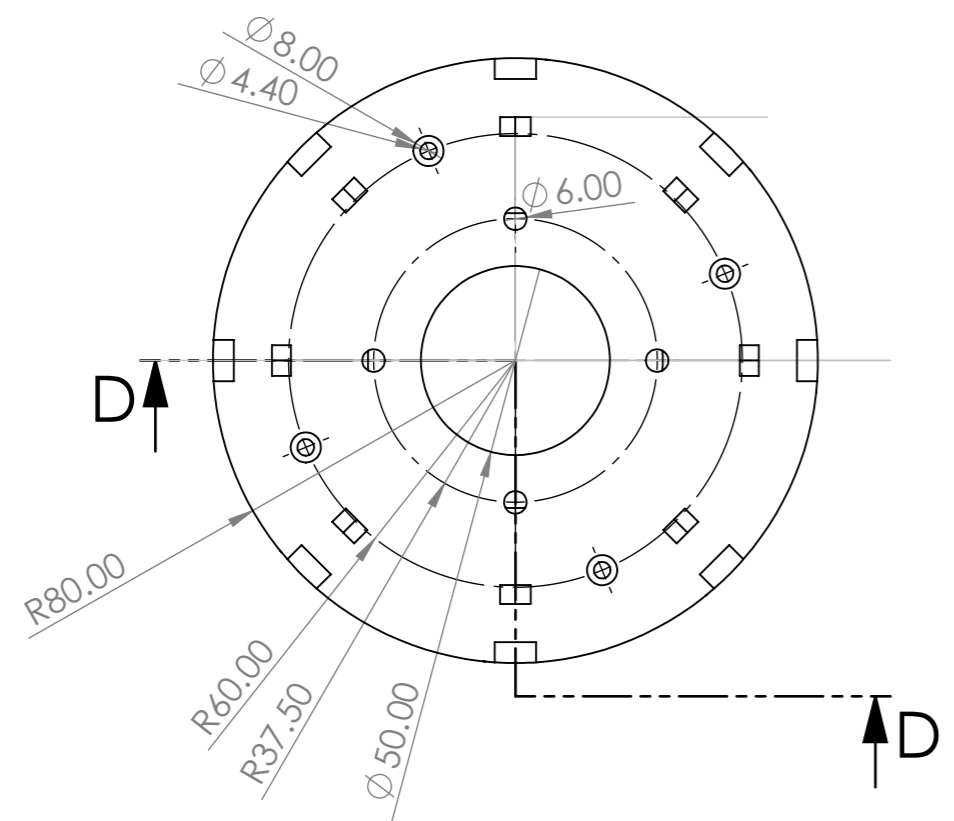
SISTEMA		AUTOR Dani Cardona Chiong	DATA 03-12-2021
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		TREBALL TFG	
		<i>Redisseny, muntatge i posada a punt d'un braç robòtic educatiu</i>	
MATERIAL: Onyx		TÍTOL:	
		NÚM. DE DIBUIX	
Totes les cotes en mm menys les indicades		Plànol 1	A3
			E 1:2



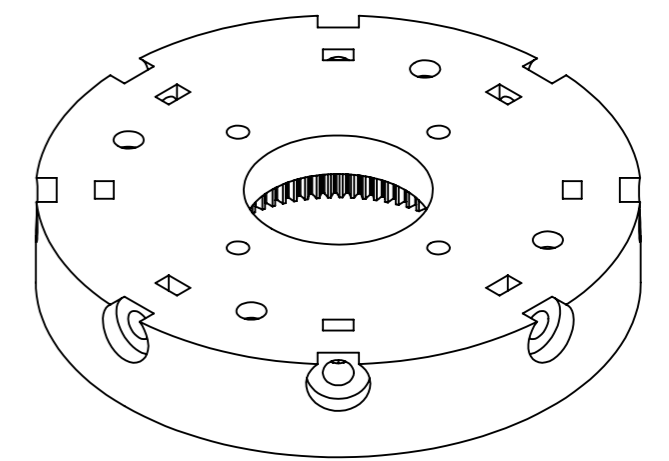
DETALLE G
ESCALA 1:1



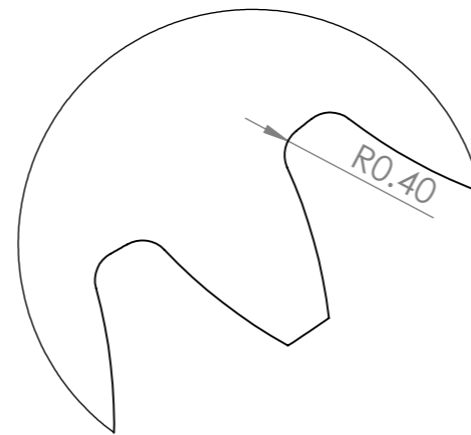
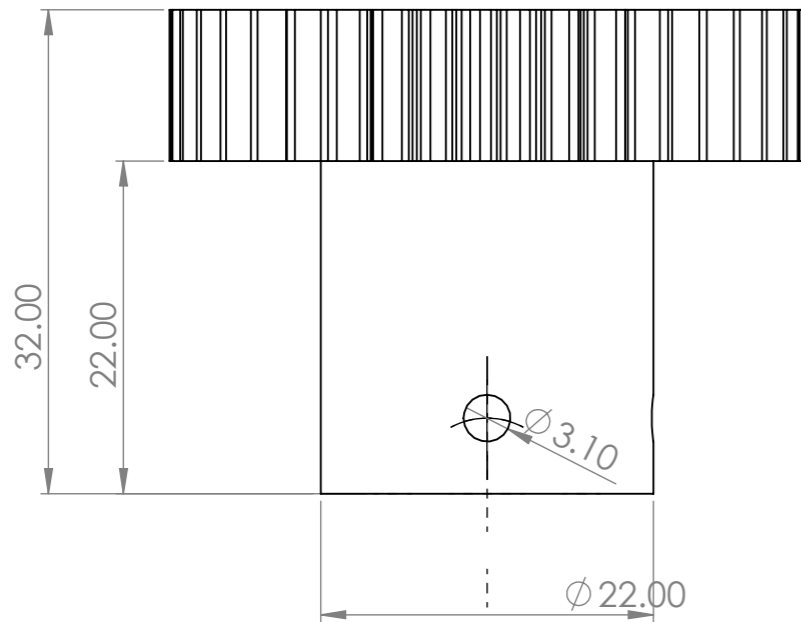
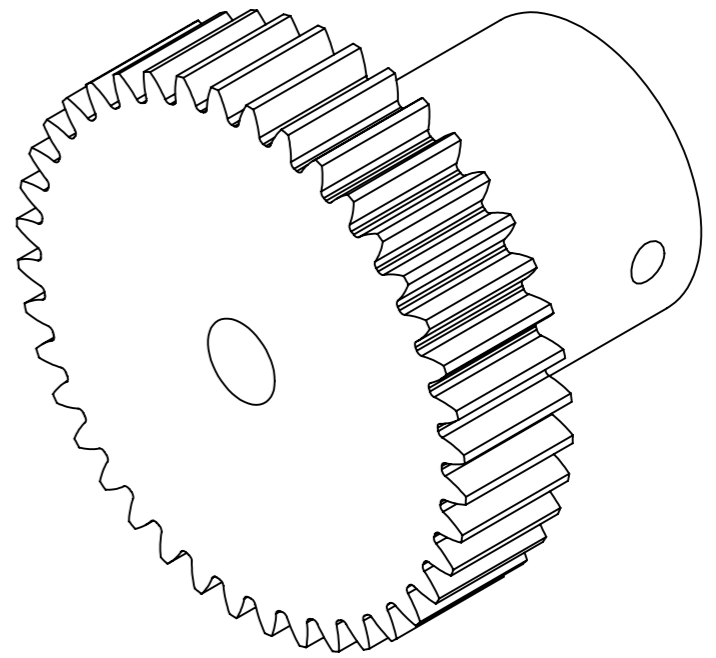
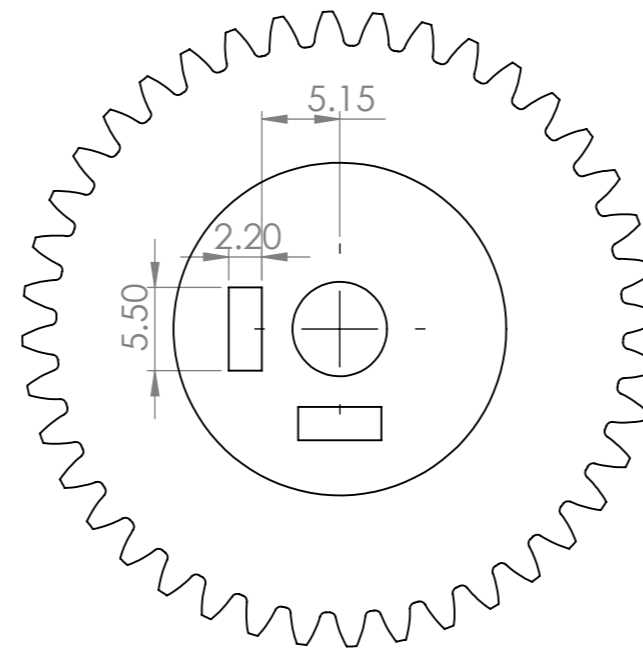
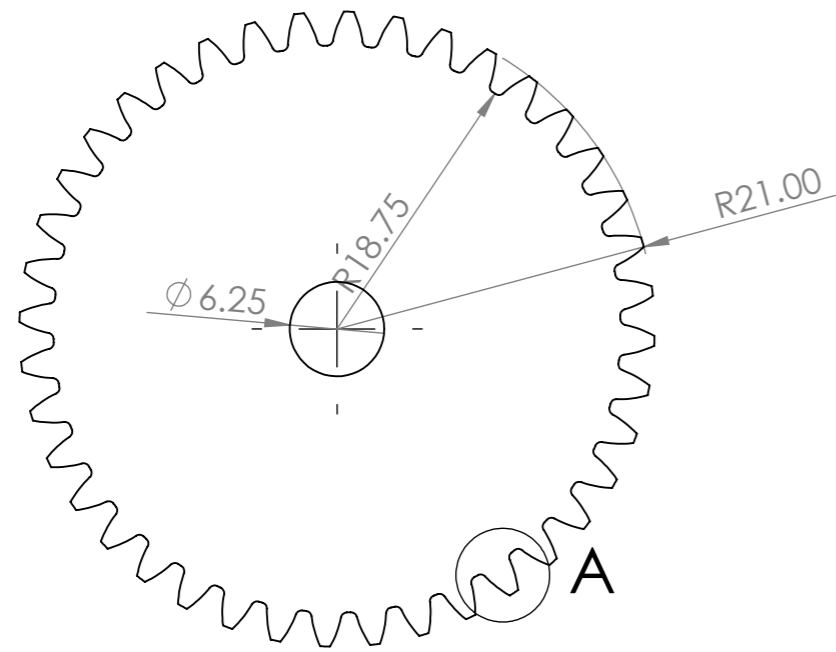
SECCIÓN D-D



SECCIÓN H-H

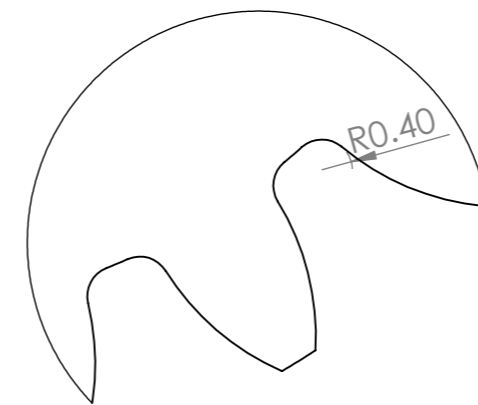
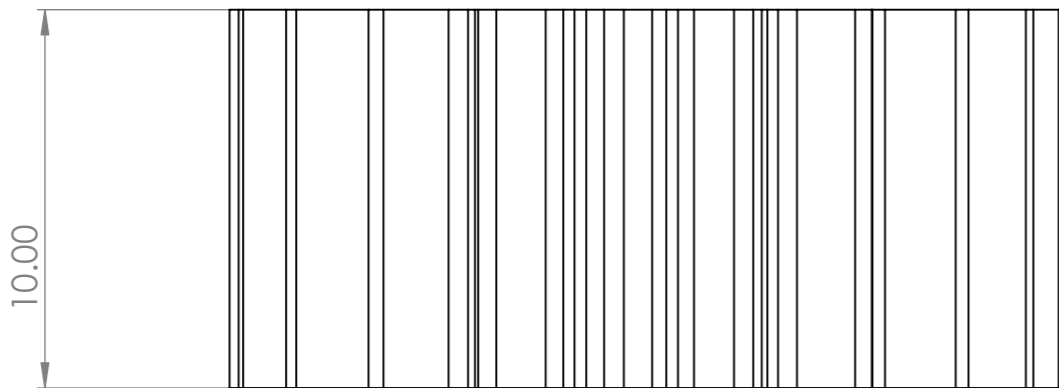
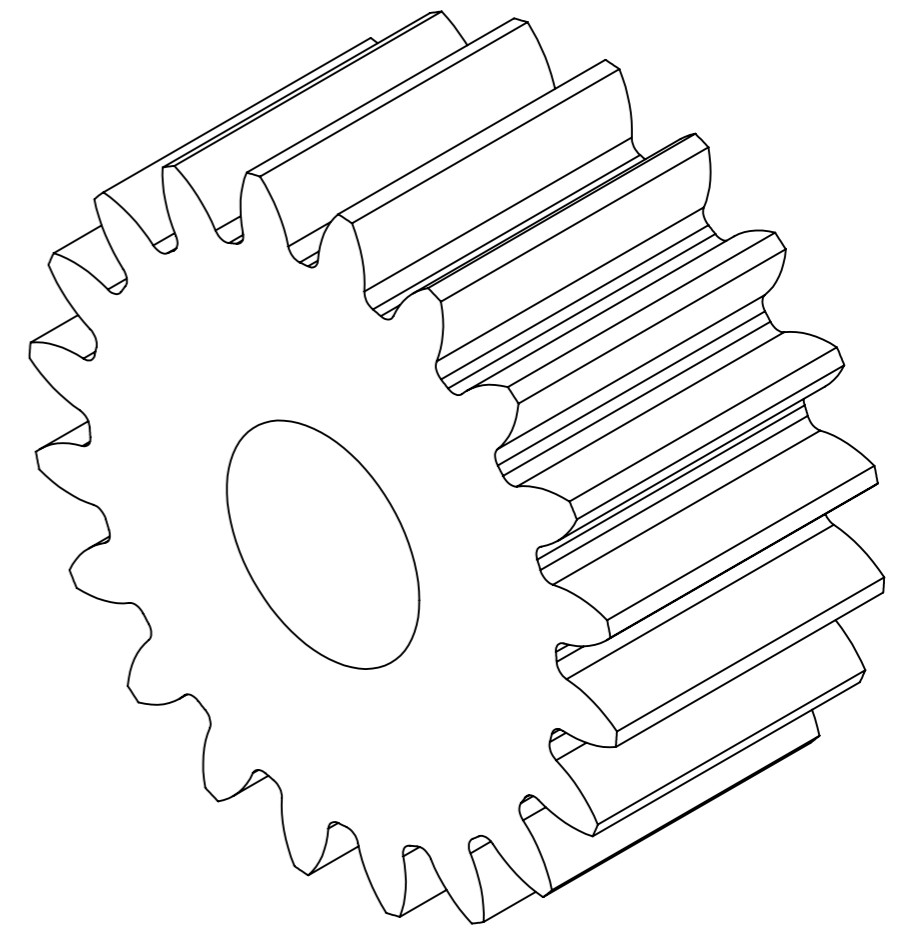
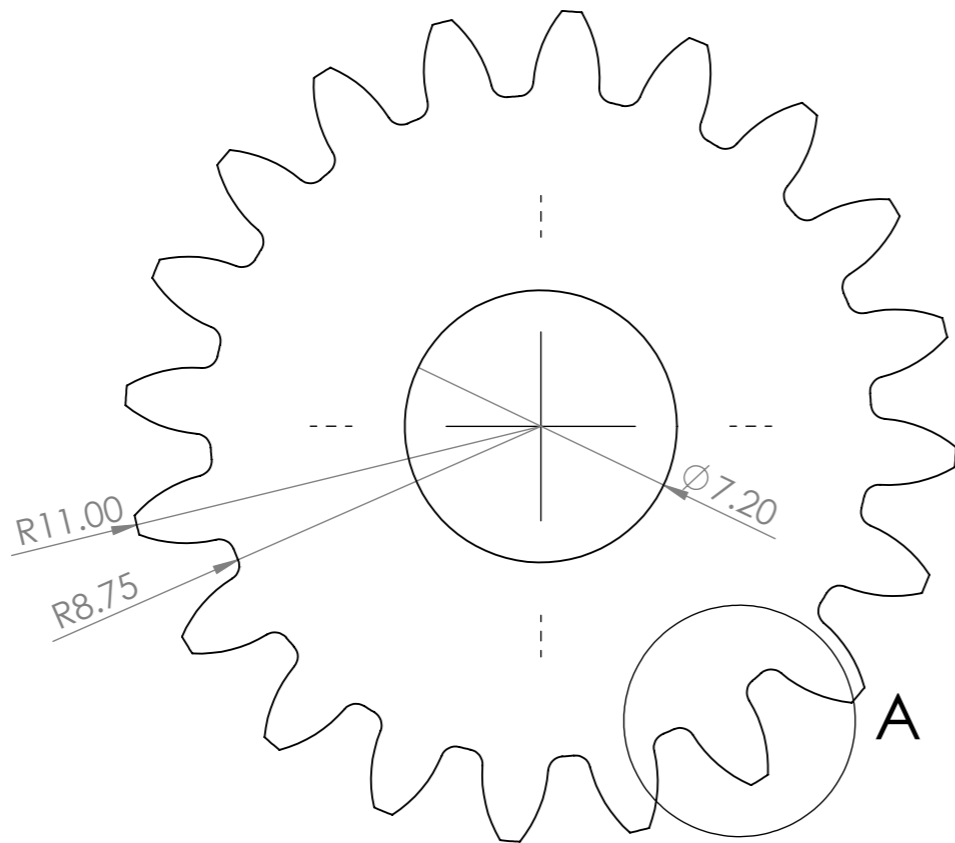


SISTEMA		AUTOR Dani Cardona Chiong	DATA
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		TREBALL TFG	
		<i>Redisseny, muntatge i posada a punt d'un braç robòtic educatiu</i>	
MATERIAL: Onyx		TÍTOL:	Corona primera etapa
Totes les cotes en mm menys les indicades		NÚM. DE DIBUIX	A3
		Plànol 2	E 1:2



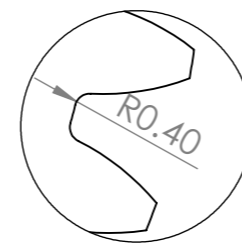
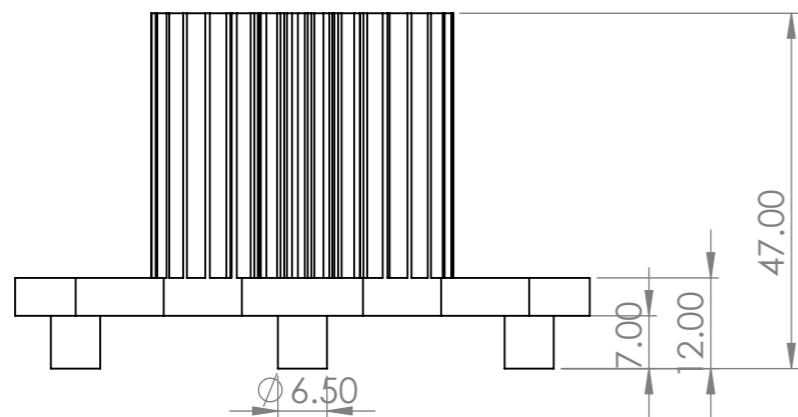
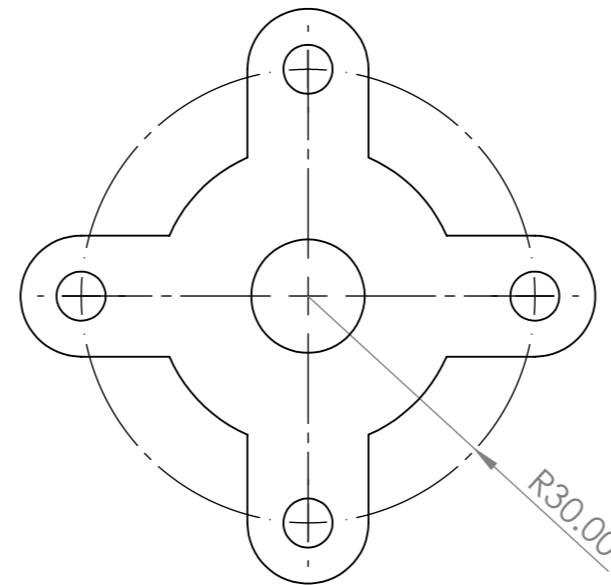
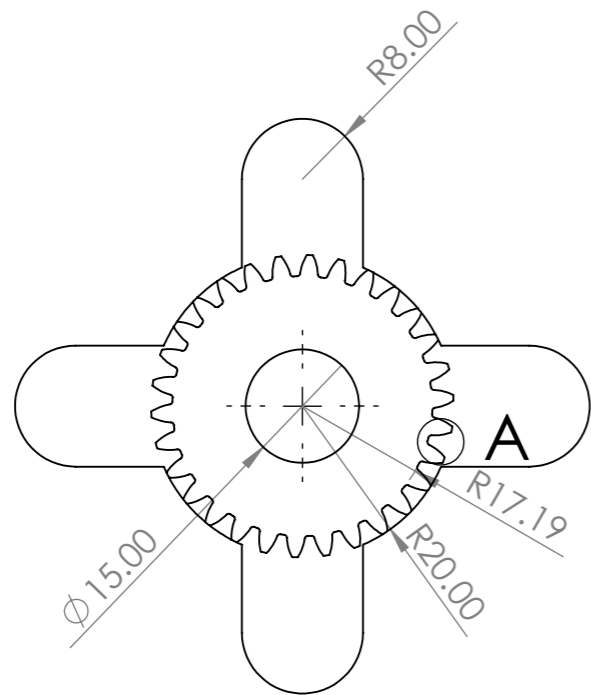
DETALLE A
ESCALA 10 : 1

SISTEMA		AUTOR Dani Cardona Chiong	DATA 03-12-2021
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		TREBALL TFG <i>Redisseny, muntatge i posada a punt d'un braç robòtic educatiu</i>	
		TÍTOL: Planeta primera etapa	
MATERIAL: Onyx	NÚM. DE DIBUIX Plànol 3	A3	
Totes les cotes en mm menys les indicades		E 2:1	

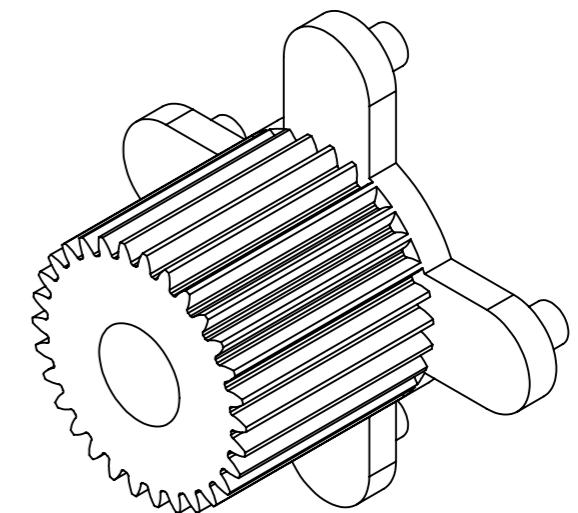


DETALLE A
 ESCALA 10 : 1

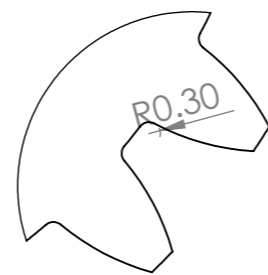
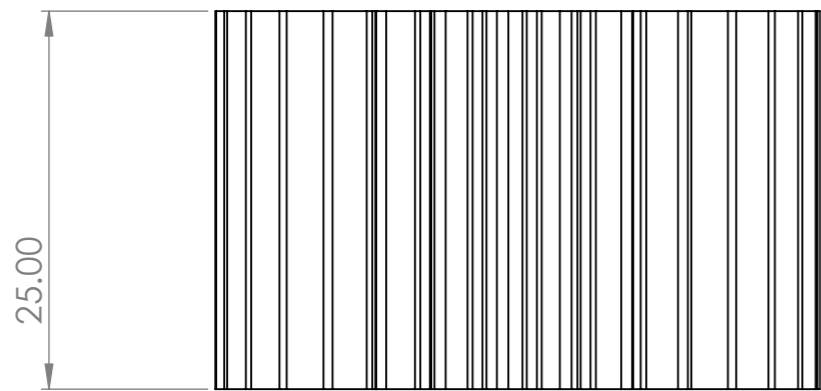
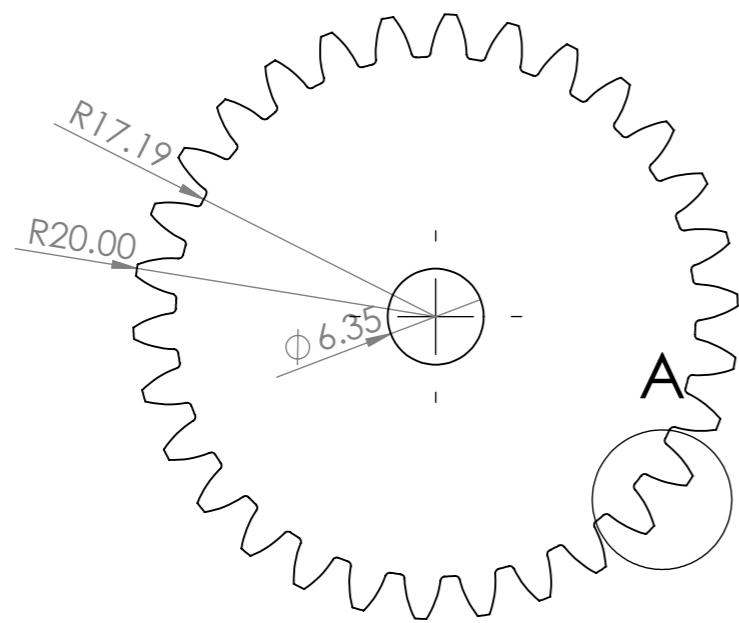
SISTEMA		AUTOR Dani Cardona Chiong		DATA 03-12-2021	
		TREBALL TFG Redisseny, muntatge i posada a punt d'un braç robòtic educatiu			
 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		TÍTOL: Satèl·lit primera etapa			
MATERIAL: Onyx		NÚM. DE DIBUIX: Plànol 4		A3	
Totes les cotes en mm menys les indicades				E 5:1	



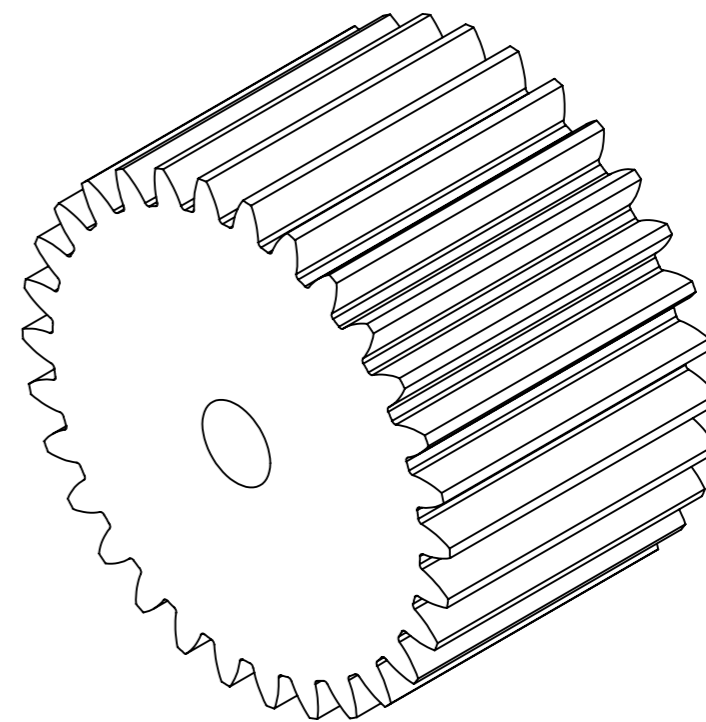
DETALLE A
ESCALA 5 : 1



SISTEMA		AUTOR Dani Cardona Chiong	DATA 03-12-2021
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		TÍTOL: Planeta segona etapa	
		MATERIAL: Onyx 5	NÚM. DE DIBUIX: Plànol 5
Totes les cotes en mm menys les indicades		A3	E 1:1



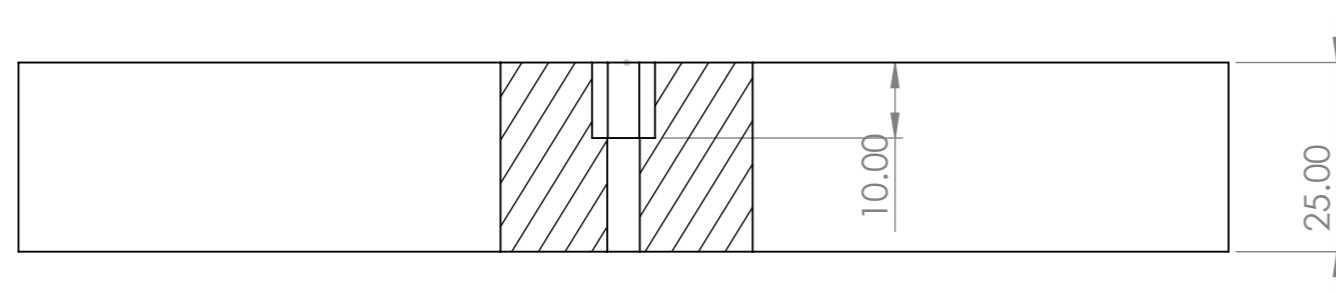
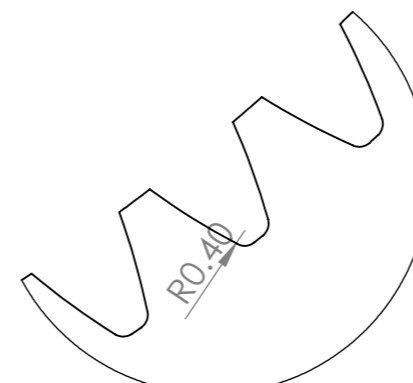
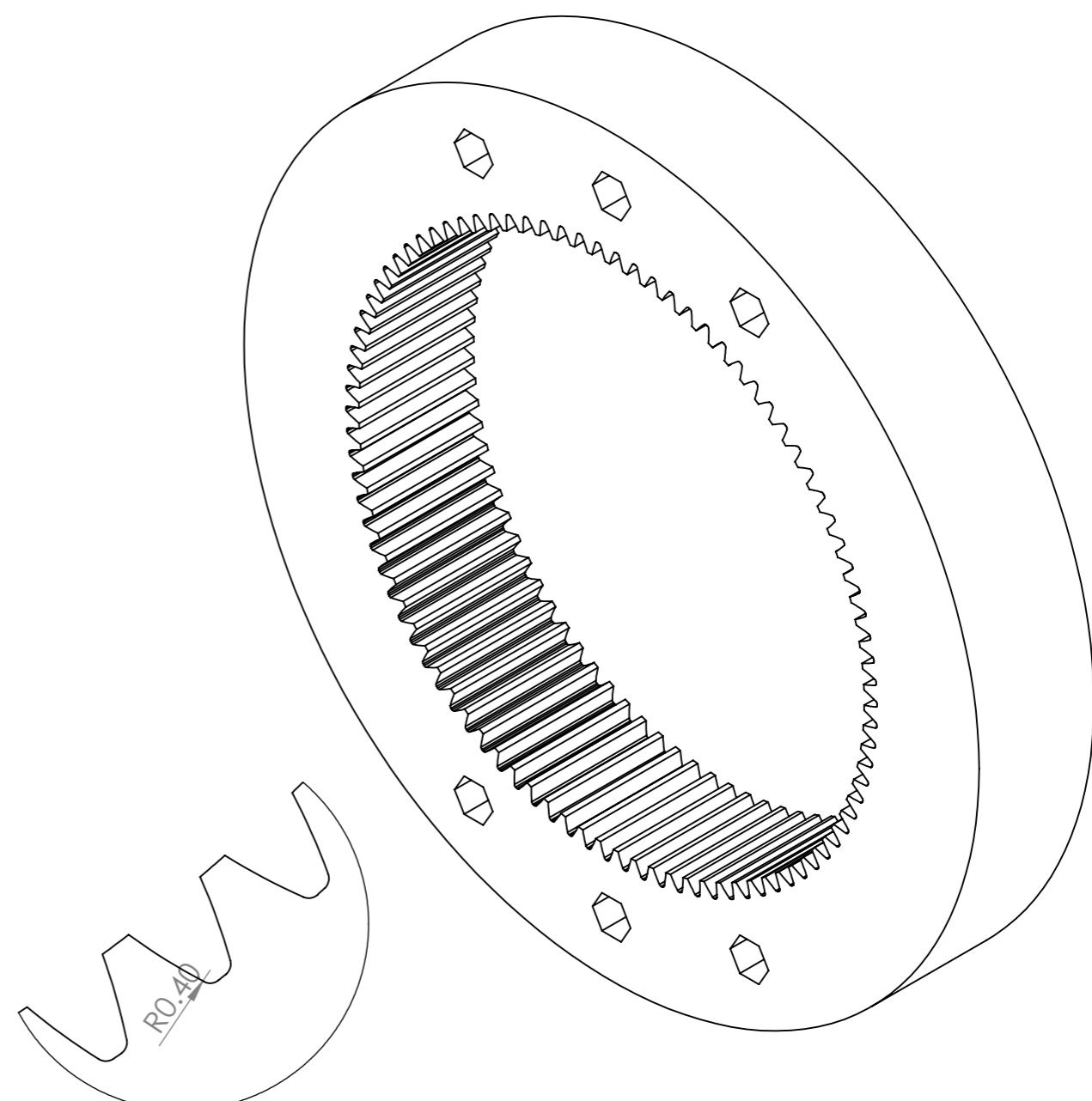
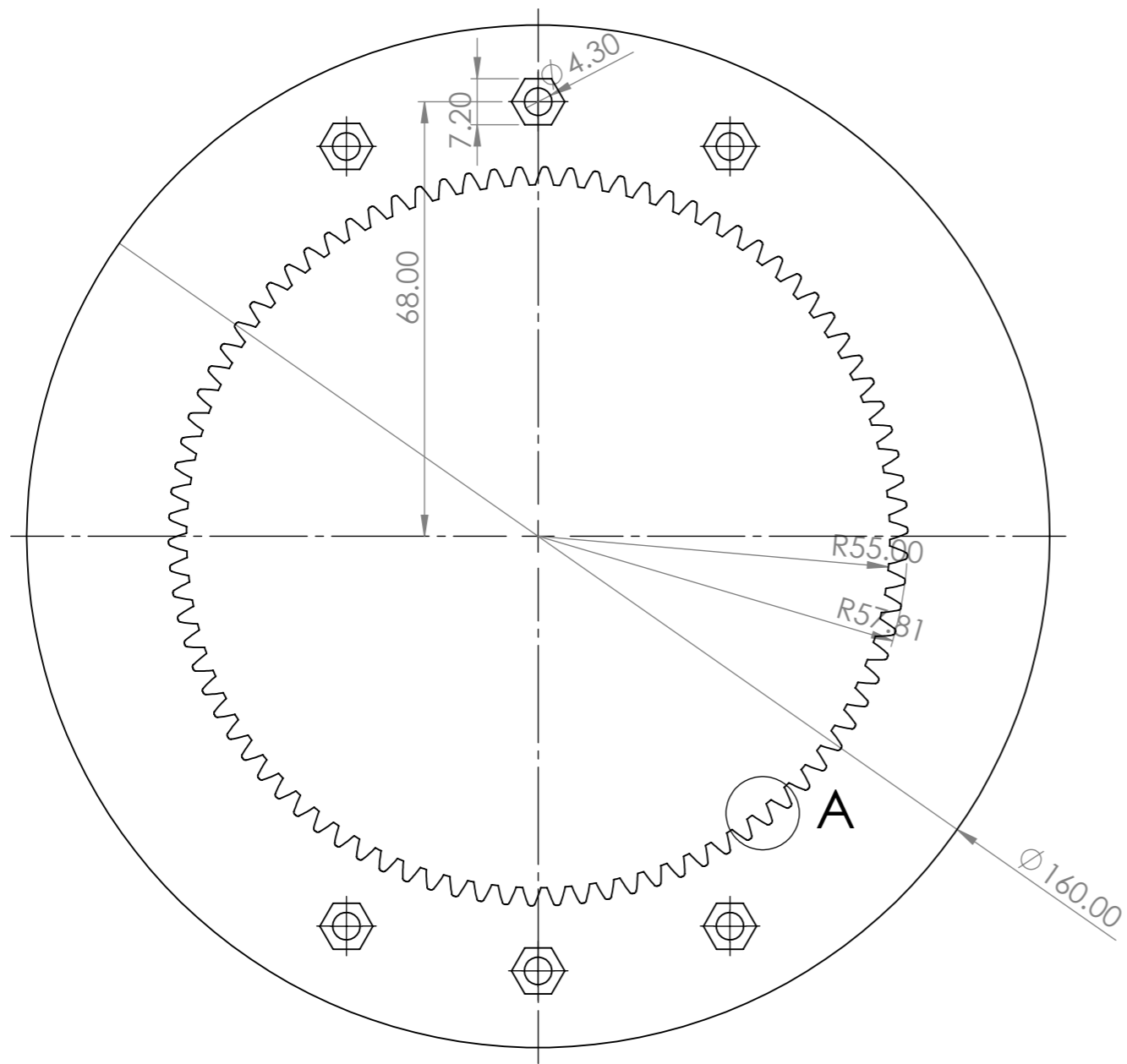
DETALLE A
ESCALA 5 : 1



SISTEMA		AUTOR Dani Cardona Chiong	DATA 03-12-2021
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		TÍTOL: Satèl·lit segona etapa	
		MATERIAL: Onyx	NÚM. DE DIBUIX: Plànol 6
Totes les cotes en mm menys les indicades		A3	E 2:1

8 7 6 5 4 3 2 1

F
E
D
C
B
A



DETALLE A
ESCALA 5 : 1

SISTEMA		AUTOR Dani Cardona Chiong	DATA 03-12-2021
		TREBALL TFG <i>Redisseny, muntatge i posada a punt d'un braç robòtic educatiu</i>	
	UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		TÍTOL: Corona segona etapa
	MATERIAL: Onyx	NÚM. DE DIBUIX: Plànol 7	A3 E 1:1
Totes les cotes en mm menys les indicades			

8 7 6 5 4 3 2 1