

Instituto Tecnológico de Costa Rica
Carrera de Ingeniería Mecatrónica



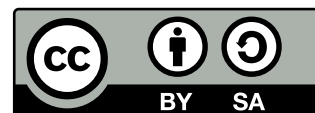
Implementación de un sistema robótico para la realización de experimentos
avanzados de robótica cognitiva.

Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de Ingeniero en
Mecatrónica con el grado académico de Licenciatura

Alejandro Gómez Vega

Cartago, 21 de noviembre 2022

Esta obra está bajo una licencia Creative Commons “Atribución-CompartirIgual 4.0 Internacional”.



Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía, he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas.

En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.

Cartago, 21 de noviembre 2022



Alejandro Gómez Vega

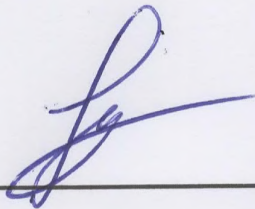
Céd: 3-0516-0379

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
PROGRAMA DE LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECATRÓNICA
PROYECTO FINAL DE GRADUACIÓN
ACTA DE APROBACIÓN

El profesor asesor del presente trabajo final de graduación, indica que el documento presentado por el estudiante cumple con las normas establecidas por el programa de Licenciatura en Ingeniería Mecatrónica del Instituto Tecnológico de Costa Rica para ser defendido ante el jurado evaluador, como requisito final para aprobar el curso Proyecto Final de Graduación y optar así por el título de Ingeniero(a) en Mecatrónica, con el grado académico de Licenciatura.

Estudiante: Alejandro Gómez Vega

Proyecto: Implementación de un sistema robótico para la realización de experimentos avanzados de robótica cognitiva



Dr. -Ing. Juan Luis Crespo Mariño

Asesor

Cartago, 21 de noviembre 2022

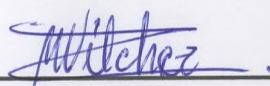
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
PROGRAMA DE LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECATRÓNICA
PROYECTO FINAL DE GRADUACIÓN
ACTA DE APROBACIÓN

Proyecto final de graduación defendido ante el presente jurado evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero(a) en Mecatrónica con el grado académico de Licenciatura, según lo establecido por el programa de Licenciatura en Ingeniería Mecatrónica, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Estudiante: Alejandro Gómez Vega

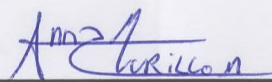
Proyecto: Implementación de un sistema robótico para la realización de experimentos avanzados de robótica cognitiva

Miembros del jurado evaluador



MSc. Marta Eugenia Vilchez Monge

Jurado



Ing. Ana María Murillo Morgan

Jurado



MSc. Ing. Felipe Meza Obando

Jurado

Los miembros de este jurado dan fe de que el presente proyecto final de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por el programa de Licenciatura en Ingeniería Mecatrónica.

Cartago, 21 de noviembre 2022

Resumen

Se presenta la implementación de una plataforma robótica para realizar experimentos en el área de la robótica cognitiva en el Laboratorio de Inteligencia Artificial para las Ciencias Naturales del Instituto Tecnológico de Costa Rica. El problema solucionado fue la inexistencia del equipo que permita el desarrollo de los experimentos en robots físicos, ya se cuenta con una plataforma de simulación. El producto que se desarrolló de este proyecto es una plataforma robótica compuesta por dos manipuladores THOR con un sistema de control basado e implementado en ROS y es la continuación de un proyecto más extenso del laboratorio llamado Open-Source Cognitive Applied Robot (OSCAR). Se rediseñó el brazo THOR para incluir sensores en sus articulaciones de forma que la movilidad y funciones previas no se vieran afectadas, luego fueron manufacturados dos ejemplares. Se diseñó el sistema de control de los brazos de manera modular que permita agregar una gran variedad de sistemas de percepción o incluso otro brazo sin mucho esfuerzo. Y mediante una serie de experimentos se comprobaron las especificaciones significativas de la herramienta para validar su funcionamiento final.

Palabras clave: Manipulador Thor, ROS, robótica cognitiva, sistema de visión, manufactura aditiva

Abstract

This project is an implementation of a robotic platform to perform experiments in cognitive robotics at the Laboratory of Artificial Intelligence for Natural Sciences of the Technological Institute of Costa Rica. The problem solved was the non-existence of the equipment that allows the development of the experiments with physical robots, since there is already a simulation platform at the laboratory. The product that was developed from this project is a robotic platform composed of two THOR manipulators with a control system based on and implemented with ROS, which is the continuation of a larger project of the laboratory named OSCAR. The THOR arm was redesigned to include sensors to know the position of its joints, so that previous mobility and functions were not affected or compromised, then two arms were manufactured. The arm control system has been designed with a modular way that allows adding a wide variety of perception systems or even another arm without much effort. And through a series of experiments, the significant specifications of the tool were verified to validate its final operation.

Keywords: [Thor manipulator, cognitive robotics, vision systems, additive manufacture]

Agradecimiento

Agradezco a mi familia principalmente por estar conmigo durante esta etapa de mi vida, sin su apoyo no hubiera llegado hasta este momento.

A Duarte, Chepe y Gabo que siempre estuvieron ahí durante estos 5 años, que de alguna u otra forma supieron darme ánimos para seguir adelante y por su amistad.

A todos mis amigos del colegio que pesar de que estábamos en carreras diferentes seguimos compartiendo tiempo e hicieron que los cursos y traspasadas fueran más llevaderas.

A mis compañeros de carrera Célmo, André, Jorge, Jara, Chris, Kenneth y Marco que siempre estuvieron ahí para ayudar y apoyar en los momentos de estrés, por todas las discusiones y los estudios en conjunto. Sin duda hicieron que los cursos fueran más amenos y me llevo muchos recuerdos.

Al profesor Dr. Juan Luis Crespo Mariño por abrirme la puertas del LIANA y permitirme realizar este proyecto. También por todo lo que me enseñó en los últimos cursos de carrera y por la confianza que me dio.

Al LAIMI que sin ellos este proyecto no se hubiera completado, especialmente a Bryan Aguirre el coordinador que permitió el uso de una impresora para el proyecto fluyera de la mejor forma y todos los operadores que estuvieron pendientes del proceso.

Índice general

Índice de figuras	vi
Índice de tablas	xi
Lista de abreviaciones	xiv
1. Introducción	1
1.1. Objetivos	2
1.1.1. Objetivo general	2
1.1.2. Objetivos específicos	2
1.2. Estructura del documento	3
2. Marco teórico	4
2.1. Manufactura aditiva	4
2.2. Robótica	6
2.2.1. Robótica Cognitiva	7
2.2.2. Manipuladores robóticos	7
2.2.3. Cinemática directa e inversa	8
2.2.4. Solución de la cinemática inversa	8
2.2.5. Planeamiento de trayectorias	9
2.2.6. Visión robótica	9
2.3. Middleware robótico ROS	11
2.3.1. Moveit	12

2.4.	Diseño de experimentos	13
2.5.	Estado del arte	14
3.	Metodología	16
3.1.	Metodología de diseño	16
3.1.1.	Determinación de necesidades y especificaciones	17
3.1.2.	Generación de conceptos	17
3.1.3.	Selección del concepto	18
3.1.4.	Desarrollo del concepto	19
3.1.5.	Pruebas de concepto	19
3.2.	Bitácora del producto	19
3.3.	Descomposición del proyecto	20
3.4.	Diseño de experimentos	20
4.	Desarrollo de la plataforma robótica	22
4.1.	Identificación de requerimientos	22
4.2.	Implementación de los sensores.	24
4.3.	Manufactura del Thor modificado	28
4.3.1.	Rediseño de las piezas	29
4.3.2.	Selección de material	36
4.3.3.	Verificación de piezas	37
4.3.4.	Consideraciones de impresión	44
4.4.	Proceso de ensamblado del Thor	49
4.4.1.	Correa de la articulación 3	49
4.4.2.	Articulación 2	51
4.4.3.	Articulación 4	53
4.5.	Conexión de sensores y actuadores del Thor	54
4.5.1.	Actuadores	54
4.5.2.	Sensores	56
4.5.3.	Alimentación del sistema	58
4.5.4.	Conexión de pines y circuito impreso	59
4.6.	Resultados experimentales	66
4.6.1.	Capacidad de carga	66

5. Desarrollo del sistema operativo robótico	70
5.1. Identificación de requerimientos	70
5.2. Descomposición funcional	72
5.3. Creación del modelo URDF	74
5.4. Implementación de OSCAR en Moveit	80
5.4.1. Cinemática inversa y planeador	82
5.4.2. Configuración de OSCAR	83
5.5. Comunicación al hardware y funciones extra	89
5.5.1. Nodos de interfase: Joint_steps	89
5.5.2. Nodos de interfase: Sensor_joints	95
5.5.3. Arduino SerialNode	97
5.5.4. AccelStepper	98
5.5.5. Encoder Library	98
5.6. Resultados experimentales	99
5.6.1. Posición alcanzada	99
5.6.2. Error en la articulación 1	102
5.6.3. Error en la articulación 2	102
5.6.4. Error en la articulación 3	103
5.6.5. Error en la articulación 4	104
5.6.6. Error en la articulación 5 y 6	105
6. Integración del sistema	108
6.1. Desarrollo previo	108
6.2. Escenario	110
6.2.1. Opción A	110
6.2.2. Opción B	111
6.2.3. Soporte cámara	112
6.3. Montaje del equipo	112
6.4. Sistema de visión	117
6.4.1. Cámara utilizada	120
6.4.2. Objetos a detectar	120
6.5. Resultados experimentales	121
6.5.1. Toma de objetos	121
6.6. Resultado final	123

7. Análisis económico	126
8. Conclusiones	130
8.1. Recomendaciones	131
Bibliografía	132
 I Apéndices	 138
A. Bitácora de diseño	139
A.1. Introducción	139
A.2. Necesidades	139
A.2.1. Trabajo previo realizado en el LIANA	139
A.2.2. Reunión con el cliente	141
A.2.3. Establecimiento de las necesidades	142
A.3. Especificaciones	145
A.3.1. Métricas	145
A.3.2. Valores objetivo	148
A.4. Estudio de conceptos	151
A.4.1. Descomposición funcional	151
A.4.2. Plataforma robótica: Fragmentos de conceptos	153
A.4.3. Plataforma robótica: Conceptos	156
A.4.4. Plataforma robótica: Selección de conceptos	176
A.4.5. Plataforma robótica: desarrollo del circuito impreso	178
A.4.6. Plataforma robótica: Tablas de materiales	183
A.4.7. Sistema operativo robótico	185
A.5. Estudio económico	188
A.6. Especificaciones finales	194
 II Anexos	 195
B. Códigos	196
B.1. Nodos de interfase:Joint_steps	196
B.1.1. joints_step_node_thor1	196
B.1.2. joints_step_node_thor2	201

B.2. Nodos de interfase:Sensor_joints	206
B.2.1. joints_step_node_thor1	206
B.2.2. joints_step_node_thor2	211
B.3. Sistema Visión	215
C. Instrucciones de ensamble.	221
D. Plan de manufactura.	273
E. Planos del brazo THOR.	341

Índice de figuras

2.1. Funcionamiento de impresión por FDM. [8]	5
2.2. Trayectoria de un manipulador. [13]	9
2.3. Sistemas de coordenadas de una sola cámara. [13]	10
3.1. Metodología de diseño seguida en el proyecto.	16
3.2. Representación del problema como caja negra. Adaptado de [31, p. 124] . .	18
3.3. Diagrama de bloques de los subsistemas del proyecto.	20
4.1. Matriz de combinación de fragmentos. Elaboración propia.	25
4.2. Boceto de la articulación 5 y 6 del concepto ganador.	26
4.3. Boceto de la articulación 4 y 1 del concepto ganador.	27
4.4. Boceto de la articulación 3 y 2 del concepto ganador.	27
4.5. Evolución de la articulación 5 y 6. Elaboración propia.	32
4.6. Sistema de ejes independientes para las poleas. Elaboración propia.	32
4.7. Evolución de la articulación 2 y 3. Elaboración propia.	33
4.8. Pieza de sujeción del eje. Elaboración propia.	34
4.9. Evolución de la articulación 4. Elaboración propia.	35
4.10. Evolución de la articulación 1. Elaboración propia.	35
4.11. Análisis estático de articulación 56.	39
4.12. Análisis estático de articulación 34.	40
4.13. Análisis estático de articulación 2.	41
4.14. Análisis estático de la articulación 1.	42

4.15. Análisis estático de la base.	43
4.16. Primera consideración para la impresión.	45
4.17. Relleno de tipo giroide. [40]	46
4.18. Dirección de la fuerza en una pieza. [44]	47
4.19. Proceso de impresión.	48
4.20. Limpieza de algunas piezas.	49
4.21. Correa de la articulación 3.	50
4.22. Proceso de fresado por el técnico para la polea.	51
4.23. Desarmado para ajustar motores articulación 2.	52
4.24. Lateral de articulación 2.	53
4.25. Diagrama de conexión típico del A4988. [48]	55
4.26. Diagrama de señales A y B del codificador. [32]	57
4.27. Diagrama de conexión típico del A4988. [54]	58
4.28. Vista superior del PCB diseñado.	61
4.29. Vista inferior del PCB diseñado.	61
4.30. PCB fabricado.	62
4.31. Case del PCB	65
4.32. PCB cableado y ensamblado.	66
4.33. Peso aplicado en los motores de articulación 2.	67
4.34. Peso aplicado en los motores de articulación 2.	68
5.1. Descomposición del sistema operativo robótico.	73
5.2. Descomposición de arduino_interface.	74
5.3. Representación arduino como nodo.	74
5.4. Modelo del robot OSCAR.	76
5.5. Modelo del robot OSCAR simplificado.	77
5.6. Descripción de los links del modelo OSCAR simplificado.	79
5.7. Descripción de los joints del modelo OSCAR simplificado.	80
5.8. Descripción general del funcionamiento de moveit. [58].	81
5.9. Descripción del funcionamiento de move_group. [58].	82
5.10. MoveIt Setup Assistant paso 1.	83
5.11. MoveIt Setup Assistant paso 2.	84
5.12. MoveIt Setup Assistant paso 3.	85
5.13. MoveIt Setup Assistant paso 4.	86
5.14. MoveIt Setup Assistant paso 5.	87

5.15. MoveIt Setup Assistant paso 6.	87
5.16. MoveIt Setup Assistant paso 7.	88
5.17. MoveIt Setup Assistant paso 8.	89
5.18. Generación del movimiento sistema diferencial.	94
5.19. Función de home implementada.	99
5.20. Errores en las articulaciones.	101
5.21. Diagrama de Pareto de los efectos del experimento.	101
5.22. Gráfico de caja de los errores en la articulación 1.	102
5.23. Gráfico de caja de los errores en la articulación 2.	103
5.24. Gráfico de caja de los errores en la articulación 3.	104
5.25. Gráfico de caja de los errores en la articulación 3.	105
5.26. Gráfico de caja de los errores en la articulación 5 y 6.	106
6.1. Forma que se planteo para OSCAR. [4]	109
6.2. Ambiente simulado para OSCAR.[4]	109
6.3. Escenario A.	110
6.4. Escenario B.	111
6.5. Soporte cámara para demostración.	112
6.6. Patrón de instalación del robot OSCAR.	113
6.7. Paso 1 para el montaje del equipo.	114
6.8. Paso 2 para el montaje del equipo.	115
6.9. Paso 3 para el montaje del equipo.	116
6.10. Paso 4 para el montaje del equipo.	117
6.11. Diagrama de bloques de la solución del sistema de visión.	119
6.12. Ejes de referencia y del sistema de visión.	119
6.13. Objetos creados para el sistema de visión.	121
6.14. Objetos detectados del experimento color azul.	122
6.15. Objetos detectados del experimento color amarillo.	123
6.16. Montaje final en el laboratorio.	125
A.1. Diagrama de bloques de los subsistemas del proyecto. (Misma que la figura 3.3) Elaboración propia.	151
A.2. Descomposición funcional de las señales del subsistema <i>plataforma robótica</i> . Elaboración propia.	152

A.3. Descomposición funcional de material y energía del subsistema <i>plataforma robótica</i> . Elaboración propia.	153
A.4. Árbol de clasificación del problema <i>Sensor 5 y 6</i>	154
A.5. Árbol de clasificación del problema <i>Sensor 3 y 2</i>	154
A.6. Árbol de clasificación del problema <i>Sensor 4 y 1</i>	155
A.7. Árbol de clasificación del problema <i>módulo de control</i>	155
A.8. Matriz de combinación de fragmentos.	156
A.9. Matriz de combinación de fragmentos del concepto A.	156
A.10. Boceto de la articulación 5 y 6 del concepto A.	157
A.11. Boceto de la articulación 4 y 1 del concepto A.	157
A.12. Boceto de la articulación 3 y 2 del concepto A.	158
A.13. Matriz de combinación de fragmentos del concepto B.	158
A.14. Boceto de la articulación 5 y 6 del concepto B.	159
A.15. Boceto de la articulación 4 y 1 del concepto B.	159
A.16. Boceto de la articulación 3 y 2 del concepto B.	160
A.17. Matriz de combinación de fragmentos del concepto C.	160
A.18. Boceto de la articulación 5 y 6 del concepto C.	161
A.19. Boceto de la articulación 4 y 1 del concepto C.	161
A.20. Boceto de la articulación 3 y 2 del concepto C.	162
A.21. Matriz de combinación de fragmentos del concepto D.	162
A.22. Boceto de la articulación 5 y 6 del concepto D.	163
A.23. Boceto de la articulación 4 y 1 del concepto D.	163
A.24. Boceto de la articulación 3 y 2 del concepto D.	164
A.25. Matriz de combinación de fragmentos del concepto E.	164
A.26. Boceto de la articulación 5 y 6 del concepto E.	165
A.27. Boceto de la articulación 4 y 1 del concepto E.	165
A.28. Boceto de la articulación 3 y 2 del concepto E.	166
A.29. Matriz de combinación de fragmentos del concepto F.	166
A.30. Boceto de la articulación 5 y 6 del concepto F.	167
A.31. Boceto de la articulación 4 y 1 del concepto F.	167
A.32. Boceto de la articulación 3 y 2 del concepto F.	168
A.33. Matriz de combinación de fragmentos del concepto G.	168
A.34. Boceto de la articulación 5 y 6 del concepto G.	169
A.35. Boceto de la articulación 4 y 1 del concepto G.	169

A.36.Boceto de la articulación 3 y 2 del concepto G.	170
A.37.Matriz de combinación de fragmentos del concepto H.	170
A.38.Boceto de la articulación 5 y 6 del concepto H.	171
A.39.Boceto de la articulación 4 y 1 del concepto H.	171
A.40.Boceto de la articulación 3 y 2 del concepto H.	172
A.41.Matriz de combinación de fragmentos del concepto I.	172
A.42.Boceto de la articulación 5 y 6 del concepto I.	173
A.43.Boceto de la articulación 4 y 1 del concepto I.	173
A.44.Boceto de la articulación 3 y 2 del concepto I.	174
A.45.Matriz de combinación de fragmentos del concepto J.	174
A.46.Boceto de la articulación 5 y 6 del concepto J.	175
A.47.Boceto de la articulación 4 y 1 del concepto J.	175
A.48.Boceto de la articulación 3 y 2 del concepto J.	176
A.49.Vista superior del PCB diseñado.	181
A.50.Vista inferior del PCB diseñado.. . . .	182
A.51.Descomposición del sistema operativo robótico.	186
A.52.Descomposición de arduino_interface.	187
A.53.Representación arduino como nodo.	187
A.54.Función para obtener pasos a motores.	188
A.55.Función para obtener la información de sensores.	188

Índice de tablas

3.1. Escala de importancia de las necesidades y especificaciones	17
3.2. Escala de desempeño relativo de la evaluación de conceptos [31, p. 155] . . .	19
4.1. Necesidades referentes a la plataforma física.	23
4.2. Especificaciones objetivo referentes a la plataforma física.	24
4.3. Codificadores seleccionados para evaluación	28
4.4. Matriz de evaluación de codificadores	28
4.5. Composición del manipulador	29
4.6. Consumo de corriente de los componentes a 5V.	59
4.7. Asignación de los pines de los drivers A4988 al microcontrolador.	59
4.8. Asignación de los pines de los codificadores al microcontrolador.	60
4.9. Asignación de los pines del efector y finales de carrera al microcontrolador. .	60
4.10. Casas de manufactura del PCB	62
4.11. Codificación de los colores de los cables.	63
4.12. Codificación de los cables.	64
4.13. Factores del experimento.	68
5.1. Necesidades establecidas para el proyecto.	71
5.2. Métricas con valores marginales e ideales	72
5.3. Color de los links de OSCAR.	78
5.4. Limite de las articulaciones de OSCAR.	79
5.5. Constantes de transformación grados a pasos.	93
5.6. Factores y niveles del experimento de posición alcanzada.	100

6.1. Factores y niveles del experimento de toma de objetos.	121
6.2. Videos del desarrollo OSCAR.	124
7.1. Valores de depreciación del equipo de cómputo usado. (En colones)	126
7.2. Costos de desarrollo OSCAR. (En colones)	127
7.3. Comparación de diversos robots comerciales con el implementado.	128
A.1. Necesidades de la herramienta de simulación. [4, p. 105]	141
A.2. Entrevista con el cliente	142
A.3. Necesidades interpretadas	143
A.4. Escala de importancia de las necesidades y especificaciones	143
A.5. Necesidades establecidas para el proyecto.	144
A.6. Métricas con valores marginales e ideales	146
A.7. Evaluación para el nivel de desarrollo abierto del robot. Adaptado de [4, p. 107]	147
A.8. Evaluación por la facilidad en la conexión de actuadores y sensores	147
A.9. Evaluación por el uso de materiales con poco impacto ambiental	147
A.10.Documentación completa	148
A.11.Métricas con valores marginales e ideales	149
A.12.Comentarios de los valores establecidos	150
A.13.Matriz de selección de conceptos	177
A.14.Evaluación de conceptos	177
A.15.Sensores consultados	178
A.16.Codificadores seleccionados para evaluación	178
A.17.Selección de codificadores	178
A.18.Asignación de los pines de los drivers A4988 al microcontrolador.	180
A.19.Asignación de los pines de los codificadores al microcontrolador.	180
A.20.Asignación de los pines del efector y finales de carrera al microcontrolador.	180
A.21.Casas de manufactura del PCB	182
A.22.Materiales Gripper.	183
A.23.Materiales articulación 56.	183
A.24.Materiales articulación 34.	183
A.25.Materiales articulación 1.	183
A.26.Materiales articulación 2 lado A.	184
A.27.Materiales articulación lado B.	184
A.28.Materiales de la base.	184

A.29.Materiales del case.	184
A.30.Materiales de las uniones.	185
A.31.Materiales del PCB.	185
A.32.. (En colones)	189
A.33.Valores de depreciación del equipo de cómputo usado. (En colones)	189
A.34.Inventario de componentes adquiridos.(En colones)	190
A.35.Tornillos adquiridos para el proyecto.(En colones)	191
A.36.Componentes adquiridos para el proyecto.(En dolares)	192
A.37.Componentes de reemplazo adquiridos para el proyecto.(En dolares)	192
A.38.Componentes varios adquiridos para el proyecto.(En colones)	193
A.39.Especificaciones finales de la plataforma física.	194

Lista de abreviaciones

LIANA Laboratorio de Inteligencia Artificial para las Ciencias Naturales

AMADIS Arquitectura Modular de Atención con Distribución de la información y Sensorización

MDB Multilevel Darwinist Brain

GII Grupo Integrado de Ingeniería

OSCAR Open-Source Cognitive Applied Robot

LAIMI Laboratorio Institucional de Microcomputadores

FDM Modelado por Deposición Fundida

ABS Acrilonitrilo Butadieno Estireno

PLA Ácido Poliláctico

PETG Glicol de Polietileno Tereftalato

PET Polietileno Tereftalato

ASA Acrilato Estireno Acrilonitrilo

PVA Acetato de Polivinilo

GNU General Public Licence

ROS Robot Operating System

DOE Diseño de experimentos

URDF United Robotics Description Format

KDL Kinematics and Dynamics Library

OMPL Open Motion Planning Library

RRT Rapidly-exploring Random Tree

Introducción

El proyecto que se presenta a continuación fue desarrollado en el Laboratorio de Inteligencia Artificial para las Ciencias Naturales (LIANA) el cual pertenece al Área Académica de Ingeniería Mecatrónica, de la sede central del Instituto Tecnológico de Costa Rica. El laboratorio se fundó con un objetivo doble en el desarrollo de paradigmas de inteligencia computacional novedosos que están basados en el estudio de fenómenos naturales y a su vez usar paradigmas de computación inteligente para abordar y resolver problemas que presentan las ciencias naturales y otras disciplinas tecnológicas. Tiene como coordinador general del laboratorio al profesor Juan Luis Crespo Mariño[1].

En el LIANA se ha estado trabajando en una línea de robótica cognitiva con trabajos como el desarrollo de la Arquitectura Modular de Atención con Distribución de la información y Sensorización (AMADIS) de la tesis doctoral del Dr. Crespo Mariño [2], también se tiene una colaboración activa con el Grupo Integrado de Ingeniería (GII) de la Universidad da Coruña en el desarrollo de la arquitectura cognitiva Multilevel Darwinist Brain (MDB), donde la mayor parte del trabajo realizado en el LIANA fue el desarrollo de una herramienta de visualización del aprendizaje en la memoria a largo plazo de la arquitectura MDB[3]. Además, en el LIANA se ha estado trabajando en un proyecto que permita al laboratorio poder desarrollar experimentos propios en el área de la robótica cognitiva bajo el nombre de OSCAR. Como primera parte de este proyecto se desarrolló una plataforma propia de simulación, la cual se realizó como proyecto de graduación del ingeniero Emanuel Fallas Hernández. Esta consistió en el diseño de un entorno robótico donde se pudieran realizar experimentos con arquitecturas cognitivas [4].

El problema principal en el LIANA, antes de que se desarrolle este proyecto, es no contar con un robot cognitivo propio en físico, esto dificulta el desarrollo y las pruebas de experimentos en el área de investigación de la robótica cognitiva. Como se mencionó previamente

el LIANA ya cuenta con una plataforma propia de simulación, pero aún no cuentan con equipo robótico o una plataforma física para realizar dichos experimentos. El equipo robótico THOR debe ser adaptado para tener un alto nivel de sensorización, ya que es indispensable para que la plataforma física funcione para investigación. Además, en el laboratorio se tenía una limitación importante a considerar sobre la fabricación del robot y era que en el laboratorio ya se contaba con una cantidad de componentes y partes que fueron compradas, por lo que el interés del laboratorio es que estas se aprovecharan en el desarrollo del proyecto, ya que el presupuesto con el que se contaba para el desarrollo era limitado para dedicar a la investigación de esta área por lo que la plataforma robótica se buscó que fuera de bajo costo.

Debido a esto el proyecto es de alto interés para el LIANA pues permitirá iniciar la línea de investigación en robótica cognitiva en la que se busca trabajar. Un beneficio importante es que se puede participar en convocatorias de investigación nacionales e internacionales que brinden fondos al laboratorio con el fin de poder aumentar el equipo y el personal destinado a la investigación, otro beneficio de poseer un equipo robótico en donde se puedan realizar experimentos avanzados, es el aumento en la capacidad de investigación del LIANA y la generación de aportes con mayor relevancia en esta área de estudio. Se debe tomar en cuenta que el interés científico en la robótica cognitiva es alto y se debe a que actualmente se mantienen una gran cantidad de preguntas abiertas y vacíos dentro de los desarrollos actuales que se tienen sobre las arquitecturas cognitivas, la robustez en ambientes no estructurados y la aceptación social. [4]

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

Desarrollar un sistema robótico para la realización de experimentos avanzados en el área de robótica cognitiva para el LIANA.

1.1.2. Objetivos específicos

1. Determinar las especificaciones requeridas por el robot cognitivo según lo realizado previamente en el laboratorio y por bibliografía complementaria.
2. Rediseñar las piezas mecánicas y el control eléctrico del manipulador THOR para cumplir adecuadamente con los experimentos fundamentales típicos de un robot cognitivo

3. Diseñar un sistema computacional que permita la obtención de la ubicación de objetos, además del control y monitorización de los manipuladores del robot cognitivo.
4. Evaluar mediante pruebas el funcionamiento del robot mediante una toma de objetos básica.

1.2. Estructura del documento

En esta sección se describe la estructura que los siguientes capítulos restantes seguirán en el documento. En el capítulo 2 se muestran las consideraciones teóricas y el estado del arte más significativos para el desarrollo del proyecto. El capítulo 3 describe la metodología de diseño adaptada y seguida por el proyecto. Debido a la complejidad del proyecto se separó en dos grandes subsistemas donde se describirá de forma completa el diseño planteado, la implementación desarrollada y la validación de cada subsistema en un mismo capítulo. Cada capítulo tiene una correspondencia directa con los objetivos específicos, eso quiere decir que en el capítulo 4 se presenta la implementación de la plataforma robótica trabajando directamente en el objetivo específico 2, mientras que en el capítulo 5 se presenta todo el software de control o sistema operativo robótico que trabaja sobre el objetivo específico 3. El capítulo 6 se presenta la integración de la plataforma robótica y su validación experimental que corresponde al objetivo específico 4. El análisis económico del proyecto se muestra en el capítulo 7 y por último las principales conclusiones y recomendaciones se tienen en el capítulo 8.

El principal aporte de ingeniería en este proyecto fue el rediseño del manipulador Thor deseado por el laboratorio para incluirle sensores que permitiera determinar la posición de sus articulaciones. Por lo que incluye el proceso de redibujado y adaptación de las piezas necesarias, manufactura de las mismas y el desarrollo de la programación necesaria para controlarlo. Además la alta modularidad y documentación de la plataforma permitirá que el reemplazo de componentes y reajustes para experimentos se pueda realizar de manera sencilla. Por esta razón, se espera que esta implementación permita al LIANA realizar investigaciones de robótica cognitiva.

En este capítulo se presentan los fundamentos teóricos relacionados al diseño realizado, también se incluye una revisión del estado del arte en la temática que se desarrolla el proyecto. Primero se comenzara con el tema de la manufactura aditiva ya que será el principal proceso de manufactura del proyecto. Luego se mencionará acerca de la robótica cognitiva y los manipuladores robóticos, siendo este segundo la forma que se desarrolla el proyecto, ya que se necesitan tareas básicas de manipulación de objetos. Relacionado con los manipuladores robóticos se toman en cuenta principalmente la cinemática inversa y directa, los planeadores de trayectorias, la visión robótica, una descripción de Moveit para el control de manipuladores. Al final se cierra con una revisión del estado del arte.

2.1. Manufactura aditiva

A la manufactura aditiva también se le conoce como impresión 3D y es diferente a los procesos convencionales de mecanizado o inyección en moldes porque involucran tecnologías que permiten la construcción de una pieza capa por capa, gracias a esto es que la manufactura aditiva permite la producción de formas geométricas complejas que convencionalmente no serían posibles o tendría un costo bastante elevado.[5] Otras ventajas es que permite personalizar una pieza de forma fácil y rápido ya que no requiere de moldes especiales o herramientas de corte específicas, también piezas que tienen agujeros o canales internos o piezas que requieren vaciados para eliminar peso pueden ser fabricadas con facilidad. En cuanto a los materiales usados existe una gran variedad como resinas, plásticos, algunos metales, cerámicos, concreto e incluso alimentos como el chocolate. [6]

La organización ASTM en su norma F42 clasifica en 7 categorías que se pueden obtener

piezas por la manufactura aditiva [7] , estas son:

1. VAT Photopolymerisation
2. Material Jetting
3. Bindir Jetting
4. Material Extrusion
5. Powder Bed Fusion
6. Sheet Lmaination
7. Directed Energy Deposition

De los anteriores el más común y utilizado en el proyecto, es el Material Extrusion o Modelado por Deposición Fundida (FDM), en este proceso se necesitan 3 elementos esenciales que son la cama o placa base donde la pieza se va ir imprimiendo capa por capa, el filamento de material de impresión y el extrusor. El filamento se alimenta poco a poco al extrusor el cual se encarga de derretirlo y depositarlo capa por capa en la placa de impresión, el FDM permite el uso de una gran variedad de polímeros termoplásticos siendo los principales utilizados el Ácido Poliláctico (PLA) o el Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS), también se emplean el Polietileno Tereftalato (PET), Acrilato Estireno Acrilonitrilo (ASA), Acetato de Polivinilo (PVA), nylon y otros materiales híbridos como el PLA con madera o metal. En la figura 2.1 se observa el sistema de impresión que permite la creación de la pieza capa por capa.

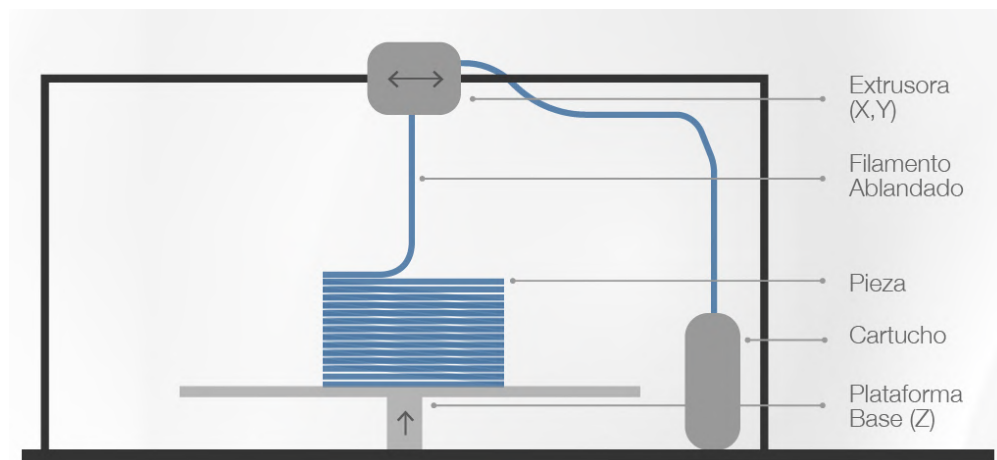


Figura 2.1. Funcionamiento de impresión por FDM. [8]

Según Stratasys el proceso básico de impresión 3d por FDM se divide en 3 para la creación de una pieza.[9] Lo primero es crear el archivo de construcción, luego se debe de preparar la maquina y por ultimo construir la pieza.

Archivo de construcción

El primer paso es utilizar el software de la impresora el cual toma el archivo de la pieza y lo lamina, de tal forma que se forme por capas para que la impresora lo pueda imprimir. En este paso se seleccionan la orientación en la que la pieza se va a imprimir, la cantidad de material de relleno y si lleva o no soportes.

Preparación de maquina

En este paso lo principal es calibrar o verificar que la impresora este calibrada, luego se debe de colocar el material o materiales de impresión, esto va depender si la impresora tiene uno o varios extrusores.

Construir pieza

En el ultimo pazo se debe esperar a que la pieza se imprima capa por capa y en caso que haya un problema se debe reiniciar el proceso, fallos que suelen ocurrir son que la pieza se suelta de la base o el extrusor se atasca debido a los altos tiempos de operación. Cuando se termine la impresión se deben retirar las piezas de la placa de impresión y retirar todo el material de soporte de ser necesario de la pieza.

2.2. Robótica

El origen de la palabra robot viene de robota, la cual significa trabajo en el idioma checo. El termino robot fue presentado por el escritor de ciencia ficción Karel Capek, ya que este nombró robots bípedos a los que ayudaban a los humanos en tareas que eran difíciles. Debido a esto es que actualmente el termino robot se emplea para denotar maquinas autónomas [10]. Los robot se pueden clasificar de muchas formas, la forma más básica seria la siguiente:

- Robots manipuladores
- Robots móviles (robots aéreos, marinos y terrestres)

Por otro lado el termino robótica se acuñó por el escritor de ciencia ficción Isaac Asimov como un campo reciente en la tecnología moderna, el entendimiento y el desarrollo de aplicaciones con robótica se relaciona con una gran variedad de disciplinas, entre las cuales están la ingeniería eléctrica, ingeniería mecánica, informática y matemáticas aplicadas por mencionar algunas. Entonces la robótica se podría definir como el estudio y desarrollo de maquinas que pueden ejecutar diferentes tareas de forma autónoma [10].

2.2.1. Robótica Cognitiva

A partir de lo anterior surge la rama robótica cognitiva donde la palabra cognición viene del verbo latín cognosco, se forma de con(relacionado a) y gnosco (saber). Entonces en la robótica cognitiva el conocimiento tiene una importancia elevada o imprescindible en la selección de acciones, la ejecución y la comprensión de estas. Por eso los robots se diseñan y construyen inspirados en modelos biológicos, con capacidades sensoriales, motoras y cognitivas, que pueda aprender de las experiencias propias o de otros, que use estos conocimientos según la situación lo requiera en las acciones que ayuden a cumplir su objetivo mientras se anticipa al resultado de estas y pueda adaptarse modificando su comportamiento [11].

La robótica cognitiva tiene como objetivo principal la creación de sistemas de aprendizaje abiertos y flexibles, es decir, busca crear maquinas que tengan la capacidad de saber lo que hacen y que de esta forma sean más robustos y adaptativos al realizar sus tareas, es decir que tienen la capacidad de aprender.[4] La investigación de esta área se centra en brindar a los robots funciones cognitivas de tal forma que puedan razonar, actuar y percibir en entornos cambiantes y desconocidos. [12]

2.2.2. Manipuladores robóticos

Un robot manipulador o un manipulador es un brazo mecánico articulado el cual se forma por una secuencia de eslabones o links (vínculos fijos) que se conectan entre ellos mediante articulaciones o joints que definen el movimiento relativo entre dos links consecutivos, las articulaciones pueden ser fijas, prismáticas o de revolución. Las articulaciones determinan el numero de grados de libertad que va tener el manipulador, lo más usual es que sean 6 ya que 3 se encargan de posicionar el ultimo link de la cadena en el espacio cartesiano xyz y los otros 3 especifican su orientación[10]. Al final de la cadena o secuencia de links se encuentra el efector final o herramienta que es la que se desea manipular para realizar una tarea.

En los manipuladores se definen dos espacios para describir su posición, el primero es

el espacio de articulaciones, este se indican los valores de posición o ángulos en los que se encuentra cada una de las articulaciones que forman el manipulador y la segunda es el espacio cartesiano o espacio de trabajo, en este se indica la pose que tiene el efector final con respecto al sistema de coordenadas de referencia del manipulador[13].

2.2.3. Cinemática directa e inversa

La cinemática es la ciencia que estudia el movimiento sin considerar las fuerzas que lo ocasionan, se estudian la posición, la velocidad, la aceleración y todas las derivadas de mayor orden de las variables de posición. Por lo que la cinemática de manipuladores se refiere a todas las propiedades del movimiento (las geométricas y las que se basan en el tiempo)[13].

La **cinemática directa** es el problema geométrico estático que consiste en calcular la pose (posición y la orientación) del efector final del manipulador cuando se brinda un conjunto de ángulos articulares. Los ángulos articulares son conocidos y además el número de grados de libertad del manipulador determina la cantidad mínima de variables que deben brindarse para conocer la posición de todos sus elementos, mientras que para el caso de un manipulador de cadena abierta corresponde al número de articulaciones[13].

La **cinemática inversa** es el problema fundamental para los manipuladores, el cual dada una pose (una posición y una orientación) del efector final del manipulador, calcule todos los posibles ángulos articulares que podrían ser usados para alcanzar la posición y orientación dadas. Este problema se realiza de manera rutinaria en los sistemas biológicos pero para el caso de un sistema artificial como un robot es necesario de un algoritmo para realizar dicho cálculo. Todos los puntos cartesianos donde exista una solución de cinemática inversa define el espacio de trabajo del manipulador[13].

2.2.4. Solución de la cinemática inversa

Como se mencionó anteriormente la cinemática inversa es fundamental para los manipuladores y es muy complejo de resolver, debido a que las ecuaciones generalmente no son lineales y respecto a su solución es posible que existan infinitas, múltiples o ninguna para una posición y orientación del efector final. El uso de mínimos cuadrados para aproximar linealmente es una de las alternativas de solución. Al resolver interactivamente la ecuación 2.1 se puede encontrar la solución de la cinemática inversa, donde $\vec{e}$ corresponde al cambio deseado en la pose del manipulador, el $\Delta\Theta$ es el cambio en la posición de las articulaciones y $J(\Theta)$ que corresponde a la matriz jacobiana del manipulador [4].

$$\vec{e} = J(\Theta)\Delta\Theta \quad (2.1)$$

En [14] se muestran diferentes métodos para resolver la ecuación 2.1.

2.2.5. Planeamiento de trayectorias

Para que el manipulador se mueva de una forma suave y controlada, es necesario que cada articulación se mueva según lo especifica una función continua del tiempo, cada articulación inicia y termina su movimiento al mismo tiempo para que el movimiento del manipulador tenga el efecto de parecer coordinado, donde la manera exacta de calcular estas funciones de movimiento se llama generación o planteamiento de trayectorias[13]. La generación de trayectorias debe considerar y evitar las colisiones y posiciones inalcanzables. En la imagen 2.2 se muestra la trayectoria planeada que debe seguir un manipulador para llegar del punto A al B.

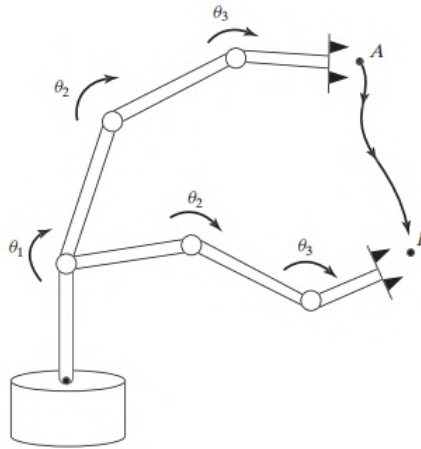


Figura 2.2. Trayectoria de un manipulador. [13]

2.2.6. Visión robótica

Mediante el uso de sistemas de visión se puede obtener información del ambiente que rodea al robot para tener una mejor interacción. Se va a presentar un método que permite obtener la posición de un punto utilizando una sola cámara, este se basa en el modelo pinhole.

En la figura 2.3 se observan los sistemas de coordenadas que forman un sistema de visión robótico, donde a partir de un punto q encontrado en la imagen(2D) se obtengan las coordenadas reales del punto Q (3D). [15, p. 113]

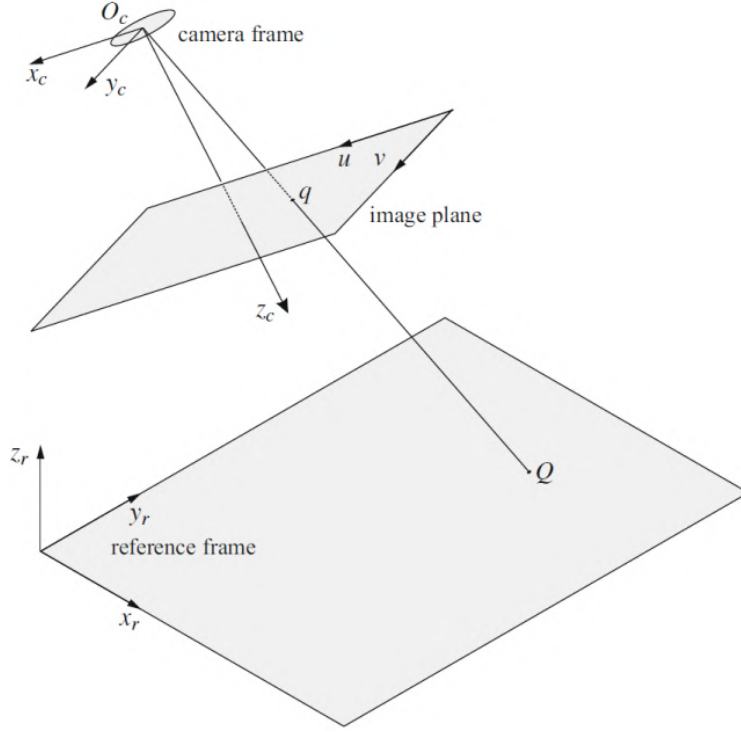


Figura 2.3. Sistemas de coordenadas de una sola cámara. [13]

El primer paso es pasar de las coordenadas de la cámara (X_c, Y_c, Z_c) al plano de imagen (u, v) . Para esto es necesaria la matriz P o de proyección como se muestra en la ecuación 2.2 donde s es un factor de escala que por lo general es desconocido. El valor de la matriz P se tiene en la ecuación 2.3 donde (u_o, v_o) es el centro de la imagen, f_x y f_y son las distancias focales a lo largo de los ejes de la imagen y se obtienen en la ecuación 2.5 donde f_c es la distancia focal y (D_x, D_y) representan el tamaño del píxel. Los valores de la matriz P se conocen como valores intrínsecos y son valores únicos para cada cámara.

$$s \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = P \begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

$$P = \begin{bmatrix} f_x & 0 & u_o & 0 \\ 0 & f_y & v_o & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

$$f_x = \frac{f_c}{D_x} \quad (2.4)$$

$$f_y = \frac{f_c}{D_y} \quad (2.5)$$

El siguiente paso es pasar de las coordenadas de referencia (X_r, Y_r, Z_r) a las coordenadas de la cámara (X_c, Y_c, Z_c) . Para esto es necesaria la matriz M que se muestra en la ecuación 2.6 esta matriz también tiene el nombre de parámetros extrínsecos y si esta se junta con la matriz P da como origen la matriz de calibración como se muestra en la ecuación 2.7 la cual permite pasar de un punto de referencia $Q (X_r, Y_r, Z_r)$ a un punto q en el plano imagen (u, v) . Para determinar los valores de PM es necesario realizar el proceso de calibración.

$$\begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \\ 1 \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} X_r \\ Y_r \\ Z_r \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

$$s \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = PM \begin{bmatrix} X_r \\ Y_r \\ Z_r \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

2.3. Middleware robótico ROS

Robot Operating System (ROS) es un middleware robótico es decir que funciona como una red oculta que permite interconectar diferentes frameworks, pues facilita el envío y recepción de datos entre ellos, con el fin de que sea más sencillo desarrollar todo el software necesario para el desarrollo de robots. ROS no es un sistema operativo como tal, los servicios que provee son la abstracción del hardware, simplificar el control y comunicación de dispositivos de bajo nivel como sensores y actuadores, la implementación de funciones comunes fácilmente, una fácil comunicación entre procesos y el mantenimiento de paquetes [16]. ROS se compone de dos partes principales, el sistema operativo o núcleo de ros y la segunda son los paquetes, estos son aportados por otros usuarios con el fin de tener funciones en concreto,

como el planeamiento de rutas, mapeo, localización y muchas más. Al permitir un desarrollo modular de aplicaciones robóticas, este se compone por los siguientes conceptos o partes:

- **Nodos:** es un programa de ROS que usa para comunicarse y procesar información de alguna manera, estos son útiles solo se pueden comunicar con otros, varios nodos pueden ejecutarse al mismo tiempo y cada uno realizar una tarea diferente [17].
- **Topics:** son los canales por donde pasa la información de un nodo a otro, en estos los nodos se pueden subscribir para recibir información o pueden publicar para enviar información. Eso quiere decir que en los topics se puede leer y escribir información múltiples veces y al mismo tiempo [17].
- **Mensajes:** es la estructura definida que van a tener los datos cuando estos se envían o reciben por los topics, existe un tipo de mensaje específico para las imágenes, para la información de un sensor, para enviar la pose de un robot o una trayectoria a seguir [17].
- **Servicios:** son la interacción de solicitar y recibir entre nodos, estos se utilizan cuando la información o una acción no se desea estar realizando todo el tiempo. Por lo cual se le definen un mensaje para la solicitud y otro para la respuesta [17].
- **Acciones:** estas se utilizan cuando las tareas que se vayan a realizar son de larga duración como el desplazamiento de un robot o un conjunto de movimientos, además posee topics específicos para recibir información del estado de la tarea o para cancelarla [17].
- **Paquetes:** es la compilación de nodos, mensajes, servicios y acciones que permiten realizar una función específica, estos se desarrollan por los usuarios por lo que hay un gran número de estos para diferentes aplicaciones. El sistema robótico permite la ejecución de varios paquetes simultáneamente lo que facilita el desarrollo robótico [17].

2.3.1. Moveit

Moveit es un paquete de ROS que simplifica el problema de poder controlar un manipulador. Su principal tarea es calcular y proveer las trayectorias para mover el manipulador a un punto específico deseado o necesario para una tarea. Para mover el manipulador de la posición actual a una posición deseada se debe brindar la secuencia de valores que cada articulación debe seguir y de esto se encarga el motion planner, el cual genera la ruta que

se debe seguir evitando obstáculos o posiciones invalidas. El código que realiza este plan se llama planner y moveit ofrece algunos, los cuales tienen sus ventajas y desventajas según la aplicación deseada a implementar [18]. Se puede obtener más información de los planeadores que moveit ofrece en [19]. La principal ventaja de moveit es ser de licencia abierta y que permite su uso comercial, industrial y de investigación por lo que compañías como Google, Microsoft, Samsung, NASA y otras lo utilizan.

2.4. Diseño de experimentos

El Diseño de experimentos (DOE) según lo describe Gutierrez y de la Vara "Consiste en planear y realizar un conjunto de pruebas con el objetivo de generar datos que, al ser analizados estadísticamente, proporcionen evidencias objetivas que permitan responder las interrogantes planteadas por el experimentador sobre determinada situación." [20, p. 5]. Las definiciones básicas del DOE son las siguientes:

- **Experimento:** Consiste en el cambio de las condiciones de operación con el objetivo de medir el efecto del cambio en las propiedades de un producto o un resultado [20, p. 7].
- **Variables de respuesta:** A través de estas se conoce el efecto o los resultados de cada prueba experimental [20, p. 7].
- **Factores controlables:** Son variables de proceso y/o características de los materiales y los métodos experimentales que se pueden fijar en un nivel dado [20, p. 8].
- **Factores no controlables:** Son variables que no se pueden controlar durante el experimento o la operación normal del proceso [20, p. 8].
- **Factores estudiados:** Son las variables que se investigan en el experimento para observar cómo afectan o influyen en la variable de respuesta [20, p. 8].
- **Niveles y tratamientos:** Los niveles son los diferentes valores que tiene cada factor estudiado en un DOE y la combinación de los niveles de los factores estudiados se llaman tratamientos [20, p. 8].
- **Error aleatorio:** Es la variabilidad observada que no se puede explicar por los factores estudiados; resulta del pequeño efecto de los factores no estudiados y del error experimental [20, p. 9].

- **Error experimental:** Componente del error aleatorio que refleja los errores del experimentador en la planeación y ejecución del experimento [20, p. 9].

2.5. Estado del arte

En esta sección se dará una vista general sobre la investigación realizada en robótica cognitiva. Además se dará una pequeña revisión en manipuladores similares a Thor u otras versión del mismo para determinar futuras modificaciones. Icube es uno de los ejemplos más importantes de la investigación cognitiva y es que es un robot que cuenta con 53 grados de libertad que tiene el tamaño de un niño pequeño y el objetivo es el desarrollo de habilidades cognitivas que puedan simular el de los infantes [21]. Icube tiene una licencia abierta General Public Licence (GNU) lo que permite que otras personas puedan modificar la plataforma libremente para desarrollar otros estudios, como Leitner [22] que presentó una arquitectura para que Icube tuviera capacidades avanzadas en la coordinación mano-ojo, como evitar obstáculos móviles y la manipulación de objetos complejos mediante el uso de sistemas visuales. Otro estudio a partir del Icube es el presentado por Nguyen et al. [23] que presentan el desarrollo cognitivo de los infantes de la curiosidad por manipular para aumentar el aprendizaje perceptual para reconocer objetos mediante la implementación de módulos de percepción, control activo de exploración como parte de la arquitectura cognitiva MACSi. El experimento consistía en que a Icube se le presentaban varios objetos y este tomaba el que más llamaba su curiosidad para explorarlo y aprender más de él, luego la información recolectada sirve para mejorar el reconocimiento del algoritmo. Además existen otras arquitecturas de robótica cognitiva que han desarrollado experimentos de manipulación, como lo es el experimento por Wilson et al [24] para el cual se utilizó un robot PR2 con la arquitectura cognitiva DIARC donde se realiza una toma de objetos a partir del aprendizaje de un único objeto, este se desarrolló mediante un simulador físico en el cual el proceso de simulación mental permite mejorar el desempeño de este en el mundo real. Mohan et al. [25] desarrollaron un proyecto directo de la capacidad de los humanos y es la de aprender una gran variedad de conocimiento a partir de las instrucciones verbales como se hace en las escuelas hasta procedimientos como se hace en las capacitaciones. Este experimento se desarrolló con un robot al cual se le enseñan tareas mediante instrucciones verbales, las instrucciones son básicas como "recoge x cosa" o "ponlo en x lugar".

Por otro lado el manipulador Thor presentado por Angel [26], es un manipulador de 6 grados de libertad, tiene una altura de alrededor de 625mm y puede manejar cargas de

750gramos. Su principal ventaja es que es hardware abierto y puede ser usado y modificado por cualquiera. Como es el caso de Danny [27] que en base al modelo Thor el cual le añadió mejoras y modifíco para que pueda ser impreso en impresoras más pequeñas, algunas de las mejoras fueron una interfaz de usuario para controlarlo más fácilmente, además de un control de mano para mover el robot manualmente y poder guardar las ubicaciones y la principal fueron los sensores de feedback. Sepio [28] que en base al modelo Thor de Angel y Danny también modifíco y añadió sus mejoras las cuales consisten en una pantalla para programar y visualizar el manipulador, además de una punta de calibración e hizo modular las articulaciones del brazo. Aparte de las construcciones previas también Thor ha sido usado en experimentos como el que presentan Teodoro et al. [29] el cual mediante el uso de redes neuronales artificiales resuelven la cinemática inversa de los manipuladores de 6 grados de libertad, el cual se sabe que es un problema fundamental de los manipuladores y muy complejo. Delfosse et al. [30] presentan un experimento mediante un robot simulado el cual aprende estrategias de simulación mediante una arquitectura robótica para que aprendan de manera supervisada, todo el conocimiento aprendido se puede transferir a otros robots el cual es una construcción en físico del manipulador Thor.

En este capítulo se describen los aspectos metodológicos que se emplearon en el desarrollo del proyecto. Se explicarán los aspectos teóricos de la metodología y como esta se adaptó para llevar a cabo la ejecución del proyecto.

3.1. Metodología de diseño

Mediante una metodología de diseño se pueden organizar el proceso de la investigación y el de presentar posibles soluciones a un problema, en otras palabras, es una guía que permite satisfacer una necesidad específica o resolver un problema de forma estructurada para obtener una solución aceptable. Para el desarrollo del proyecto se utilizó como referencia el proceso de diseño de ingeniería está se basa en el libro “Diseño y desarrollo de productos” de Karl Ulrich y Steven Eppinger [31], esta no se puede utilizar en su totalidad ya que el proyecto no es un producto comercial, por eso en la figura 3.1 se muestra el proceso para el desarrollo del proyecto.

A continuación se detalla cada etapa a seguir de la figura 3.1.

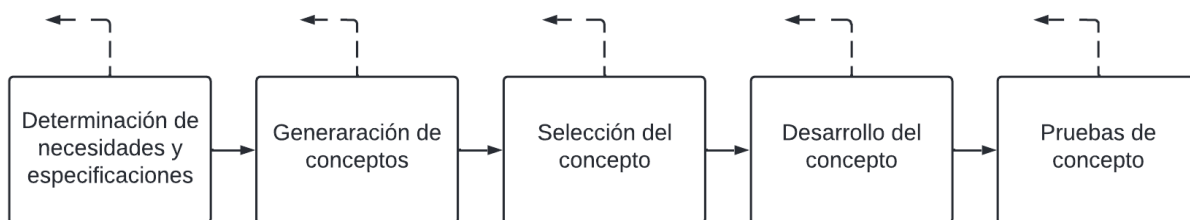


Figura 3.1. Metodología de diseño seguida en el proyecto.

3.1.1. Determinación de necesidades y especificaciones

Esta etapa es la base de la metodología pues busca entender de forma clara lo que busca el cliente. Por lo que las necesidades planteadas se deben de sintetizar de forma jerárquica para establecer las características que la solución debe tener para satisfacer al cliente. Seguido de esto se deben generar las especificaciones para describir de forma medible las características del concepto, se establecen a partir de las necesidades. Cada especificación se compone de una métrica de desempeño y dos rangos de valores, uno es el valor marginal el cual se debe de cumplir como mínimo para que sea aceptable y el valor ideal que es lo que desea el cliente que cumpla. Además las necesidades y las especificaciones tienen un valor ligado que representa su importancia, este se obtienen mediante un cuestionario para el cliente con el fin de priorizar en el desarrollo las características que son más importantes para él. En la tabla 3.1 se muestra la escala de importancia utilizada para priorizar las necesidades y las especificaciones durante el desarrollo del proyecto.

Tabla 3.1. Escala de importancia de las necesidades y especificaciones

Valor	Significado
1	Es indeseable
2	No es importante
3	Es deseable
4	Es importante
5	Es imprescindible

En esta etapa es donde se realizan las entrevistas con el cliente para desarrollar las necesidades, además para este proyecto también se cuenta con el trabajo previo realizado en el laboratorio del cual se puede obtener información importante para complementar las necesidades e información para definir los valores de las especificaciones, aparte del uso de bibliografía complementaria como pueden ser las especificaciones técnicas de componentes usados o recomendaciones de fabricantes.

3.1.2. Generación de conceptos

Esta etapa se encarga de explorar las posibles soluciones que puedan satisfacer las necesidades cliente adecuadamente. Para esto la descomposición funcional del problema es imprescindible, donde la forma más útil es representar el problema como una caja negra [31, p. 124], esta posee tanto entradas como salidas de material, energía y señales. En la figura 3.2 se tiene el problema como una caja negra donde las líneas delgadas representan el flujo

energía, el cual puede ser transformado en su interior, las líneas gruesas representan el flujo de material en el sistema y las líneas discontinuas representan el flujo de señales de control. Cuando se definió la caja negra lo siguiente es dividirla en subfunciones que permita crear una descripción más específica de los elementos que pueden implementar el funcionamiento del producto. En caso de que estas subfunciones sigan siendo complejas se pueden desarrollar más subfunciones hasta que se lleguen a funciones que sean suficientemente simples.

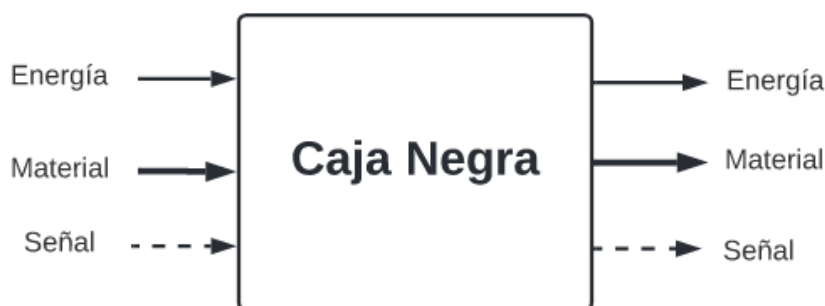


Figura 3.2. Representación del problema como caja negra. Adaptado de [31, p. 124]

Una vez que se tiene la descomposición funcional bien detallada, se deberán buscar soluciones para cada función, en el proceso de generación de conceptos utilizará fuentes externas y soluciones mediante los conocimientos propios. A partir de esto se pueden generar un conjunto de partes o fragmentos de conceptos que al combinarse entre ellos generaran los conceptos de solución.

3.1.3. Selección del concepto

En esta etapa se realiza un proceso para evaluar todas las posibles soluciones encontradas en la generación de conceptos, estas son evaluadas según las necesidades establecidas del cliente y otros criterios que tienen que ver con el costo, complejidad de adaptación y modularidad. Este proceso de evaluación permite obtener el concepto de solución más prometedor eliminando el resto de conceptos. El análisis se realiza tomando un concepto asignándolo como una referencia del cual los demás conceptos se evaluarán según el desempeño en comparación con el concepto referencia.

En el proceso de evaluación utiliza dos conceptos el filtrado y evaluación de conceptos. El filtrado se utiliza para disminuir rápidamente el número de conceptos considerados mediante una matriz comparativa de las características de los conceptos respecto a una referencia, se utiliza una evaluación relativa donde en cada celda se coloca mejor(+), peor(-) o igual(0)

[31, p. 150-153]. La evaluación de conceptos se utiliza para realizar con más detalle una diferencia entre los conceptos mediante comparaciones más refinadas de cada criterio. Cada criterio se le asigna un peso que pondera las evaluaciones de los conceptos, la selección del concepto se realiza al sumar la puntuación de cada concepto, en la tabla 3.2 se muestra la escala utilizada en la evaluación de conceptos.

Tabla 3.2. Escala de desempeño relativo de la evaluación de conceptos [31, p. 155]

Calificación	Desempeño relativo
1	Mucho peor que la referencia
2	Peor que la referencia
3	Igual que la referencia
4	Mejor que la referencia
5	Mucho mejor que la referencia

3.1.4. Desarrollo del concepto

Esta etapa tiene como objetivo la implementación del concepto seleccionado. Además se hacen uso de las especificaciones planteadas como guía para ir completando y generando las funciones requeridas conforme se avanza en el desarrollo del concepto.

3.1.5. Pruebas de concepto

Las pruebas de concepto son un conjunto de experimentos que tienen como función establecer el grado de cumplimiento del concepto con respecto las necesidades y especificaciones establecidas. Además los resultados de estas pruebas permitirán refinar y optimizar aspectos del funcionamiento del concepto. Se describen mejor en la sección 3.4.

3.2. Bitácora del producto

La bitácora del producto se usa para documentar el plan del proyecto y los resultados de la fase de desarrollo [31, p. 377]. Debido a que el cliente manifestó que la documentación del proyecto es fundamental, se decide utilizar la bitácora de producto para registrar todo el proceso de diseño en un solo documento el cual permitirá que el cliente tenga a mano el detalle de cada etapa de diseño. Además otra razón para añadir la bitácora de producto al proyecto es que se ha empleado en los trabajos previos del LIANA. Este documento se encuentra en el apéndice A.

3.3. Descomposición del proyecto

El proyecto cuenta con una complejidad suficiente para requerir de una descomposición en subsistemas con el fin de que cada uno se pueda desarrollar fluidamente. En la figura 3.3 se muestran los subsistemas principales donde el subsistema plataforma robótica representa la parte física del proyecto, eso quiere decir que incluye los manipuladores. Recibe como entradas la energía, las señales que controlan sus actuadores y el material que en este caso es el objeto a manipular, como salidas tiene datos sensoriales (posición de las articulaciones) y el material que vuelve a ser el objeto que se desea manipular.

El subsistema del sistema operativo robótico representa toda la parte de software y control de la plataforma robótica, además se realiza la monitorización del estado de la plataforma robótica. Tiene como entradas la energía necesaria para funcionar, una señal de control de un usuario y los datos sensoriales que indican el estado de la plataforma y tiene como salida la señal de control de los actuadores.

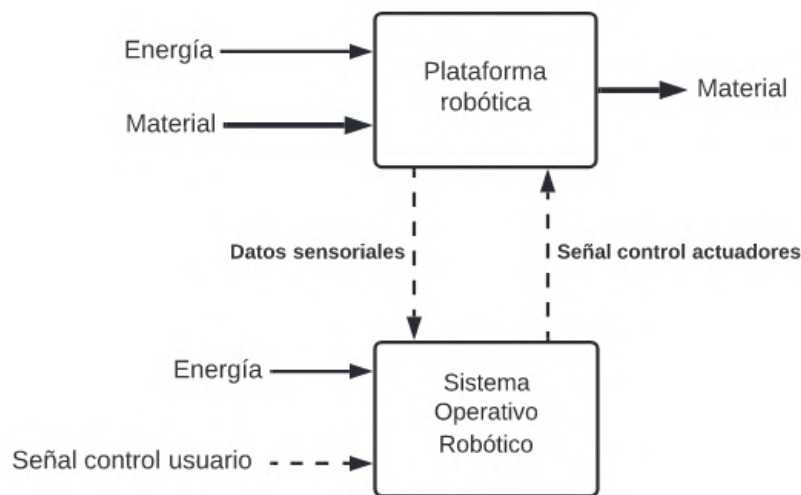


Figura 3.3. Diagrama de bloques de los subsistemas del proyecto.

3.4. Diseño de experimentos

Para evaluar el cumplimiento de las especificaciones finales del robot se plantearon dos experimentos. A continuación se mencionan dichos experimentos:

- **Manipulación de objetos:** Busca determinar si el robot cuenta con la capacidad de

tomar y manipular objetos mediante una evaluación en la tasa de éxitos al realizar las acciones.

- **Reconocimiento visual de objetos:** Permite evaluar la capacidad de reconocimiento visual de los objetos mediante una evaluación de la precisión de su ubicación.

Los experimentos y sus respectivos resultados serán descritos con mayor detalle en los capítulos siguientes.

Desarrollo de la plataforma robótica

En este capítulo se presenta el proceso de diseño seguido para el subsistema plataforma robótica que representa la parte de hardware o física del proyecto de la figura 3.3. Se comenzará mencionando los requerimientos que el cliente manifestó, los cuales fueron la guía para el diseño expuesto en las siguientes secciones. Luego se explicarán los detalles del rediseño y de la manufactura del robot, finalizando con los resultados de la implementación.

4.1. Identificación de requerimientos

En el estudio que se realizó sobre todo el trabajo previo del laboratorio y la entrevista con el cliente, se busco reunir información sobre los requisitos que debía tener la plataforma para realizar experimentos, toda esta información se redactó en un conjunto de necesidades. En la tabla 4.1 se muestran las necesidades referentes al capítulo sobre la plataforma física. Se observa que las necesidades más importantes indican que el manipulador debe tener 6 grados de libertad ya que de esta forma se puede posicionar el efector final del robot en posición y orientación, también esta necesidad se relaciona con la que el manipulador a utilizar es el Thor, ya que el cliente especifico que el manipulador no se puede cambiar por otro porque los materiales adquiridos previamente se pensaron en Thor y para mantener una continuidad del proyecto desarrollado previamente, por eso el rediseño a realizar que permita agregar sensores de posición no debe afectar los 6 grados de libertad que tiene. Siguiendo la importancia el sistema a desarrollar debe tener no solo la capacidad de tomar objetos sino también desplazarlos. Además, para el laboratorio es importante que se aprovechen los materiales adquiridos previamente y que se tenga un alto nivel de modularidad que permita a la herramienta ser actualizable a otros componentes. Finalmente como es de alto interés para

el laboratorio que sea de desarrollo abierto, se debe realizar una documentación completa que permita facilitar el rediseño, actualización y adaptación del sistema en futuros usos.

Tabla 4.1. Necesidades referentes a la plataforma física.

No.	Necesidades	Importancia
1	El SD cuenta con 6 grados de libertad.	5
2	El SD es de bajo costo.	3
4	El SD permite el desarrollo de experimentos cognitivos.	
4.1	El SD tiene la capacidad de tomar y desplazar objetos.	5
4.3	El SD tiene la capacidad de conocer la posición de sus articulaciones.	5
5	El SD es inherentemente actualizable con componentes y mejoras.	
5.1	El SD cuenta con su propio circuito impreso para los actuadores y sensores.	3
5.2	El SD cuenta con materiales con poco impacto ambiental.	3
5.3	El SD utiliza los componentes que se encuentran en el laboratorio.	3
6	El SD cuenta con un alto nivel de modularidad.	
6.1	El SD se conecta a un computador externo de procesamiento.	3
6.3	El SD utiliza el manipulador THOR como base para sus manipuladores.	3
7	El SD cuenta con una documentación completa.	
7.1	El SD cuenta con planos de sus piezas.	4
7.2	El SD cuenta con un plan de manufactura.	4
7.3	El SD cuenta con instrucciones de ensamblado mecánico.	4
7.4	El SD cuenta con diagrama eléctrico de conexiones.	4
7.6	El SD cuenta con la lista de materiales utilizados.	4
7.7	El SD cuenta con un plan de mantenimiento.	4

Para tener un punto medible a la hora trabajar en cada necesidad es que se generó un conjunto de especificaciones, en la tabla 4.2 se muestran todas las características que debe cumplir el sistema para poder satisfacer al cliente. Las especificaciones más significativas siguen la importancia de las necesidades anteriores.

Tabla 4.2. Especificaciones objetivo referentes a la plataforma física.

No.	Métrica	Imp.	Unidad	Val.marginal	Val.ideal
1	Grados de libertad del manipulador.	5	Cantidad	> 6	> 6
2	Costo del robot.	3	USD	< 3186	< 3000
4	Dimensiones máximas del objeto	5	mm	> 25	> 50
5	Peso máximo del objeto.	5	g	> 25	> 50
6	Velocidad máxima con la que mueve un objeto.	5	m/s	> 0,25	> 0,5
9	Sensores usados en las articulaciones.	5	Lista	Codificador Potenciómetro	Codificador Potenciómetro
10	Resolución de sensores de posición de las articulaciones.	5	grados	< 1,8	< 0,9
11	Puntuación por facilidad en la conexión de actuadores y sensores	3	Evaluación	> 2	4
12	Puntuación por usar materiales con poco impacto ambiental	3	Evaluación	> 3	5
13	Uso de componentes del laboratorio	3	% usados/total	> 90	100
14	Confiabledad en la comunicación de datos	3	% recibidos/enviados	> 90	> 95
16	Uso del manipulador THOR	3	Binario	Pasa	Pasa
17	Composición detallada de la documentación del robot	4	Lista	Ver tabla A.10	Ver tabla A.10

Los valores de las especificaciones se basaron en el trabajo previo del laboratorio y las limitantes físicas de los componentes, como la velocidad de motores, resolución de sensores, etc. Los comentarios de estos valores se presentan en la tabla A.12.

4.2. Implementación de los sensores.

A continuación se presenta el análisis realizado para la implementación de los sensores, esta sección es crítica ya que implica el rediseño de algunas piezas del manipulador siempre

buscando minimizar el efecto de estos cambios. Las formas en como se va a medir la posición de las articulaciones se realizaron para solucionar los subproblemas de la descomposición funcional de la figura A.2. Los fragmentos de solución se desarrollaron siguiendo la forma que estas mediciones se realizan en otras aplicaciones robóticas similares, esto permitió la generación la matriz de combinación, esta se muestra en la figura 4.1, las soluciones para cada subproblema de la descomposición funcional se obtuvieron de esta matriz.

Sensor 5 y 6	Sensor 3 y 2	Sensor 4 y 1	Módulo de control
Potenciómetro en eje	Potenciómetro en eje	Potenciómetro unión engrane	Placa para ambos brazos
Encoder incremental en eje	Encoder incremental en eje	Encoder incremental unión engrane	Placa por cada brazo

Figura 4.1. Matriz de combinación de fragmentos. Elaboración propia.

Mediante una combinación de los elementos de la tabla se generaron 10 conceptos distintos, por la naturaleza que se debe adaptar un sistema sobre otro existente, se puede tratar cada grupo de sensores de forma independiente, eso quiere decir cada articulación puede usar un codificador o un potenciómetro indiferentemente. Para determinar cual es la mejor combinación de sensores entre estos 10 conceptos es que primero fueron filtrados para llegar mediante una tabla comparativa a 4 conceptos, estos conceptos se evaluaron según varios criterios dando como ganador la combinación del concepto B, para el sensor 2, 3, 5 y 6 la mejor implementación es mediante codificadores mientras que para el sensor 1 y 4 la mejor implementación es con potenciómetros, ya que permiten un rediseño mínimo de las piezas y no necesita componentes extra aparte de los sensores y además permite una fácil instalación. El proceso completo que llevó a la generación de los conceptos finalistas se pueden consultar en la sección A.4.2. En la figura 4.2 se muestra el boceto del rediseño planteado del sistema diferencial, el cual se hizo partiendo de como funciona este sistema, si los motores giran en el mismo lado el sistema rota sobre los ejes y si los motores giran en dirección opuesta el

sistema rota en su propio eje.

Para registrar este movimiento en los sensores el eje se debe extender y que salga de la carcasa donde se coloca el sensor, además el piñón se debe sujetar al eje de forma que cuando gire, el eje se mueva con este y el sensor lo pueda registrar, finalmente el eje se debe partir en dos pues sus giros deben ser independientes para cada polea, por eso la pieza central se debe hacer más ancha y colocar dos rodamientos en vez de uno solo. En la figura 4.3 se muestra la boceto para la solución de la articulación 1 y 4 mediante potenciómetros, estos se van a añadir en el lado opuestos donde el motor engrana, así cuando el piñón del motor engrane el movimiento se trasmita al potenciómetro mecánicamente, de esta forma el rediseño es mínimo y no se toca la posición del sistema original. Para la articulación 4 es necesario sacar el ventilador de refrigeración para darle lugar al potenciómetro, el ventilador se debe colocar que no afecte su movimiento. Para la articulación 1 el potenciómetro se sujeta a la base por lo que no se toca el motor, como se tienen potenciómetros se pueden eliminar los finales de carrera para liberar espacio ya que no son necesarios, caso contrario con los codificadores que se debe colocar la posición cero a partir de donde contar. Finalmente la figura 4.4 muestra el boceto de solución para la articulación 2 y 3 donde el eje se debe extender de manera que salga de la carcasa para añadir el codificador, además el eje se debe fijar al cuerpo de la articulación 1 y el cuerpo de la articulación 3, así permite registrar el movimiento por los codificadores.

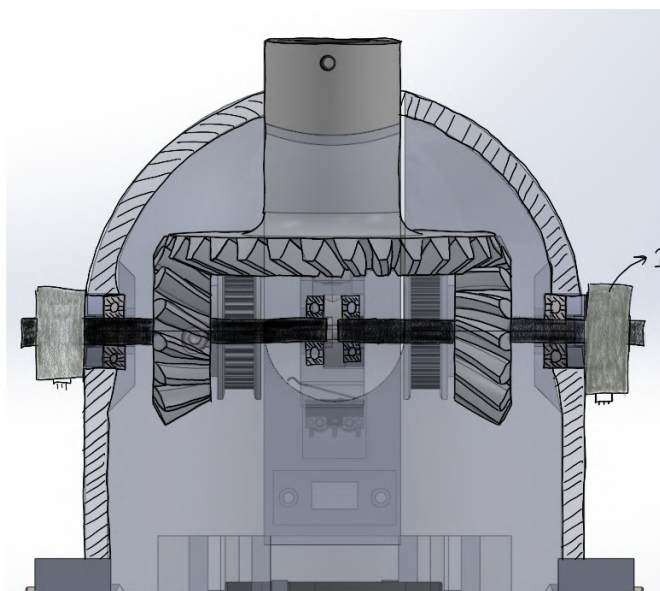


Figura 4.2. Boceto de la articulación 5 y 6 del concepto ganador.

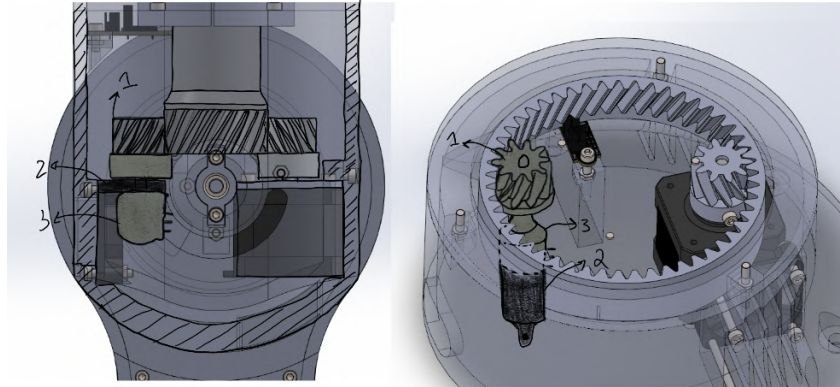


Figura 4.3. Boceto de la articulación 4 y 1 del concepto ganador.

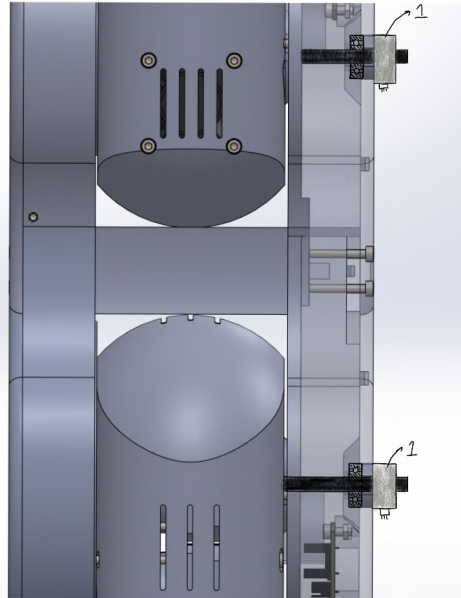


Figura 4.4. Boceto de la articulación 3 y 2 del concepto ganador.

Para los sensores se consultaron los de la tabla A.15, todos los codificadores se buscaron que tuvieran el mismo montaje por si en futuro el componente se vuelve obsoleto este se pueda

reemplazar con facilidad, los codificadores seleccionados para la evaluación se muestran en la tabla 4.3. Mientras en la tabla 4.4 se tiene la matriz de evaluación de codificadores donde se selecciono el AMT10E2, el cual cuenta con un kit para facilitar su instalación, incluye una herramienta para centrar al eje y varios adaptadores para diferentes diámetros de ejes, para el caso de la resolución esta es variable en un rango de 120 a 5120 pulsos por revolución y una precisión de 0.25 grados [32]. Para el caso del potenciómetro se escogió el vishay modelo 534 de 10 vueltas principalmente porque los potenciómetros convencionales están limitados mecánicamente a 1 vuelta o menos mientras que este permite 10 vueltas y la perilla es métrica de 6mm lo que facilita el acople a los engranes. [33]

Tabla 4.3. Codificadores seleccionados para evaluación

No.	Nombre	Resolución(grados)	Tipo	Enlace
1	MGT-42ST	0.36	Magnético	https://amzn.to/3QGEAGa
2	CALT kit	0.36	Óptico	https://amzn.to/3Cn0LeM
3	Broadcom	0.72	Óptico	https://bit.ly/3Aboo94
4	AMT10E2	0.07	Capacitivo	https://bit.ly/3R0sTKg

Tabla 4.4. Matriz de evaluación de codificadores

		Codificadores							
		AMT10E2		MGT-42ST		CALT		Broadcom	
Criterio de selección	Peso	Cal.	Pond.	Cal.	Pond.	Cal.	Pond.	Cal.	Pond.
Resolución	50 %	5	2,5	4	2	3	1,5	4	2
Simplicidad de instalación	25 %	5	1,25	4	1	3	0,75	5	1,25
Calidad	10 %	3	0,3	2	0,2	2	0,2	3	0,3
Facilidad de remplazo	15 %	3	0,45	3	0,45	3	0,45	3	0,45
Total de puntos		4,5		3,65		2,9		4	
Lugar		1		3		4		2	
¿Continuar?		Si		No		No		No	

4.3. Manufactura del Thor modificado

A continuación se presenta el análisis realizado para el rediseño y la construcción de los manipuladores. Inicialmente se comenzó con el rediseño de las piezas según la forma planteada en la sección anterior, luego se seleccionó el material para la fabricación de estas piezas, una

vez seleccionado el material se verificaron las piezas modificadas mediante simulaciones y finalmente se investigaron las consideraciones en la forma de impresión para estas piezas.

4.3.1. Rediseño de las piezas

El primer paso fue redibujar todas las piezas en SolidWorks, ya que originalmente las piezas se encontraban en archivos de freecad, el cual es un software libre, la importancia de tenerlos en SolidWorks es para poder obtener el modelo que se usará en ROS y por su facilidad de modelado, el proceso de redibujado de piezas fue extenso y laborioso con una duración de 3 meses(desde mayo hasta julio de 2022), debido a que primero se debía verificar que las piezas permitieran ser ensambladas antes de realizar el rediseño para los sensores. En la tabla 4.5 se muestran todas las piezas que forman un manipulador Thor, la casilla Redibujada indica si la pieza se dibujo desde cero, ya que algunos se pudieron exportar de los formatos existentes, la casilla de Rediseño indica si las piezas se modificaron a la hora del acople con los sensores y la casilla de cantidad indica cuantas de esas piezas se necesitan para construir un solo manipulador THOR . Para el caso de las ultimas piezas que se encuentran separadas es porque fueron se diseñaron desde cero con el fin de acoplar los sensores y el circuito impreso de OSCAR que se explica en secciones más adelante. Las piezas que tienen cantidad 0 son piezas que ya no son necesarias.

Tabla 4.5. Composición del manipulador

No.	Nombre	Redibujada	Rediseño	Cantidad
1	BaseBot	Si	Si	1
2	BaseTop	Si	No	1
3	BaseBearingFix	Si	No	1
4	BaseBoxBody	Si	Si	1
5	BaseBoxCover	Si	Si	1
6	Art1Body	Si	No	1
7	Art1Bot	Si	Si	1
8	Art1Top	Si	Si	1
9	Art1FanHolder	Si	No	1
10	Art1GearMotor	Si	No	1
11	Art1OptoFix	Si	No	1
	Art2BodyA			
12	Art2BodyASplitA	Si	No	1

13	Art2BodyASplitB	Si	No	1
14	Art2BodyACover1	Si	No	1
15	Art2BodyACover2	Si	No	1
16	Art2BodyAWindow	Si	No	1
	Art2BodyB			
17	Art2BodyBSplitA	Si	Si	1
18	Art2BodyBSplitB	Si	Si	1
	Art2BodyBCover			
19	Art2BodyBCoverSplitA	Si	No	1
20	Art2BodyBCoverSplitB	Si	No	1
21	Art2BodyUnion	Si	No	1
22	Art2MotorGear	Si	No	1
23	Art2SideCover	No	No	0
24	Art23Optodisk	Si	No	1
25	Art3Body	Si	Si	1
26	Art3Pulley	Si	No	1
27	Art3TensionerBody	Si	No	2
28	Art3TensionerPulley	Si	No	2
29	Art4Body	Si	Si	1
30	Art4BodyBot	Si	No	1
31	Art4BodyFan	Si	No	2
32	Art4TransmissionColumn	No	No	1
33	Art4BearingRing	Si	Si	1
34	Art4BearingPlug	Si	No	1
35	Art4MotorFix	Si	No	1
36	Art4MotorGear	Si	No	1
37	Art4Optodisk	Si	No	0
38	Art4BearingFix	Si	No	0
39	Art56GearPlate	No	No	1
40	Art56MotorCoverRing	Si	Si	1
41	Art56MotorHolderA	Si	Si	2
42	Art56MotorHolderB	Si	Si	2
43	Art56SmallGear	Si	No	2
44	CommonBearingFix	Si	No	1

45	CommonBearingFixThrough	Si	No	1
46	Gripper	Si	No	1
47	CoverRingBolt	No	Si	1
48	CoverRingNut	No	Si	1
49	EncoderMount	No	Si	2
50	AxisFix	No	Si	2
51	Art4PotGear	No	Si	1
52	Art1GearPot	No	Si	1
53	Art1PotMount	No	Si	1
54	Art4PotMount	No	Si	1
55	BaseCase	No	Si	1
56	BaseCaseTop	No	Si	1

Primero el rediseño comenzó por la articulación 56 debido a que era la más compleja al presentar el sistema diferencial, el cual si ambas poleas giran en un mismo lado se acciona la articulación 5(se mueve a los lados) y si las poleas giran en sentidos contrarios se acciona la articulación 6(rota). A partir de este principio se sabia que el eje de cada polea debe girar libremente por lo que la pieza central se hizo más grande que permitiera tener ambos rodamientos de los ejes, luego se quitó el anillo para que el sistema diferencial pudiera usar fajas GT2 de 200mm en lugar de las 208mm y las poleas de 20 dientes por unas de 16, estos cambios lo único que afectan es que la relación de poleas pasa de 2 a 2.5, este cambio solo debe tener en cuenta cuando se va controlar los motores y es que de esta forma los componentes que se necesitan son más fáciles de conseguir a nivel nacional. Las tapas laterales se reemplazaron con las piezas llamadas EncoderMount que permiten al codificador acoplarse al eje y tener una buena zona de apoyo y sujeción a la carcasa o Art4Body, ya que el contorno de la pieza es curvo. En la figura 4.5 se muestra la comparación del cambio de la articulación debido al rediseño donde 4.5b muestra el diseño inicial del manipulador y 4.5a muestra el rediseño que permite colocar los codificadores. También en la figura 4.6 muestra el interior de la pieza coverRing donde se pueden observar que los ejes de las poleas son independientes.

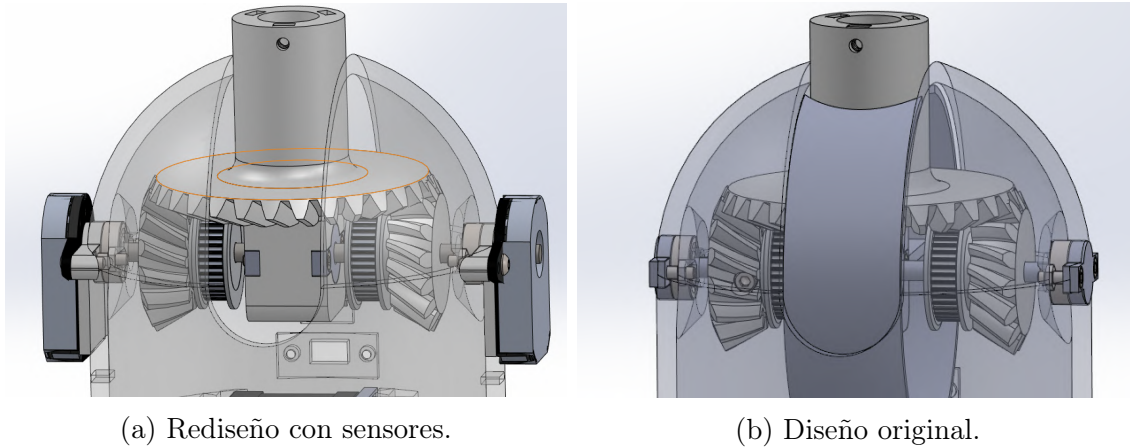


Figura 4.5. Evolución de la articulación 5 y 6. Elaboración propia.

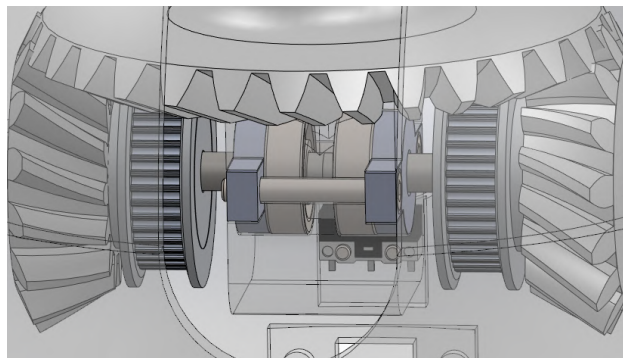
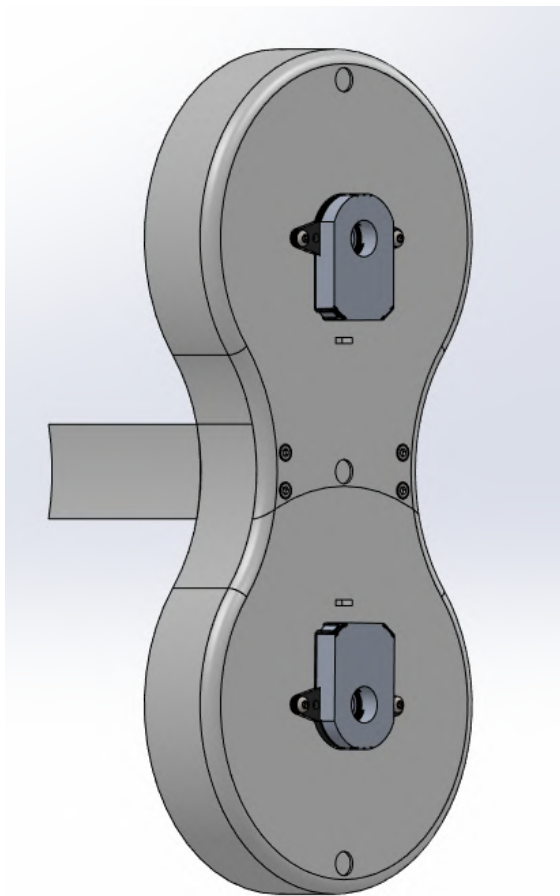
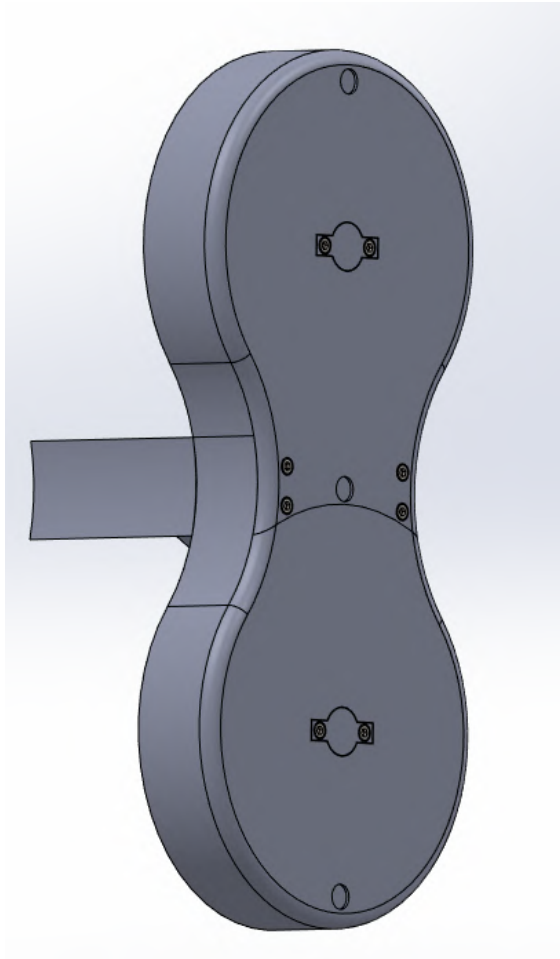


Figura 4.6. Sistema de ejes independientes para las poleas. Elaboración propia.

Para el caso de los codificadores en las articulaciones 2 y 3, fue necesario agregar los agujeros laterales para asegurar los codificadores, la tapa lateral, se reemplazó por una con un agujero que permitía al eje salir para acoplar el codificador, también se creó la pieza AxisFix cuya funcionalidad es para sujetar los ejes al cuerpo de las articulaciones 4 y 1. En la figura 4.7 se muestra la comparación del cambio de la articulación debido al rediseño donde 4.7b muestra el diseño inicial del manipulador y 4.7a muestra el rediseño que permite colocar los codificadores. En la figura 4.8 se muestra la pieza AxisFix que permite la unión del eje con el cuerpo de la articulación para que el codificador registre su movimiento.



(a) Rediseño con sensores.



(b) Diseño original.

Figura 4.7. Evolución de la articulación 2 y 3. Elaboración propia.

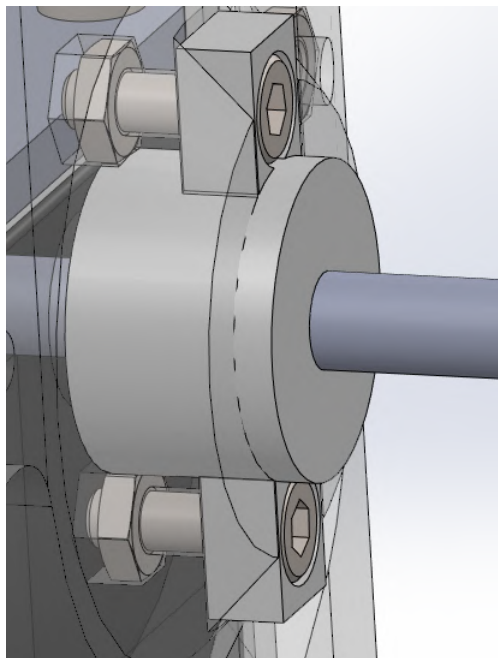
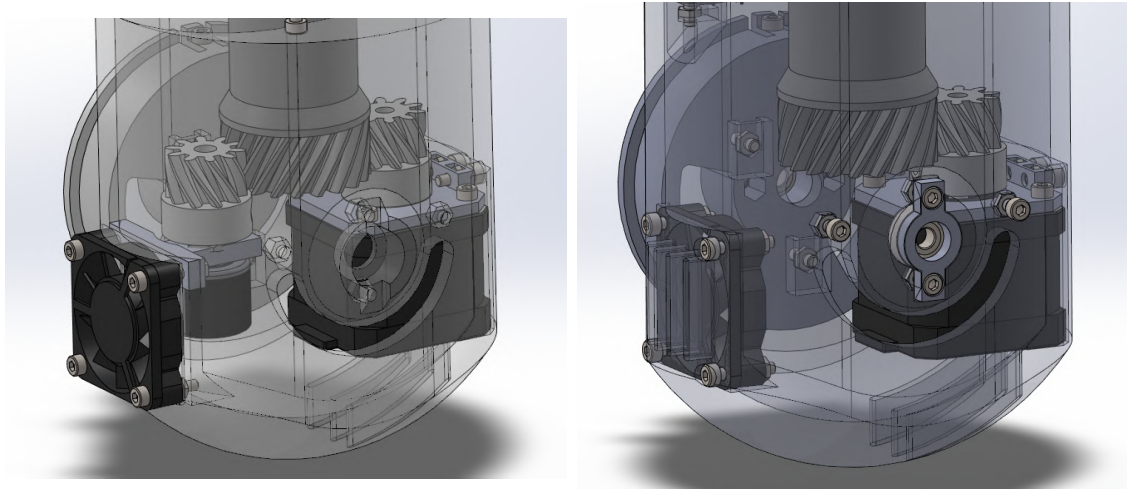


Figura 4.8. Pieza de sujeción del eje. Elaboración propia.

Para la articulación 4, al ser un potenciómetro lo que se acopla, fue necesario crear una pieza que se fijara al cuerpo de articulación 4 y permitiera al potenciómetro acoplarse mecánicamente por medio de la pieza Art4PotGear tal como la hace el motor, solo se debe tener en cuenta que se tiene una relación donde por cada dos vueltas del potenciómetro es una de la articulación. El ventilador fue necesario que este se colocara en el exterior del cuerpo de la articulación 3. Además el sensor óptico cuya funcionalidad era para hacer home en el manipulador se retiró al no necesitarse, ya que el potenciómetro gracias a su valor de resistencia es capaz de mantener la posición aunque no tenga alimentación, caso contrario de los codificadores que se pierde su contador al ser sistema digitales. En la figura 4.9 se muestra la comparación del cambio de la articulación debido al rediseño donde 4.9b muestra el diseño inicial del manipulador y 4.9a muestra el rediseño que permite colocar el potenciómetro.

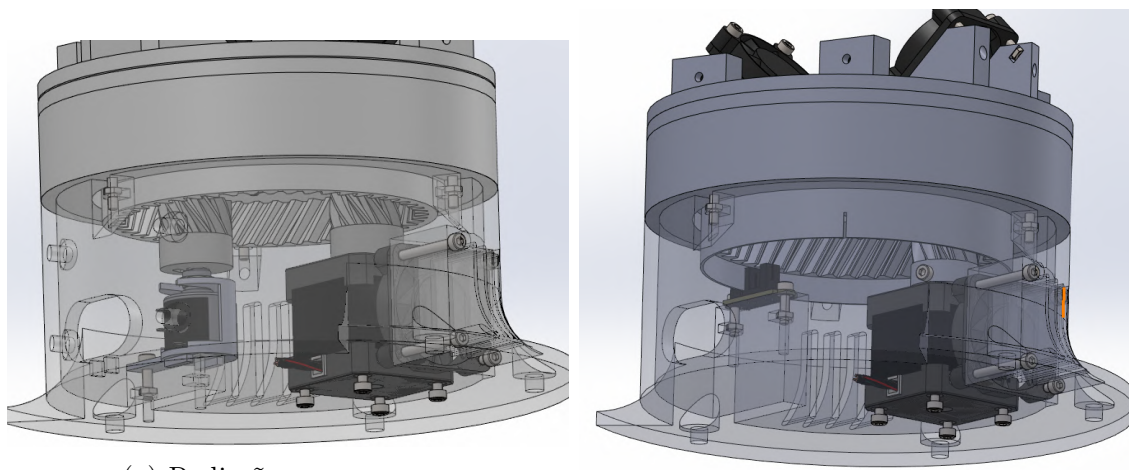


(a) Rediseño con sensores.

(b) Diseño original.

Figura 4.9. Evolución de la articulación 4. Elaboración propia.

Finalmente en la base donde se hace rotar la articulación 1, se modificó la base con el fin de poder agregar el potenciómetro, para esto se utilizó la misma localización donde se encontraba el sensor óptico de home, se retiró al no necesitarse de la misma forma que la articulación 4 al solo necesitar definir su cero una vez, se fabricó la pieza para sujetar al potenciómetro que permitiera acoplarse mecánicamente donde 5 vueltas de este representan una vuelta en el potenciómetro. En la figura 4.10 se muestra la comparación del cambio de la articulación debido al rediseño, donde 4.10b muestra el diseño inicial del manipulador y 4.10a muestra el rediseño que permite colocar el potenciómetro.



(a) Rediseño con sensores.

(b) Diseño original.

Figura 4.10. Evolución de la articulación 1. Elaboración propia.

4.3.2. Selección de material

Para la fabricación de las piezas se tienen las opciones de ABS , Glicol de Polietileno Tereftalato (PETG), PLA y PLA max, solo estas ya que son los materiales que se manejan en el Laboratorio Institucional de Microcomputadores (LAIMI) para el servicio de impresión 3D por FDM. Cada material tiene sus propiedades mecánicas y sus usos para cierto tipo de aplicaciones donde:

ABS

El ABS es uno de los materiales más utilizados en la impresión 3D. Algunas características de este material es su alta resistencia a las temperaturas elevadas, ya que mantiene su integridad estructural hasta los 105 grados centígrados, tiene una resistencia a la tracción de 27 MPa con un módulo de flexión que puede variar entre 2.1 GPa a 7.6 GPa. Las piezas trabajadas en ABS son complicadas de imprimir debido a su coeficiente de expansión térmica que propicia que las piezas al enfriarse se esquebrajen o deformen. El plástico ABS puede ser usado en muchas aplicaciones ya que en la industria es el más utilizado en los moldes de inyección de plástico. [34]

PETG

El PETG es un copolímero formado por el PET y el glicol lo que le permite ser un plástico compatible con los alimentos y resistente a algunos químicos. El PETG mantiene su integridad estructural hasta los 80 grados centígrados, tiene una resistencia a la tracción de 50 MPa y resiste la humedad y los rayos UV. Tiene una adhesión entre capas elevadas lo que permite tener piezas resistentes con buen acabado superficial pero hacerle un post tratamiento suele ser un poco elaborado por otro lado los materiales suelen ser traslucidos. [35]

PLA

El PLA es el plástico más utilizado en la impresión 3D debido a que tiene una alta facilidad de impresión, no presenta vapores tóxicos a la hora de imprimir como el ABS, tiene una gran disposición de colores, pueden mezclarse con otros materiales para mejorar sus características como la madera o metal. El PLA tiene un módulo de flexión que puede variar entre 3.3 GPa a 3.6 GPa con una resistencia a la tracción que varia entre 47 MPa a 70 MPa y mantiene su integridad estructural hasta los 60 grados centígrados. [36] [37]

De los materiales disponibles que se trabajan se escogió el PLA max para la fabricación de las piezas, ya que al ser una versión mejorada del PLA puede soportar más esfuerzos que el ABS y el PETG, además que la aplicación no califica el uso de ABS para altas temperaturas, en la documentación del THOR se recomienda el ABS para los piñones debido al calor generado por los motores y la fricción, pero esto fue para la versión 1 mientras que la versión 3 que se esta implementando (que es la ultima hasta este julio de 2022) que tiene ventiladores por lo que el uso complicado del ABS no refleja ventajas ante el PLA max que puede soportar hasta 60 grados ni se trata con alimentos o químicos para el uso del PETG se factible por lo que el PLA max es la mejor opción. Además para la decisión final se consultaron dos vídeos donde se realiza una comparación de las características mecánicas de los materiales, el primero se encuentra en [38] y compara el PLA, PETG y ABS, mientras que el segundo se encuentra en [39] y compara el PLA, PLA max y PETG.

4.3.3. Verificación de piezas

La verificación se hizo primero para asegurarse que las modificaciones para agregar sensores no afectaran las piezas y segundo porque en la documentación de THOR no se indica si los 750g que puede soportar son por la capacidad de los motores o la constitución de las piezas. Como las piezas fueron redibujadas y rediseñadas en solidworks se va a aprovechar la parte de simulación para realizar un análisis estático del brazo. Este análisis se hizo por partes empezando por el conector del efector final hasta la base del robot.

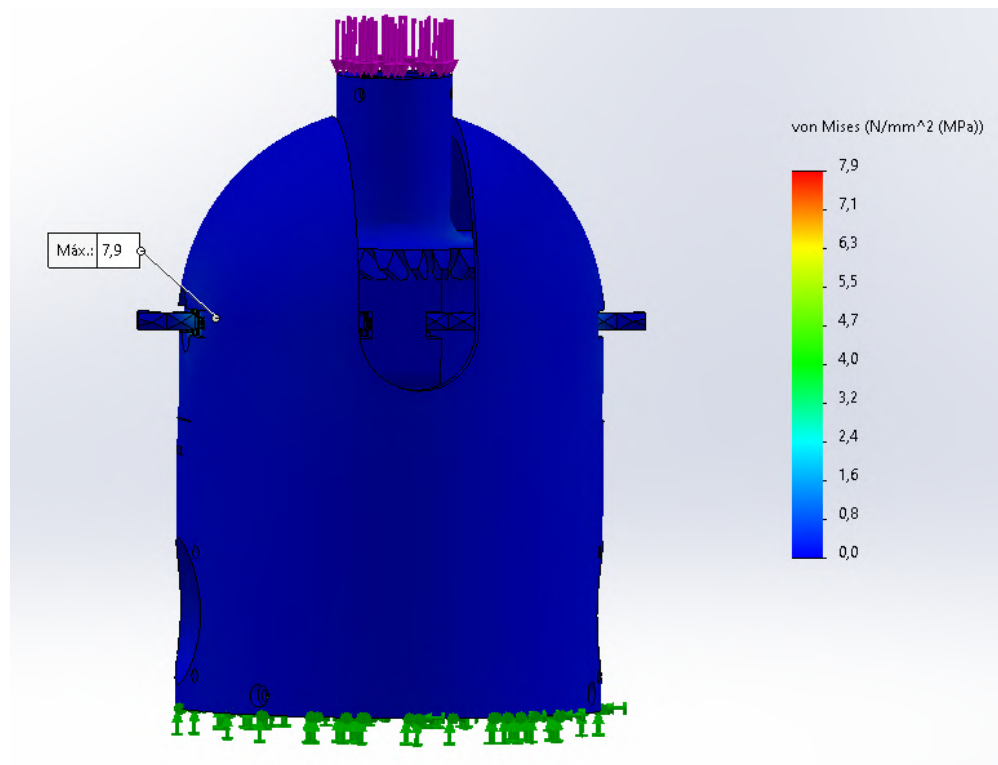
En la figura 4.11a se muestra el análisis de esfuerzos obtenido con las condiciones de que la carga que se coloca en vez de efector es de 2 kg, donde el máximo esfuerzo se encuentra en los agujeros laterales donde se soporta el rodamiento del eje, el esfuerzo de von Mises que se genera es de 7.9 MPa, lo que implica que el factor de seguridad mínimo para esta sección del robot es de 10.80 pero con un 40 % de relleno se obtiene un factor de 4, el cual esta aceptable para el tipo de aplicación a la que se somete el brazo.

En la figura 4.12a se muestra el análisis de esfuerzos por von Mises donde esta vez la carga es de 3 kg ya que incluye la carga del efector final y el peso de las piezas anteriores, se puede ver que el esfuerzo máximo es de 0.51 MPa por lo que el factor de seguridad es de 108.83 pero con un 40 % de relleno se obtiene un factor de 61.92, del cual se determina que el rediseño de la pieza es valido.

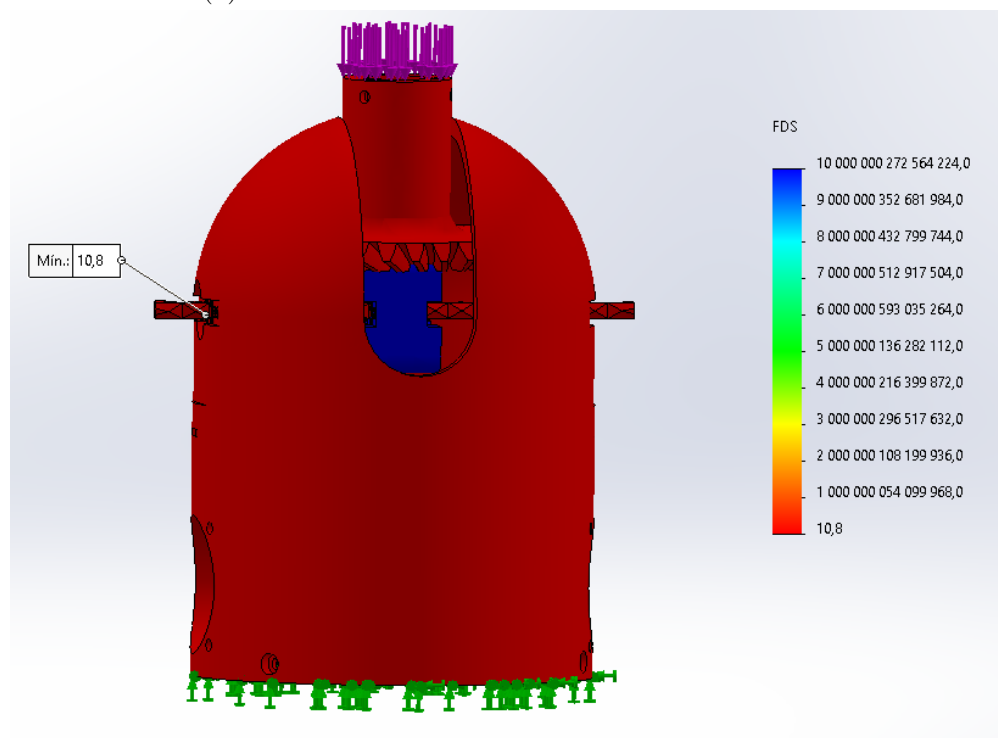
En la figura 4.13a se muestra el análisis de esfuerzos por von Mises para la articulación 2 que tiene una carga de 4 kg como se muestra mediante las flechas de fuerzas, el esfuerzo máximo es 16.09 MPa en una de las 3 soportes que se encarga unir la pieza llamada Art2BodyWindiow y se encarga de soportar toda la sección superior del brazo, el factor de seguridad obtenido es de 3.42 mientras que si se toma un relleno del 40 % el factor de seguridad baja a 1.96.

En la figura 4.14a se muestra el análisis de esfuerzos por von Mises para la articulación 1 a la que se le considera que la carga a soportar es de 5 kg donde el esfuerzo máximo obtenido es de 2.08 MPa para obtener un factor de seguridad de 26.39, mientras que si se toma como un 40 % de relleno entonces el factor de seguridad que se obtiene seria de 15.18.

Finalmente en la figura 4.15a se muestra el análisis de esfuerzos por von Mises para la base, este estudio se contó con una carga de 6 kg, lo que genera un esfuerzo máximo de 0.15MPa en los soportes que forman la base. Como factores de seguridad se tiene 362.73 mientras que si se contempla el 40 % de relleno usado entonces el factor de seguridad se reduciría a 210.53 el cual es valor suficiente para determinar que no afecta.

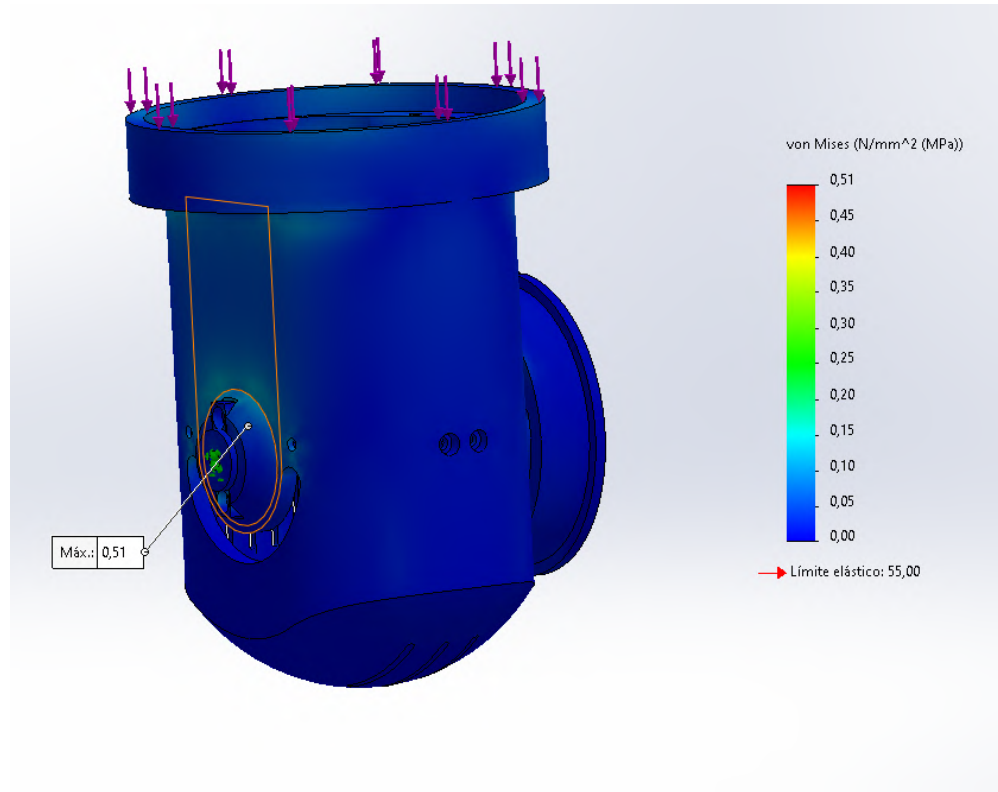


(a) Análisis estático de esfuerzos articulación 56.

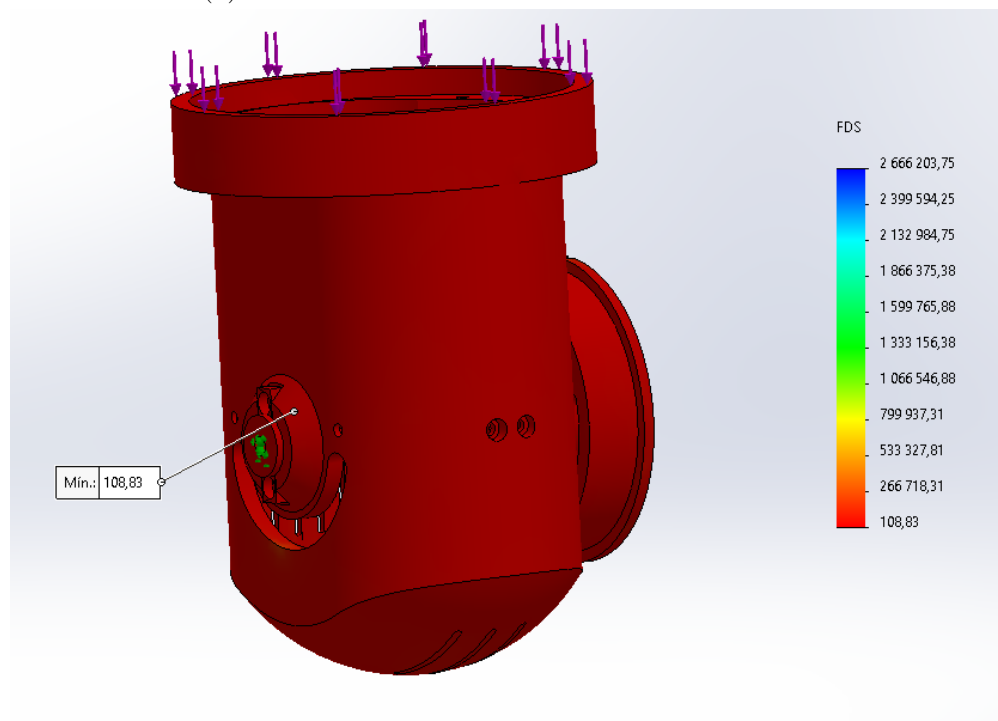


(b) Análisis estático de factor de seguridad articulación 56.

Figura 4.11. Análisis estático de articulación 56.

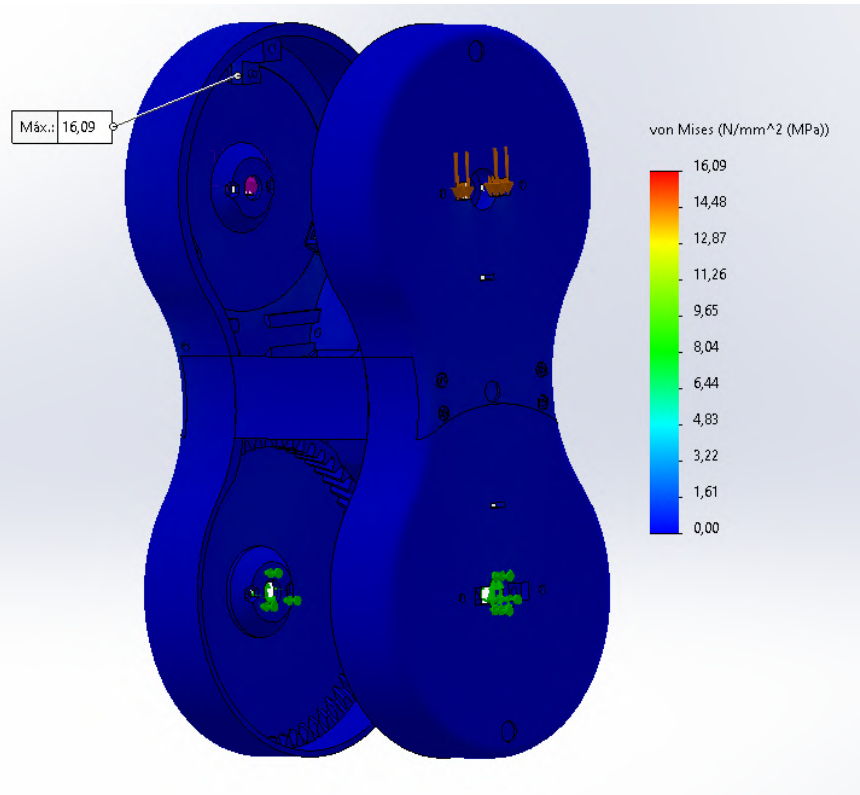


(a) Análisis estático de esfuerzos articulación 34.

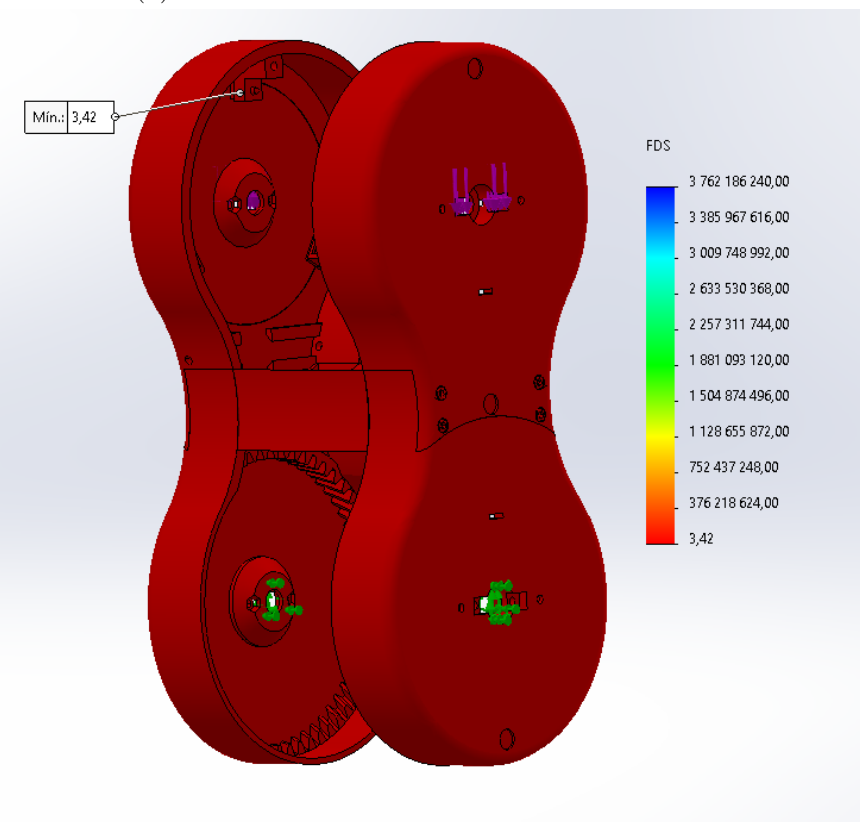


(b) Análisis estático de factor de seguridad articulación 34.

Figura 4.12. Análisis estático de articulación 34.

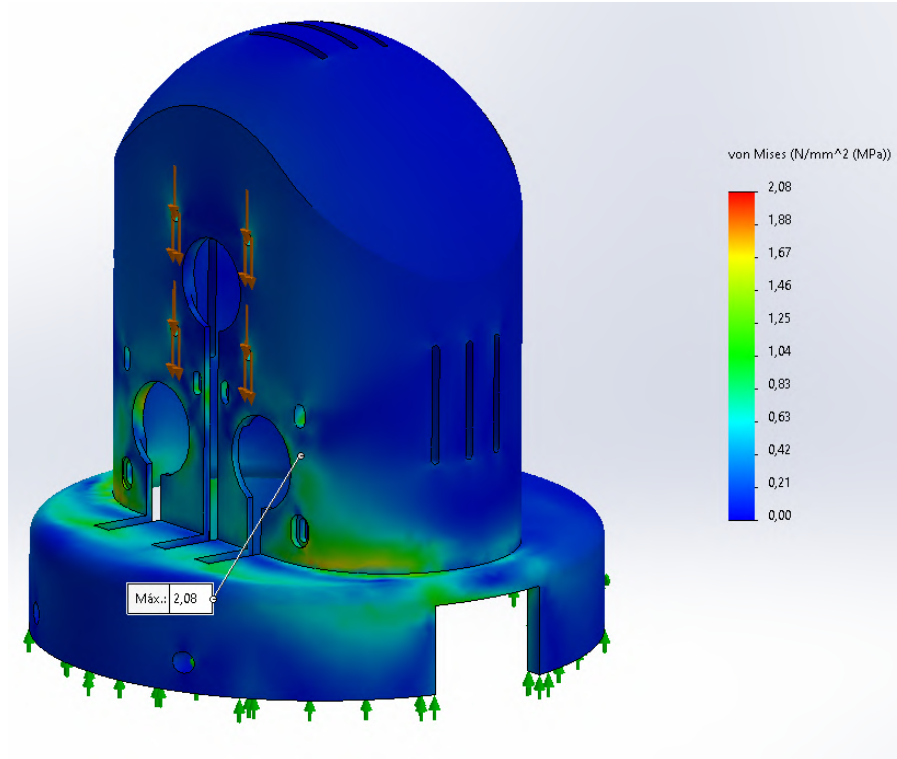


(a) Análisis estático de esfuerzos articulación 2.

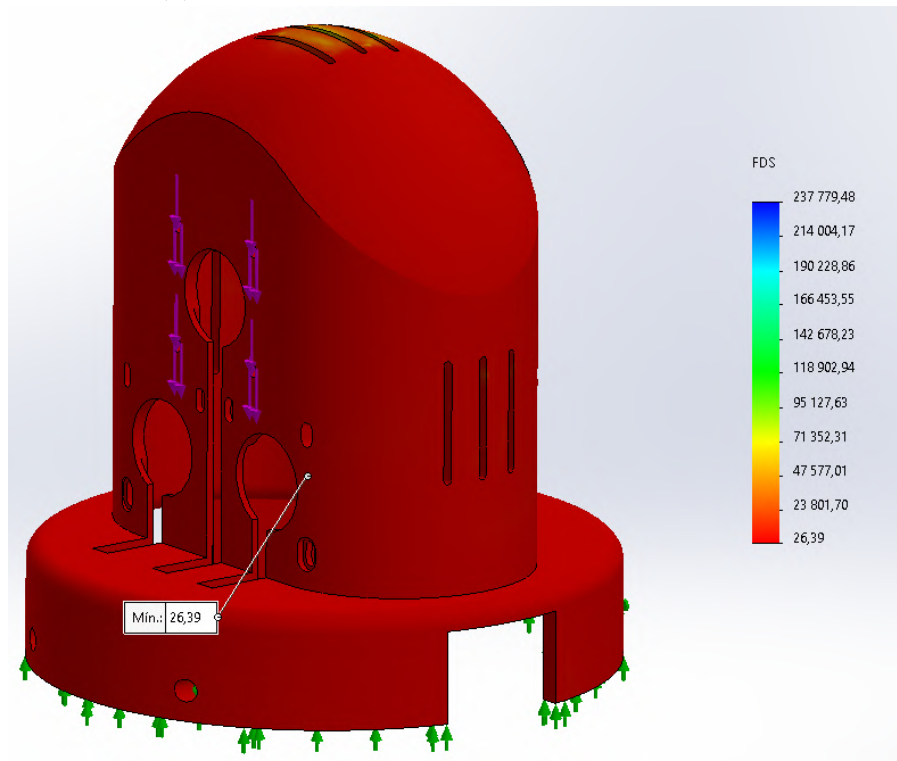


(b) Análisis estático de factor de seguridad articulación 2.

Figura 4.13. Análisis estático de articulación 2.

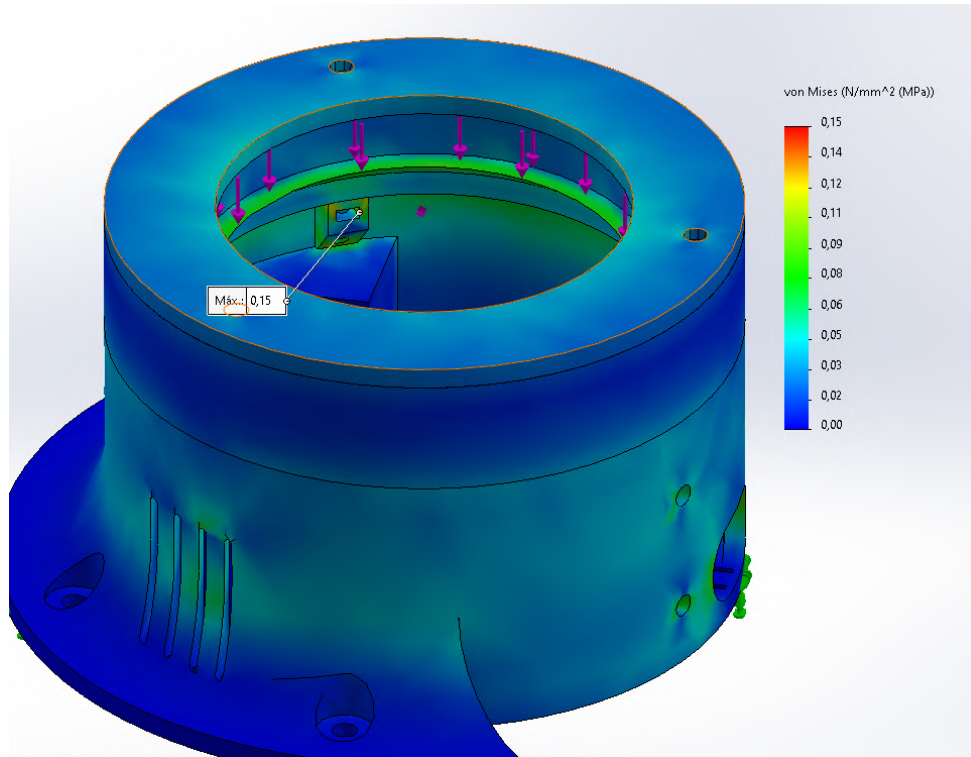


(a) Análisis estático de esfuerzos articulación 1.

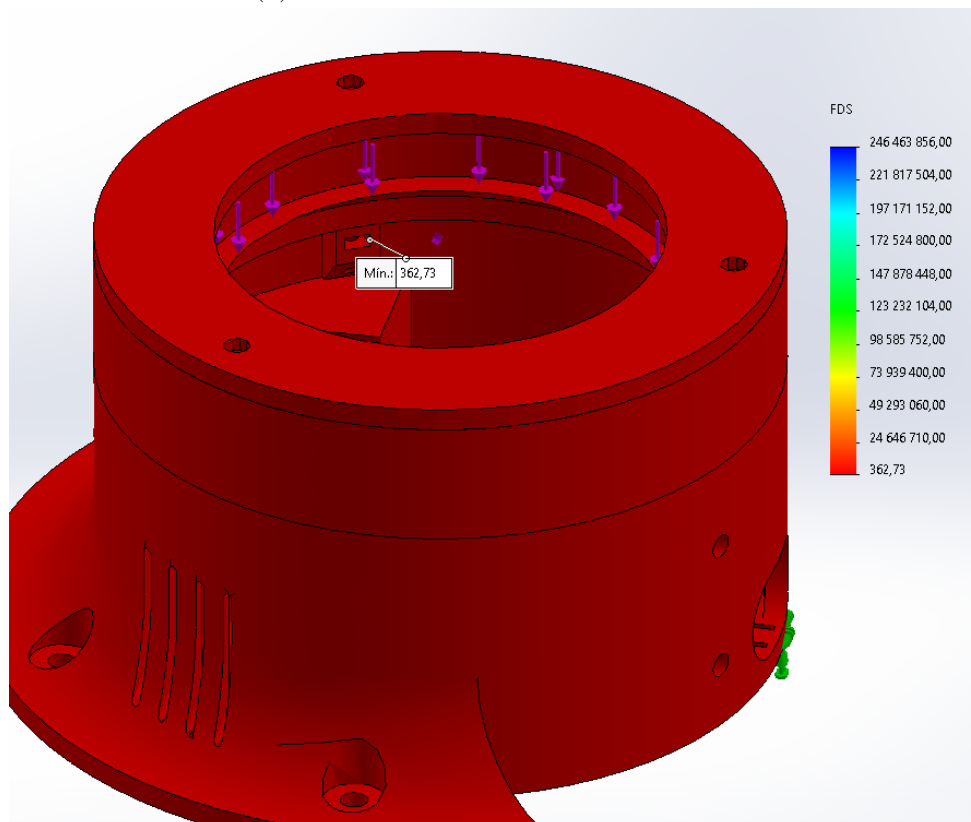


(b) Análisis estático de factor de seguridad articulación 1.

Figura 4.14. Análisis estático de la articulación 1.



(a) Análisis estático de esfuerzos base.



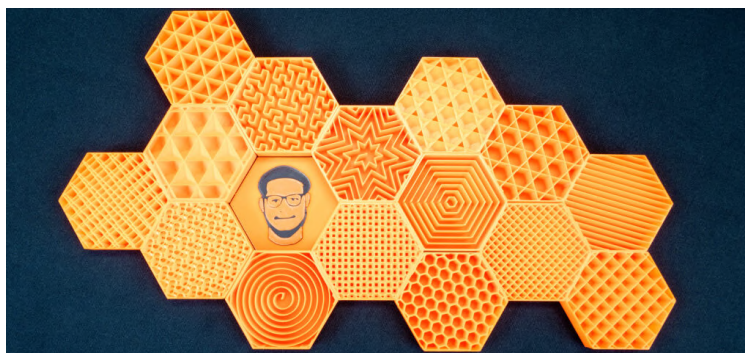
(b) Análisis estático de factor de seguridad base.

Figura 4.15. Análisis estático de la base.

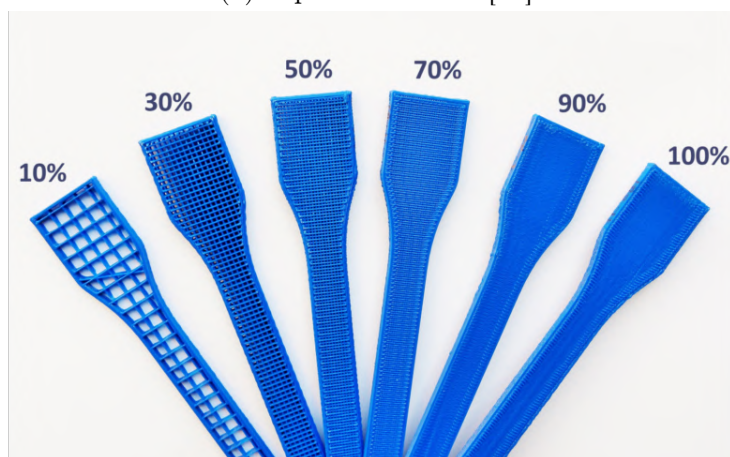
Para todas las piezas el factor de seguridad del relleno a 40 % se consideró debido a que cuando una pieza se imprime esta por lo general no se hace al 100 % ya que se gasta mucho material, en la siguiente sección se van a indicar cuales fueron las consideraciones a la hora de imprimir y se explica con más detalle como se llegó al 40 % de relleno. Además las fuerzas aplicas se sobredimensionaron para tener resultados más conservadores. A la hora de manufacturar el brazo se sabe que la carga mencionada por el diseñador de THOR se debe a la capacidad de torque de los motores y no del material de alguna pieza.

4.3.4. Consideraciones de impresión

Una pieza impresa no es uniforme y una simulación puede diferir bastante, incluso entre piezas fabricadas en la misma impresora. Por lo que se deben tener tres consideraciones importantes a la hora de imprimir una pieza y son el porcentaje de material de relleno, el tipo de relleno y la orientación de la pieza. Las primera consideraciones a la hora de imprimir las piezas es el porcentaje de relleno de material y el patrón de relleno, esta condición afecta directamente las capacidades mecánicas que van a tener las piezas. En la figura 4.16a se muestran los tipos de rellenos que el software de impresión PrusaSlicer posee para imprimir en el LAIMI, de estos se escogió el relleno Giroide ya que proporciona apoyo en todas las direcciones, este se muestra en la figura 4.17 donde la mitad de la imagen es como se ve en el software y la otra mitad como se ve impresa. Una descripción más a detalle de los otros rellenos e imágenes demostrativas se pueden consultar en [40].



(a) Tipos de rellenos.[40]



(b) Porcentajes de relleno. [41]

Figura 4.16. Primera consideración para la impresión.

Para el caso del porcentaje de relleno se han realizado varias pruebas en unas probetas con diferentes porcentajes de rellenos por parte del Grupo de Investigación Ciencia e Ingeniería de Materiales de la Universidad Politécnica del Valle de México. Primero la de 40 % obtuvo un esfuerzo de fluencia de 31,58 MPa, con esfuerzo máximo de 36,51 MPa y esfuerzo de fractura de 26,11 MPa. El segundo caso la probeta de 80 % tuvo un esfuerzo de fluencia de 39,53 MPa, con esfuerzo máximo de 39,57 MPa y esfuerzo de fractura de 37,69 MPa. Y la ultima probeta con un 100 % tiene un un esfuerzo de fluencia de 35,70 MPa, con esfuerzo máximo de 36,51 MPa y esfuerzo de fractura de 33,75 MPa [42]. En el estudio se puede observar que entre una pieza con relleno de 40 % y una con relleno de 100 % no hay mucha diferencia debido que al tener una pieza completamente solida se pierde el efecto que brinda la forma de relleno, además de que una pieza solida eleva los costos del material, el peso y no ofrece una diferencia significativa en sus características mecánicas para la aplicación que se busca.

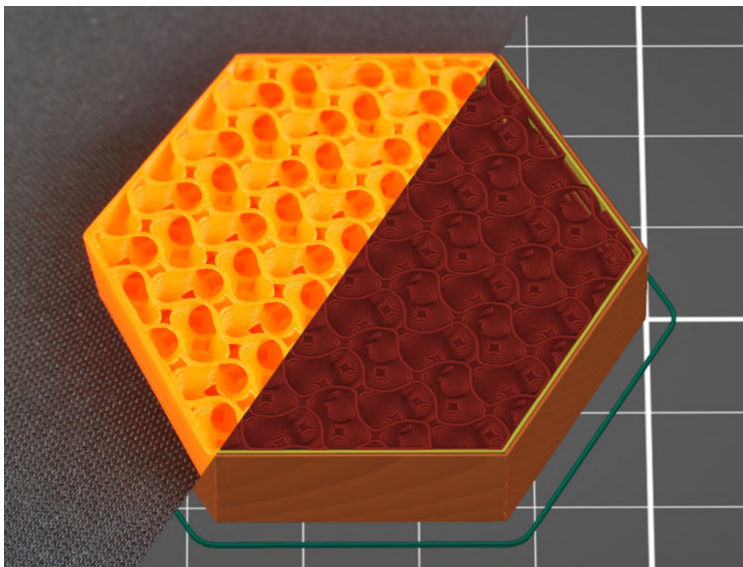


Figura 4.17. Relleno de tipo giroide. [40]

La segunda consideración importante es la dirección en la que se van a aplicar las fuerzas. En la impresión 3D por FDM como tiene la característica que imprime por capas, donde la unión entre estas capas no es perfecta. Debido a esto la orientación en la cual una pieza es impresa tiene un gran impacto en cuanto esfuerzo aguantará la pieza. En la figura 4.18 se muestra un ejemplo de una pieza donde en el primer caso la pieza tiene la unión entre capas perpendicular a la fuerza lo que resulta en que estas capas se puedan desgarrar, mientras que en segundo caso la fuerza va en la dirección de las fibras de capas la cuales pueden soportar una fuerza mayor debido a que las capas en esa dirección se entretejen o funden de forma pareja y estable cosa que el primer caso solo se coloca una capa sobre la otra capa, la primera se encuentra a menor temperatura haciendo que esta unión no sea perfecta, se debe destacar que no quiere decir que la pieza sea débil solo que soporta menos fuerza en esta dirección. Debido a lo anterior se concluye que las piezas se tienen que orientar de tal forma que las capas vayan en dirección donde van a tener la mayor fuerza. Se puede observar un vídeo donde realizan pruebas con tornillos impresos en diferentes posiciones con el fin de determinar cual soporta más carga, este vídeo se puede encontrar en [43].

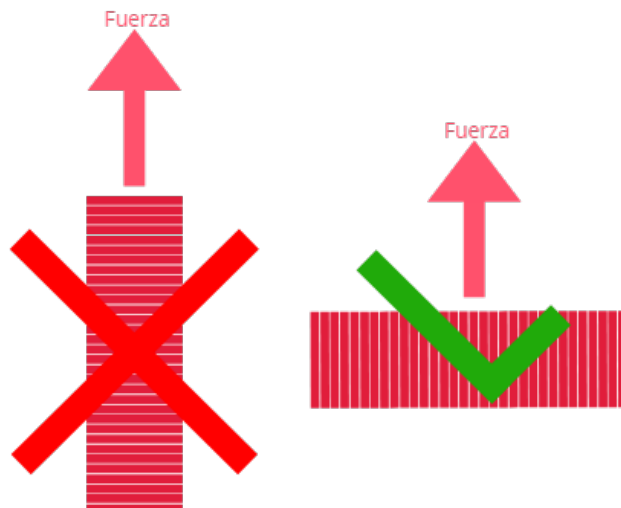


Figura 4.18. Dirección de la fuerza en una pieza. [44]

Según de la información reunida las piezas del manipulador se van a imprimir con un 40 % de relleno donde el fabricante en la documentación indica que un 20 % es suficiente pero no se brinda más información al respecto, además se quiere dejar una herramienta que sea resistente y confiable, por otro lado el pasar un porcentaje mayor implica más peso y es menor la carga que puede manipular el robot, el cual no afecta el propósito de realizar experimentos típicos de robótica cognitiva y se esta ganando más seguridad en las piezas.

El patrón de relleno seleccionado es el giroide ya que internamente en la pieza brinda un soporte en todas las direcciones lo que permite bajar las concentraciones de esfuerzos. Finalmente respecto a la orientación de las piezas, todas se van a orientar siempre que se pueda a la dirección de mayor fuerza y es que no todas se pueden hacer de esta manera debido a la complejidad de su forma, lo que implicaría en un aumento del material para algunas piezas pues puede requerir mucho material de soporte y más tiempo de impresión, que implica que al pasar más tiempo imprimiendo las piezas puedan fallar y se deba comenzar de 0 la impresión desperdiciando el material previo y generando desechos.

El proceso de impresión se llevo a cabo en el lapso de 7 semanas en LAIMI donde constantemente se debía vigilar el proceso para evitar errores y problemas. El coordinador Bryan Aguirre dio la opción de que el LIANA llevara el material de impresión y ellos prestaban una impresora para el uso del proyecto donde se debía respetar la fila de otros estudiantes que requirieran el servicio de impresión. Por eso se debía vigilar el consumo de plástico PLA y el retiro de piezas para evitar atrasos o perdidas, algunos problemas que se tuvieron fue el mantenimiento de impresoras y la impresión tardía por parte de los operadores, retrasando

el proceso y se debe tomar en cuenta que por cada brazo son aproximadamente 60 piezas. En la figura 4.19 se muestran algunas piezas durante el proceso de impresión. Para el caso de algunas piezas se tuvieron que limpiar de forma rigurosa el material de soporte para que afectara el movimiento del brazo.

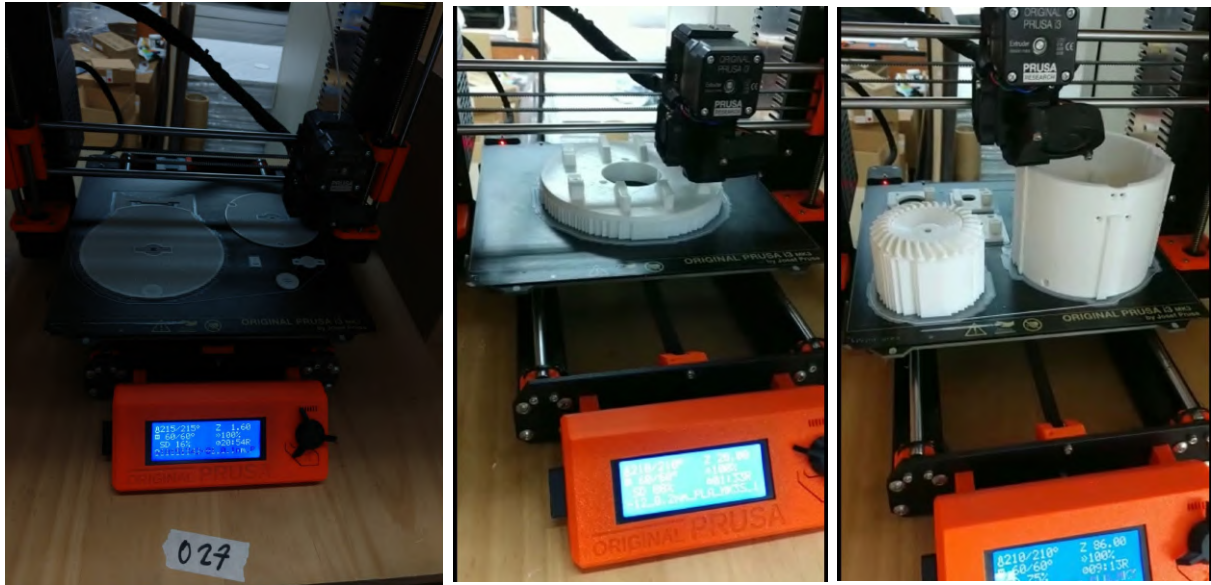


Figura 4.19. Proceso de impresión.

En la figura 4.20 se muestra el proceso de limpieza de algunas piezas, se debía retirar todo el material de soporte e imperfecciones como lo son la generación de hilos o pelos y algunas pelotas de material generadas por el extrusor.



Figura 4.20. Limpieza de algunas piezas.

4.4. Proceso de ensamblado del Thor

El proceso de ensamblado se realizó siguiendo el manual de instrucciones generado que se incluye al final del documento junto con el documento de las especificaciones de manufactura (impresión 3D). Durante este proceso se tuvieron una serie de complicaciones respecto al brazo THOR las cuales solo surgieron durante la etapa de validación, posterior a estos problemas se investigó para llegar a las posibles causas del problema, que se detallan a continuación:

4.4.1. Correa de la articulación 3

La correa se debe de recortar a una distancia que no se indica en la documentación, lo que hace difícil su ajuste, ya que si queda muy corta las piezas hacen presión entre ellas lo que impide el movimiento y si la correa queda un poco floja lo que pasa es que patina en la polea, las tensoras de la faja es poco lo que tensan si el largo no es el adecuado y se llegan a desacomodar con facilidad. Una vez que se encontró el largo adecuado la articulación ya no tuvo más complicaciones respecto a la correa. En la figura 4.21 se muestra como queda el largo de la correa, es necesario colocar la tapa lateral y luego ajustar las tensoras para que

esta no patine en la polea.



Figura 4.21. Correa de la articulación 3.

La polea es otra parte que presenta complicaciones y es que los motores de esta pieza tienen un eje de diámetro 6mm, en esta misma polea también se ingresa el eje de 14.5mm de diámetro 5mm, la polea utilizada es de diámetro 5mm. Es necesario hacer el agujero en la parte del prisionero de la polea a 6mm para que se pueda colocar el eje del motor y a su vez el agujero no puede ser pasante para que se pueda soportar el eje de 5mm, que soporta la parte superior del brazo. Para eso se acudió a un taller de mecánica de precisión donde el técnico realizó el agujero de 6mm con una profundidad de 8mm de forma que este quedará centrado, que los agujeros estén concéntricos es crítico (esto no se menciona en ningún lado de la documentación THOR). En la figura 4.22 se muestra el proceso de fresado por parte del técnico del taller de mecánica de precisión para adaptar la polea según el funcionamiento de THOR, a pesar de que se hizo de esta forma, existe un desplazamiento cuando el motor rota. Este desplazamiento puede deberse al juego entre la pieza plástica y el rodamiento, el rodamiento y el eje de 14.5mm, el eje de 14.5mm con la polea y finalmente como la polea esta unida al eje del motor por dos prisioneros comparten el mismo movimiento, donde la

combinación de estos movimientos aportan a este problema.

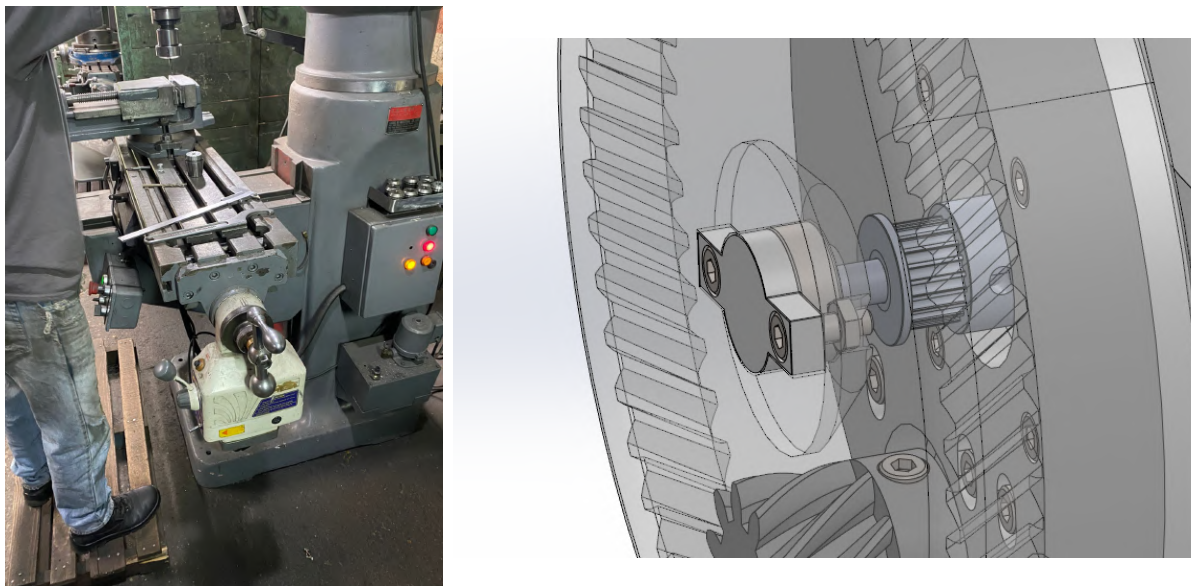


Figura 4.22. Proceso de fresado por el técnico para la polea.

4.4.2. Articulación 2

La articulación 2 presenta más complicaciones inherentes al diseño original del brazo. La primera complicación se tiene en la posición de los dos engranes del motor a pasos, los cuales conectan con la pieza dentada lateral y se pueden observar en la figura 4.21. Estos se deben de colocar de manera que estén lo suficientemente abajo y que ambos estén paralelos para transmitir el torque máximo, el ajuste de los motores se da mediante unas ranuras en la pieza Art1Body, en caso de que los engranes no estén acomodados la articulación pierde la fuerza y engrane simplemente se brinca el diente impidiendo que el brazo aguante su propio peso. Aunque el sistema de engranes se ajuste correctamente las vibraciones del uso constante del brazo aflojan los tornillos y hace que se desacomoden manteniendo este problema de forma recurrente con el uso, además implica tener que desamar esa pieza lateral cada vez que ocurra y perder la tensión de la articulación 3 como se muestra en la figura 4.23, este proceso requiere mucho tiempo pues se debe desconectar el PCB, para que se liberen los cables y luego jalar estos para liberar la pieza, dando como resultado que el uso del brazo no se pueda realizar de forma continua y tome mucho tiempo ponerlo a trabajar e incluso con la posibilidad de que si no se hace el procedimiento algún cable se dañe y la reparación tome más tiempo.



Figura 4.23. Desarmado para ajustar motores articulación 2.

La segunda complicación inherente a THOR se debe a la forma de la pieza lateral, ya que esta primero se hizo como una sola completa por lo que se debe imprimir con una impresora de 300x300mm, por lo que el fabricante de THOR brinda una segunda opción que es la pieza segmentada en dos para que esta pueda ser impresa en impresoras de 200x200mm como la que se tenía a disposición para realizar la manufactura, el problema es que al estar separada se vuelve flexible y con el movimiento la pieza tiende a desplazarse hacia afuera lo que hace que el contacto con los dientes se vea reducido o impedido, esto de igual forma sucede si la pieza se imprime como una sola pero se magnifica en dos separadas, en la figura 4.24 se muestra ambas piezas del lateral. Por esta situación se debe vigilar la operación del brazo, en caso de que la pieza se brinque los engranes, el golpe puede dañar alguna parte del brazo.



Figura 4.24. Lateral de articulación 2.

Además en el foro del THOR se encontró una discusión del 8 de agosto de 2022 sobre este mismo problema, lo que indica que este problema es del diseño original del brazo, la discusión se puede encontrar en [45] donde los vídeos mostrados por sebashare es lo que sucede si se deja mal la correa de la articulación 3 y además también menciona el problema que tiene la articulación 2 de como sus engranes no trabajan adecuadamente y la tapa lateral se abre.

4.4.3. Articulación 4

Otra complicación de diseño del THOR es en la articulación 4, en ocasiones la articulación se traba y el motor se salta pasos, antes de iniciar con la implementación se estudió el manipulador con la información disponible, en la pagina del brazo se ofrecen una serie de vídeos en youtube por el señor Ferrete, quien armo un manipulador THOR. Referente a la articulación 4 para el rodamiento fabricado específicamente, mencionó que él usó bolas de airsoft y que piensa que el problema de que se trabe o que el engrane se salte dientes es por la holgura que se presenta ya que estas son un poco más pequeñas que las requeridas de 6mm, el vídeo donde menciona esto se puede encontrar en [46] a partir del minuto 12:08. Por lo que se decidió usar bolas de metal de 6mm y no de plástico para evitar su situación, además así se indica en la documentación, de esta forma se evitaría el problema mencionado pero este aun se mantiene y ocurre aleatoriamente en el movimiento.

Además se encontró en el foro de la pagina del THOR, una pregunta que un usuario le hizo al diseñador acerca del diseño de esta parte y es que todo el peso superior del brazo, la pieza Art4Body con todos los componentes incluyendo la garra se sostiene mediante el rodamiento fabricado de dos piezas y las bolas metálicas de 6mm, es decir que esta relación es la que soporta todo el peso y el movimiento. El comentario de Matthieu Horaru un estudiante de ingeniería mecánica fue acerca de que si esta unión no representaba ninguna preocupación, a lo que el diseñador del THOR le respondió que si estaba un poco preocupado pero que lo hizo de esa forma y le sirvió, pero que para ser honesto nunca hizo un estudio apropiado de fuerzas que actúan en el rodamiento o una simulación para determinar los limites de esa configuración. La conversación se puede encontrar en [47]. Donde por el comentario anterior se entiende que es la razón por la que esta articulación no funciona bien siendo un error del diseño original, lo que también implica que las otras complicaciones sean debido a la falta de verificación mediante cálculos o simulación, ya que en la documentación del THOR no se incluye en ninguna sección.

Por lo que es necesario una revisión completa del brazo para determinar otras posibles complicaciones latentes que en un futuro lleguen a complicar los experimentos.

4.5. Conexión de sensores y actuadores del Thor

Los sensores y los actuadores se conectan a un microcontrolador, el que se emplea en el desarrollo del proyecto es un Arduino Mega el cual ya se tenía en el laboratorio, este se va encargar de leer la información de los sensores y la envía a un computador externo y también recibe información del computador externo con indicaciones para los actuadores. Los únicos componentes que se seleccionaron fueron los sensores, los actuadores son parte del diseño del THOR. La conexión se va a realizar mediante un circuito impreso o PCB donde se toman en cuenta los pines de cada componente como se explica a continuación.

4.5.1. Actuadores

Para el caso de los actuadores del brazo se tienen 7 motores a pasos distribuidos y asignados a cada articulación del brazo y el servomotor del efector final. El servomotor se puede conectar directamente al microcontrolador sin ningún problema porque opera con la tensión adecuada para el microcontrolador y además necesita una señal PWM. Para el caso de los motores a pasos estos no se pueden conectar directamente ya que el microcontrolador

no puede ofrecer ni la tensión ni la corriente para su operación por lo que es necesario utilizar un driver. A continuación se explicarán con más detalle los componentes.

Driver A4988

Este driver esta diseñado por Allegro para manipular motores a pasos de dos fases con 5 modos para realizar los pasos, puede alcanzar una alta precisión de movimiento con el modo de pasos más pequeño pero se recomienda usar los pasos completos, ya que los otros modos sacrifican torque del motor en sus movimientos. Puede suministrar hasta 2A por fase pero es necesario de colocar un disipador sobre el chip porque se calienta con facilidad, además cuenta con protecciones contra cortos o térmicos [48]. Como se muestra en la figura 4.25 es la conexión típica del driver, entre los pines de conexión se destaca que tiene 4 para conectar el motor, la alimentación de la parte de potencia (la cual requiere de un capacitor en paralelo), la alimentación del chip y los pines de control del microcontrolador. Estos drivers ya se tenían en el laboratorio.

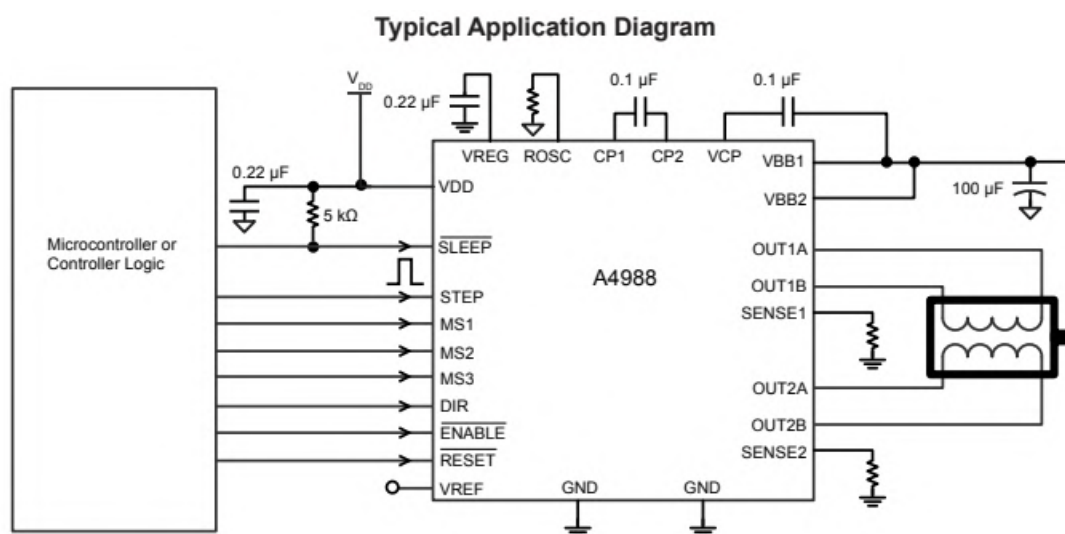


Figura 4.25. Diagrama de conexión típico del A4988. [48]

Se debe destacar que estos drivers poseen un potenciómetro para ajustar la corriente máxima que pueden entregar, esta corriente se debe limitar a cada motor ya que de lo contrario el motor se puede quemar al tener mucha corriente o saltarse pasos al tener muy poca. En la siguiente ecuación se muestra la formula para calibrarlos para el caso de los drivers del fabricante polulo. Donde para este caso el valor de R_s o resistencias de sentido es un R100 del tipo montaje superficial lo que indica que tienen un valor de 0.1Ω y el valor

I_{max} se obtiene del motor a pasos que se desea controlar. El proceso de calibración se puede ver con más detalle en [49].

$$V_{ref} = I_{max} \cdot 8R_s \quad (4.1)$$

Motor a pasos Nema17 42-40

Los motores Nema 17 con altura de 40mm se utilizan en la articulación 1 del Thor, los motores que se adquirieron de [50] tienen una corriente máxima por fase de 1.3A, esta es la corriente que se debe ajustar en sus respectivos drivers a $V_{ref} = 1,04V$.

Motor a pasos Nema17 42-34

Los motores Nema 17 con altura de 34mm se utilizan en las articulaciones 4, 5 y 6 del Thor, estos se adquirieron de [51] y cuentan con una corriente máxima por fase de 0.35A, por lo que se debe ajustar sus drivers respectivos a $V_{ref} = 0,28V$.

Motor a pasos Nema17 42-34 con reductor 5:1

Los motores Nema 17 de altura 34mm con un reductor mecánico de 5:1 se utilizan en las articulaciones 2 y 3 del Thor, se debe destacar que la articulación 2 emplea 2 motores por lo que se debe tener el cuidado de conectarlos igual. Los motores se adquirieron de la tienda StepperOnline y su respectiva hoja de datos [52] indica que la corriente máxima por fase es de 0.4A por lo que sus respectivos drivers se deben ajustar a $V_{ref} = 0,32V$.

Servomotor MG996

Este motor se encarga de accionar el gripper, tiene un voltaje de operación de 4.8V - 7.2V, su rango de movimiento es de 180 grados y cuenta con engranes de metal. Cuenta con un cable de alimentación, uno de tierra y otro para la señal PWM [53].

4.5.2. Sensores

Los sensores del Thor se dividen en los de posición que se componen por 4 codificadores y 2 potenciómetros y los de home o inicio que le indica a los codificadores cual es la posición 0. Para el caso de los codificadores la conexión al microcontrolador es mediante los pines de interrupción, los potenciómetros a los pines analógicos y los finales de carrera a pines

digitales. Se debe destacar que para el efector final se dejó un pin para una posible lectura de una señal analógica como un sensor de fuerza o uno de presencia ausencia para detectar el agarre de objetos. A continuación se explicaran con más detalle los componentes.

Codificadores

El codificador AMT10E es de cuadratura lo que permite que este pueda detectar hacia que lado rota el eje. Esto es gracias a que tiene dos señales normalmente llamadas A y B, estas se muestran en la figura 4.26 para el caso en que la rotación se haga contra las manecillas del reloj la señal A esta delante de la B un tiempo s llamado estado y es un cuarto del periodo de la señal. En caso de que la rotación se haga a favor de las manecillas del reloj la señal B va esta delante de A [32]. La conexión de los codificadores del sistema diferencial se hará a 4 pines con la capacidad de interrupción pues se necesita las lecturas se hagan precisas mientras que para las articulaciones 3 y 2 se hará a 2 pines digitales y 2 pines con capacidad de interrupciones.

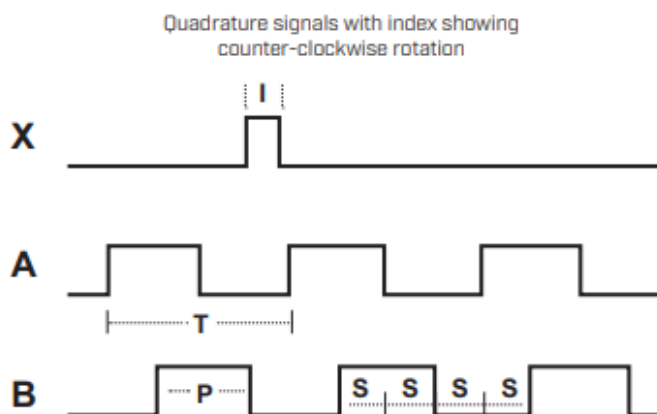


Figura 4.26. Diagrama de señales A y B del codificador. [32]

Además los codificadores tienen varios interruptores para ajustar la resolución, el interruptor 1 y 3 están off mientras que los interruptores 2 y 4 están on por lo que se obtiene una resolución de 500 pulsos por revolución, donde en cuadratura se obtiene como 4 veces la resolución lo que implica que serian 2000, cada pulso detectado por el codificador corresponde a 0.18 grados [32].

Potenciómetros

Los potenciómetros se encuentran en la articulación 4 y 1, estos se conectan mediante un piñón al engrane para detectar su rotación. Solo cuenta con 3 pines de conexiones donde uno es la alimentación, el otro el tierra y el ultimo es la señal que va a un pin analógico del microcontrolador.

Finales de carrera

En el Thor se tienen 3 finales de carrera, 2 son del tipo óptico y se encuentran en las articulaciones 2 y 3 para asignarle el valor de 0 al contador de los codificadores respectivos, mientras el otro final de carrera es de tipo mecánico y se encuentra en la pieza Art4Body, este asigna el valor de -90 grados a los codificadores del sistema diferencial. Los finales de carrera solo se utilizan en la función de home del brazo. Para el caso del final de carrera solo tiene dos pines de conexión mientras que los finales de carrera ópticos tienen 3 cables de conexión: alimentación, tierra y la señal

4.5.3. Alimentación del sistema

Los actuadores como se mencionó usan una alimentación de 12V, mientras que los drivers y sensores utilizan una alimentación de 5V, por lo que es necesario de implementar un regulador de tensión mediante el componente LM7805 el cual tiene entrada máxima de 25V y un salida de 5V, además la corriente máxima que puede suministrar es de 1.5A, en la figura 4.27 se muestra el diagrama de conexión del regulador para una salida fija de 5V. En la tabla 4.6 se muestra el consumo de corriente de los componentes a 5V estos valores se obtuvieron de sus respectivas hojas de datos y se tomaron como el peor de los casos su operación, se observa que la capacidad del regulador de entregar 1500mA es suficiente.

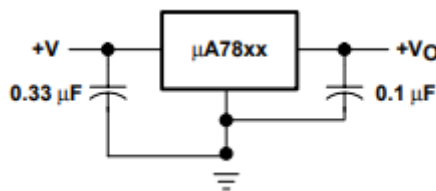


Figura 4.27. Diagrama de conexión típico del A4988. [54]

Tabla 4.6. Consumo de corriente de los componentes a 5V.

Componente	Cantidad	Consumo/unit (mA)	Consumo subtotal (mA)
Drivers	7	8	56
Codificadores	4	10	40
Potenciómetros	2	5	10
Final de óptico 4	2	1	4
Final de carrera	1	0.5	0.5
Servomotor	1	500-900	1000
Total			1110.5

4.5.4. Conexión de pines y circuito impreso

A continuación se muestran las tablas de asignación de pines de los sensores y actuadores para ser conectados al microcontrolador. La asignación de los pines es imprescindible para el desarrollo del circuito impreso. La tabla 4.7 muestra los pines control del driver A4988, donde el caso del motor 2 es doble eso quiere decir que ambos drivers se conectan a los mismos pines de control. Por otro lado la tabla 4.8 muestra los 4 codificadores con sus respectivos pines de señal, como el arduino cuenta con 6 pines con capacidad de interrupción(2, 3, 18, 19, 20 y 21) se asigno los pines digitales 23 y 25. Finalmente la tabla 4.9 indican la conexión de los finales de carrera, los potenciómetros y el efector final.

Tabla 4.7. Asignación de los pines de los drivers A4988 al microcontrolador.

Componente	Nombre de señal	Pin de conexión
Motor 6	Step	27
	Dir	29
Motor 5	Step	31
	Dir	33
Motor 4	Step	35
	Dir	37
Motor 3	Step	39
	Dir	41
Motor 2	Step	43
	Dir	45
Motor 1	Step	47
	Dir	49

Tabla 4.8. Asignación de los pines de los codificadores al microcontrolador.

Componente	Nombre de señal	Pin de conexión
Codificador 6	Señal A	3
	Señal B	2
Codificador 5	Señal A	18
	Señal B	19
Codificador 3	Señal A	20
	Señal B	23
Codificador 2	Señal A	21
	Señal B	25

Tabla 4.9. Asignación de los pines del efector y finales de carrera al microcontrolador.

Componente	Nombre de señal	Pin de conexión
Efector	PWM	8
Efector	Entrada Analógica	A0
Potenciómetro 4	Señal analógica	A2
Potenciómetro 1	Señal analógica	A4
Final de carrera 56	Señal digital	6
Final de carrera 2	Señal digital	14
Final de carrera 3	Señal digital	15

Mediante las tablas 4.7, 4.8 y 4.9 se puede generar el circuito impreso que facilite la conexión y desconexión de cables mediante el uso de conectores, también el remplazo fácil y rápido de los drivers y el microcontrolador en caso de que se dañen o discontinúen. En la figura 4.28 se muestra el acabado final del PCB donde todos los drivers y ventiladores se colocaron en un lado y los componentes que pueden sufrir interferencia o sufrir por el calor que generan los drivers se colocaron en el lado opuesto. Por otro lado la figura 4.29 muestra la parte baja del PCB, ya que ese fue fabricado de dos capas para que permitirá un diseño fácil y que su tamaño se reducido.

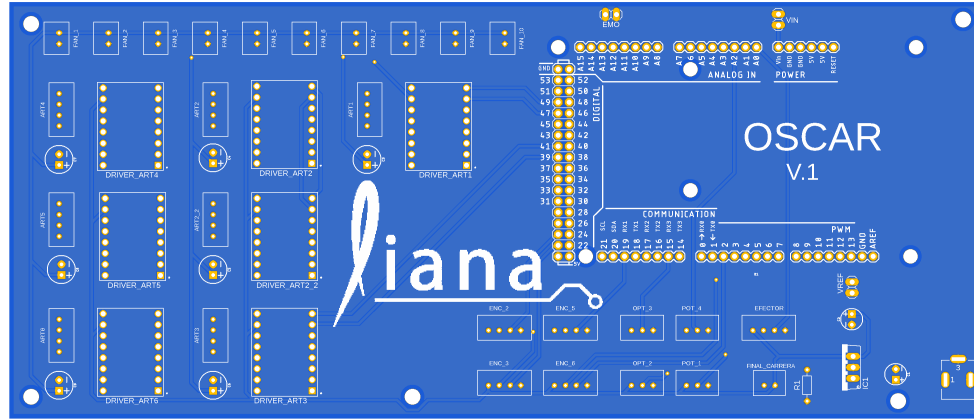


Figura 4.28. Vista superior del PCB diseñado.

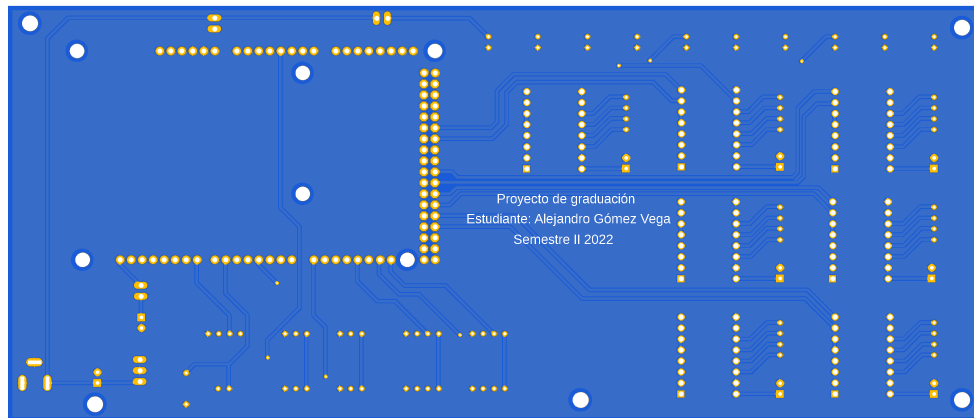


Figura 4.29. Vista inferior del PCB diseñado.

La fabricación del PCB se realizó en una casa de manufactura ubicada en China, se optó de esta forma para obtener un producto duradero y de una alta calidad, en la tabla 4.10 se

muestra la evaluación de algunas de las fábricas que ofrecen dicho servicio, donde se escogió JLCPCB debido a que ellos ofrecen tiempos de entrega más rápidos que las otras opciones, además se debe considerar que el mínimo que fabrican para este caso fueron 5 unidades y se necesitan 2, las 3 unidades sobrantes quedan como repuestos en caso de que se dañe alguna o para la fabricación de otros brazos. El PCB fabricado se muestra en la figura 4.30, donde se aprecia la calidad del producto.

Tabla 4.10. Casas de manufactura del PCB

		Compañías							
		JLCPCB		PCBWAY		ZXHPCB		ALLPCB	
Criterio de selección	Peso	Cal.	Pond.	Cal.	Pond.	Cal.	Pond.	Cal.	Pond.
Velocidad de fabricación	50 %	5	2,5	5	2.5	5	2.5	5	2.5
Velocidad de envío	25 %	5	1,25	4	1	4	1	4	1
Personalización	10 %	5	0,5	5	0,5	5	0,5	5	0,5
Precio	15 %	5	0,75	5	0,75	2	0,3	5	0,75
Total de puntos		5		4.75		4.3		4.75	
Lugar		1		2		3		2	
¿Continuar?		Si		No		No		No	



Figura 4.30. PCB fabricado.

Como el PCB fue diseñado para que tuviera un etiquetado fácil y rápido de la ubicación de cada cable, es que a estos se les asignó un código de color y se marcaron con un nombre, de esta manera se evitan futuros errores al conectar algún componente en un lugar distinto o con una orientación diferente. Los cables se agruparon de tal manera que tanto la alimentación como la señal de cada componente van juntos, mientras que los ventiladores y los 4 cables de cada motor a pasos también son un grupo diferente. Se dejó exclusivamente el color rojo

y negro para alimentación además se entiende que para el grupo de cables de ventiladores son 12V mientras que para los sensores son 5V, también los motores a pasos se pueden conectar de cualquier manera mientras que se respete las bobinas A y B. En la tabla 4.11 se muestra la codificación de los colores usada al conectar los componentes en el desarrollo del proyecto. Para el caso del codificador que tiene dos colores uno corresponde la conexión con el componente mientras la otra es con el PCB mediante un conector.

Tabla 4.11. Codificación de los colores de los cables.

Componente	Nombre	Color de cable
Codificador	Señal A	Verde/Amarillo
	Señal B	Azul
Codificador PCB	Señal A	Blanco
	Señal B	Gris
Final de carrera óptico	Señal	Azul
Potenciómetro	Señal	Azul
Efector final	PWM	Blanco-Verde
	Señal analg	Blanco-Naranja
Final de carrera efector	Señal	Blanco/Azul
Motores a pasos	1A	Negro
	1B	Verde
	2A	Rojo
	2B	Azul

En la tabla 4.12 se tiene la codificación de los cables y la cantidad de cables que tiene, además para los ventiladores no se les hizo una codificación ya que estos se pueden conectar en cualquier conector de ventilador.

Tabla 4.12. Codificación de los cables.

Componente	Nombre de señal	Cantidad de cables
Codificador 6	ENC6	4
Codificador 5	ENC5	4
Codificador 3	ENC3	4
Codificador 2	ENC2	4
Potenciómetro 4	POT4	3
Potenciómetro 1	POT1	3
Final de carrera óptico 3	OPT3	3
Final de carrera óptico 2	OPT2	3
Final de carrera efector	FinalC	2
Efector final	Efector	4
Motor articulación 1	ART1	4
Motor articulación 2-1	ART2_1	4
Motor articulación 2-2	ART2_2	4
Motor articulación 3	ART3	4
Motor articulación 4	ART4	4
Motor articulación 5	ART5	4
Motor articulación 6	ART6	4

Al PCB se le diseñó un case con el único propósito de asegurarlo al resto del brazo Thor. Se fabricó con los mismos parámetros de las otras piezas pero para este no se le hizo ninguna verificación de resistencia ya que no está sometido a estas. En la figura 4.31 se muestra el case, en este se aprecia que tiene orificios laterales que sirven de ventilación y orificios para colocar 4 ventiladores de los cuales dos se encargan de meter aire al case y los otros 2 se encargan de sacar el aire caliente, con el fin de que los drivers no se calienten tanto y tengan una vida más duradera, a todos los drivers se les puso el disipador de calor a pesar de que los motores no tengan corrientes altas en sus fases, ya que se recomienda que para corrientes mayores a 1A es recomendable colocarlo junto con ventilación forzada.

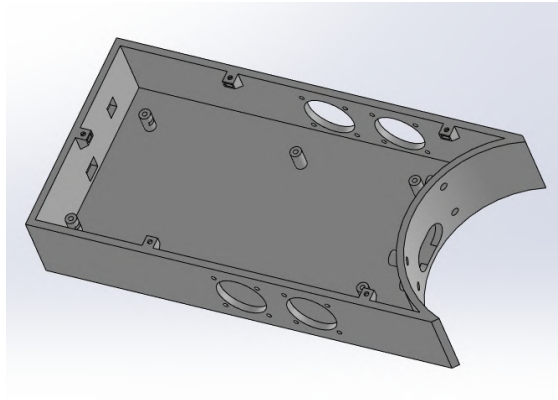


Figura 4.31. Case del PCB

Mientras en la figura 4.32 se muestra el PCB ensamblado en su totalidad donde se pueden observar tanto la codificación de colores como el nombre de cada grupo de cables a su respectivo conector. El cableado se hizo de la manera que no se tapara los ventiladores para que puedan enfriar los drivers, además se colocó una malla térmica para proteger los cables de los sensores y motores que están más expuestos al calor.

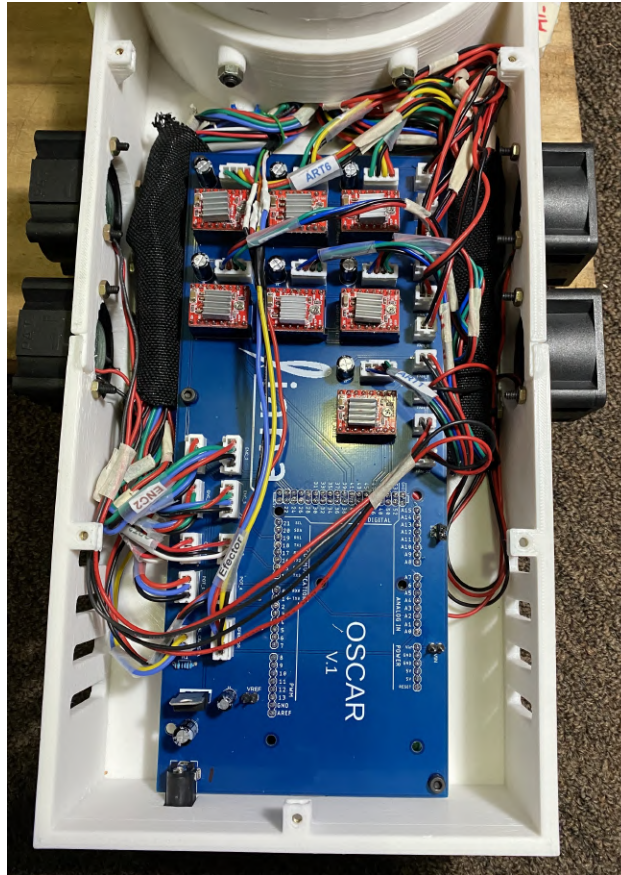


Figura 4.32. PCB cableado y ensamblado.

Las tablas de materiales de cada parte del robot se encuentran en la bitácora de producto en la sección A.4.6.

4.6. Resultados experimentales

4.6.1. Capacidad de carga

Este experimento tuvo como objetivo determinar cual es la carga máxima que soporta el manipulador luego del rediseño para incluir los sensores, además no se tiene una confianza en la característica de que el manipulador THOR pueda manipular cargas de hasta 750g incluyendo el efector final como lo indica el fabricante, pues este menciona que solo le coloco peso al brazo hasta que no se pudiera mover y de lo cual no hay vídeos o resultados. Esto lo mencionó en una pregunta del foro que cuenta la pagina del THOR y se encuentra en [55]. Por lo que se hicieron pequeñas pruebas durante el armado aparte de las pruebas de validación,

la primera fue mientras se ensamblaba la articulación 2 y se resolvía la situación donde los dientes de los engranes se brincaban mencionada previamente, la figura 4.33 muestra que se aplicó un peso que supera los 2 kilogramos y se encontró que la pieza lateral de THOR se abre en la parte inferior lo que hace que también pierdan el contacto entre dientes pero si la articulación se mantiene fija el peso es soportado adecuadamente. Esto se debe a que la pieza originalmente debía ser una sola y la documentación del THOR no tiene registro de esta situación ya que se usa la pieza completa y solo se suministró las piezas separadas sin ninguna prueba de funcionamiento.



Figura 4.33. Peso aplicado en los motores de articulación 2.

La segunda prueba pequeña fue con el brazo armado donde de forma estática, es decir sin mover los motores y manteniéndolos solo con la fuerza de bloqueo se colocó un peso de 796g encima para determinar si era capaz o no de soportarlo tal como se muestra en la figura 4.34 por seguridad se mantuvo la mano debajo para evitar daños en caso de que los motores cedieran, por lo que se demuestra que estáticamente si soporta más de 750g, para determinar si es capaz de manipularlos se diseñó un experimento que se explica a continuación.



Figura 4.34. Peso aplicado en los motores de articulación 2.

La prueba consiste en mover una carga 300mm o más y de poder retarla 360 grados, es de suma importancia ya que los experimentos típicos de robótica cognitiva es la manipulación de objetos. Además se debe determinar la capacidad real que van a tener los brazos pues se menciona como característica tener una capacidad de 750g sin el efector final. De esta prueba siguiendo el diseño DOE se tiene como factores controlables la carga que se va a manipular, si se coloca o no el efector final y el brazo a utilizar. Como factores de ruido se tienen las vibraciones producidas, ruido o interferencia en los componentes y las complicaciones inherentes al diseño del brazo que puedan afectar. Se van a realizar dos bloques para el tipo de movimiento que son el desplazamiento de la carga y la rotación de la carga. La variable estudiada es si logro o no logro manipular la carga y para considerar que se logro el desplazamiento de la carga debe superar los 300mm y la rotación debe ser de 360 grados con un error de 5 grados. El tipo de experimento es factorial completo, donde se tienen 8 corridas en total con los tratamientos, pero para tener un análisis más robusto se van a realizar 5 replicas para tener un total de 40 corridas. Y la carga para el caso de no tener efector se va a sujetar al Art56GearPlate (la pieza donde se coloca el efector).

Tabla 4.13. Factores del experimento.

Factor	Nivel bajo	Nivel alto
Brazo	7	8
Velocidad	4	10
Potenciómetros	2	5

Sin embargo el experimento no se logró llevar acabo porque el funcionamiento del brazo

no lo permitió, este experimento se asignó para ser ejecutado una vez que se terminará de realizar el experimento de la sección 5.6, ya que el robot de esta forma sería más sencillo de controlar mediante ROS en vez de calcular las posiciones necesarias a mano para mover la carga.

El experimento de alcance de posición tuvo una duración de 4 horas donde las primeras 2 horas se hicieron las correspondientes a un brazo y las otras 2 se hicieron al otro brazo, además de esta manera los brazos no se usaban de forma excesiva pero cuando se iba a realizar el experimento de carga se descubrió que algunos de los drivers no funcionaban, esto ocurrió en ambos brazos y especialmente en los de las articulaciones 3 y 2, que son las que soportan más torque.

En primera instancia se sospechó de que el PCB desarrollado fuera el culpable pero ya era la tercera semana usándolo, donde si el defecto fuera este se hubieran dañado desde la primera conexión. Por lo que se sospecha que el problema sean los drivers que no aguantan periodos largos de operación debido a que todo el uso previo de los drivers fue de a lo mucho 15 minutos moviendo los motores, también se hizo una prueba sobre el PCB donde el brazo se colocó en posición erguida y se dejó encendido para determinar si alguna parte del PCB se calentaba.

Y es que los drivers usados en THOR son los A4988, donde mayoritariamente se usan en CNCs o impresoras 3D donde la carga de los motores no suele ser mucha ya que incluso usan las funciones de microstep, estas funciones sacrifican torque en los motores para que el paso del motor se vuelva más fino y tengan más precisión, pero para el brazo THOR se debe usar paso completo ya que el torque no es algo que se pueda sacrificar, eso quiere decir que los motores en el brazo siempre están bajo un torque elevado ya sea para mantener su posición de bloqueo o moverse. Se pensó que fue calor acumulado en los drivers pero a estos se le colocaron los respectivos disipadores de calor que se incluyen en el paquete, se debe destacar que la unión es mediante una cinta y no se conoce su capacidad térmica, además cuando se diseñó el case para el PCB se dejaron orificios para 4 ventiladores de los cuales 2 introducen aire y 2 extraen aire, el flujo está directamente en los disipadores. De lo anterior se determinó que los drivers no tienen la capacidad de controlar los motores por periodos largos de tiempo.

Desarrollo del sistema operativo robótico

En este capítulo se presenta el proceso de diseño seguido para el subsistema sistema operativo robótico que representa la parte de software que controla y coordina los movimientos del robot de la figura 3.3. Se comenzará mencionando los requerimientos que el cliente manifestó, los cuales fueron la guía para el diseño expuesto. Luego se explicarán los detalles de la creación del modelo para ser controlado, la configuración usada mediante Moveit, la conexión del hardware al programa principal y otras funciones extra que se añadieron al robot para finalizar con los resultados de la implementación del software en un experimento de alcance de posiciones.

5.1. Identificación de requerimientos

De la misma forma que el capítulo anterior, el sistema operativo robótico se diseñó tomando en cuenta los requerimientos y necesidades expresadas por cliente mediante las entrevistas y su análisis. En la tabla 5.1 se muestran las necesidades referentes al capítulo sobre el software de control del robot.

Se observa que las necesidades más importantes indican que el manipulador debe tener 6 grados de libertad, esta necesidad se relaciona con lo desarrollado previamente ya que el Thor fueron la base de construcción por ende el programa debe tener la capacidad de controlar las 6 articulaciones que cuenta el robot. Siguiendo con las de mayor importancia es que el sistema pueda reconocer la posición de los objetos y tiene la capacidad de conocer la posición de sus articulaciones, estas dos necesidades están ligadas a la percepción del robot donde el reconocimiento de objetos se hará mediante un sistema de visión y puede modificarse a futuro mientras que para conocer la posición de sus articulaciones se hace mediante los sensores

implementados en el capítulo previo. Además, es de interés del laboratorio que el sistema sea lo más modular posible y que el sistema este basado en software libre o desarrollo abierto para que permita ser modificado en el futuro con facilidad o funcione para otros usuarios, por esto el último punto de interés es que toda la programación necesaria este documentada adecuadamente.

Tabla 5.1. Necesidades establecidas para el proyecto.

No.	Necesidades	Importancia
1	El SD cuenta con 6 grados de libertad.	5
3	El SD está basado en software libre o desarrollo abierto.	4
4	El SD permite el desarrollo de experimentos cognitivos.	
4.1	El SD tiene la capacidad de tomar y desplazar objetos.	5
4.2	El SD tiene la capacidad de reconocer la posición de los objetos.	5
4.3	El SD tiene la capacidad de conocer la posición de sus articulaciones.	5
6	El SD cuenta con un alto nivel de modularidad.	
6.1	El SD se conecta a un computador externo de procesamiento.	3
6.2	El SD utiliza la plataforma ROS para procesar la información y controlar sus movimientos.	3
7	El SD cuenta con una documentación completa.	
7.5	El SD cuenta con documentación de la programación.	4

Para tener un punto medible a la hora trabajar en cada necesidad es que se generó un conjunto de especificaciones, en la tabla 5.2 se muestran todas las características que debe cumplir el sistema para poder satisfacer al cliente. Las especificaciones más significativas siguen la importancia de las necesidades anteriores.

Tabla 5.2. Métricas con valores marginales e ideales

No.	Métrica	Imp.	Unidad	Val.marginal	Val.ideal
1	Grados de libertad del manipulador.	5	Cantidad	> 6	> 6
3	Puntuación del nivel de desarrollo abierto del robot.	4	Evaluación	> 8	10
4	Dimensiones máximas del objeto	5	mm	> 25	> 50
5	Peso máximo del objeto.	5	g	> 25	> 50
6	Velocidad máxima con la que mueve un objeto.	5	m/s	> 0,25	> 0,5
7	Campo de visión.	5	mm	> 500x650	> 1000x1300
8	Resolución del sistema de visión.	5	mm	< 1,5	< 1
9	Sensores usados en las articulaciones.	5	Lista	Codificador Potenciómetro	Codificador Potenciómetro
10	Resolución de sensores de posición de las articulaciones.	5	grados	< 1,8	< 0,9
14	Confiabilidad en la comunicación de datos	3	% <i>recibidos</i> <i>enviados</i>	> 90	> 95
15	Uso de la plataforma ROS	3	Binario	Pasa	Pasa
17	Composición detallada de la documentación del robot	4	Lista	Ver tabla A.10	Ver tabla A.10

Como en el capítulo anterior los valores de las especificaciones se basaron en el trabajo previo del laboratorio y las limitantes físicas de los componentes, como la velocidad de motores, resolución de sensores, etc. Estos comentarios de forma detallada y los valores se presentan en la tabla A.12.

5.2. Descomposición funcional

Esta sección se va realizar la descomposición funcional del subproblema sistema operativo robótico mostrado en la figura 3.3 el cual fue la base para separar el proyecto en la parte de hardware y software. Este subproblema se le puede hacer descomposición funcional mostrada en la figura 5.1 donde a cada subproblema se le va a redefinir como nodo el cual va tener

una función específica por resolver y las flechas azules corresponden a topics por donde se envía la información. El nodo de rviz y move_group son suministrados por ROS y moveit respectivamente, el nodo rviz simplemente es una interfaz gráfica para visualizar mejor la información y el nodo move_group se expondrá mas adelante en la sección de implementación de moveit. Los nodos OSCAR_cmd y Arduino_interface corresponde a nodos desarrollados en este proyecto donde el primero recibe información para mover a OSCAR, esto quiere decir que en este nodo se conecta el sistema de visión o cualquier otro sistema que desee mover el robot, de esta manera se tiene una alta modularidad y un facilidad para usar la herramienta mientras que el segundo nodo se encarga de permitir el control del arduino dentro del espacio de trabajo en ROS.

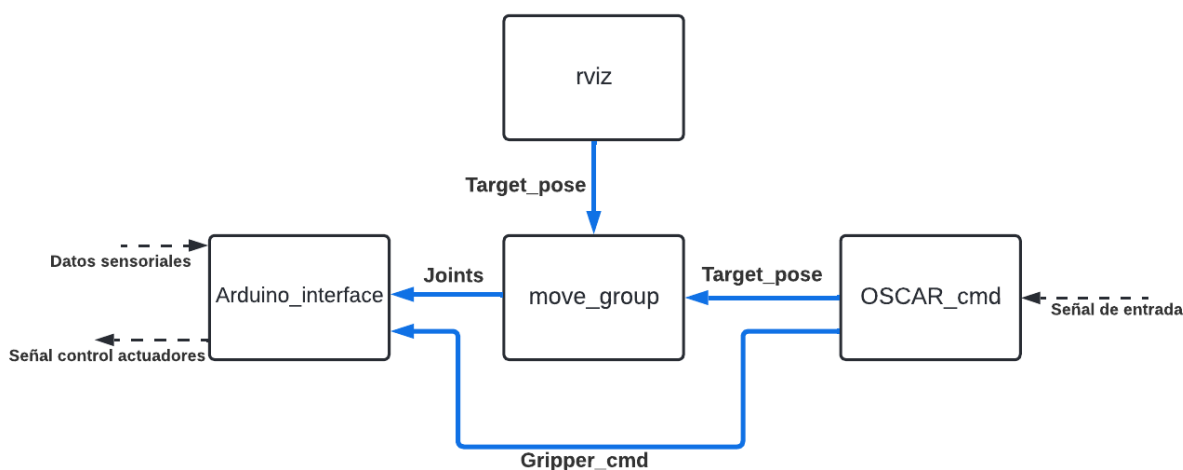


Figura 5.1. Descomposición del sistema operativo robótico.

En la figura 5.2 se tiene un descomposición a más detalle, se decide separar el nodo en 2 diferentes para tener una alta modularidad y que en caso de uno falle no afecte el sistema en su totalidad y sea más sencillo a la hora de dar mantenimiento al código. La función de cada nodo de una manera general se puede observar en las figuras A.54 y A.55 De forma general el nodo Joint_steps se encarga de la transformación de las posiciones de las articulaciones de radianes a pasos como lo requieren los motores, el nodo de Sensor_joints se encarga de recibir la información sin procesar de los sensores y los transforma a grados. Mientras que la figura 5.3 se observa que el comportamiento del arduino va ser de un nodo que permite la comunicación con los sensores y actuadores.

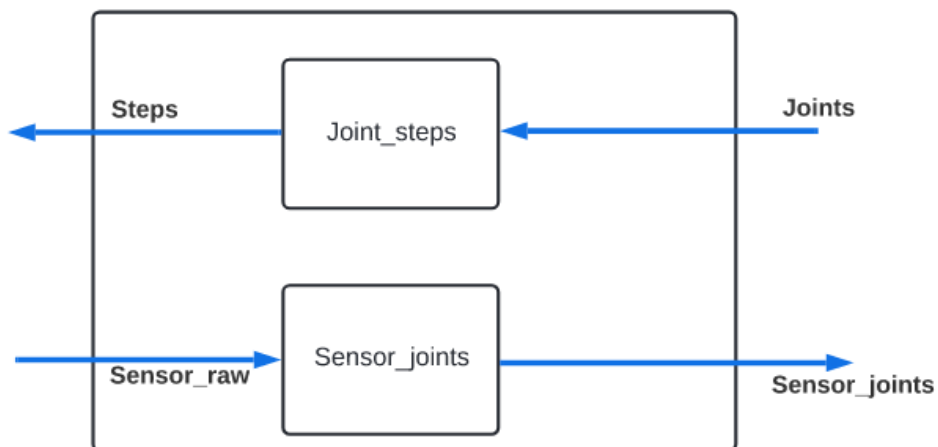


Figura 5.2. Descomposición de arduino_interface.

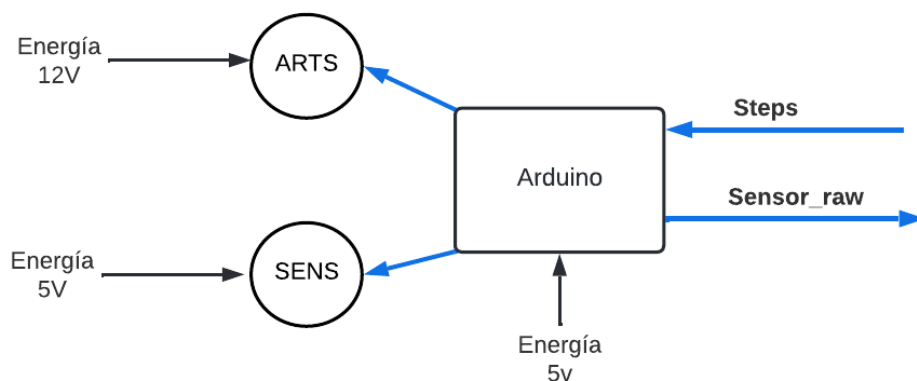


Figura 5.3. Representación arduino como nodo.

5.3. Creación del modelo URDF

El primer paso es modelar el robot en un archivo de tipo United Robotics Description Format (URDF), este archivo es utilizado para describir la totalidad del robot utilizando el lenguaje XML. El formato URDF es utilizado en ROS, mediante este archivo se puede generar simulaciones o el paquete de control del robot que genera moveit, este ultimo es el de mayor importancia para controlar los brazos adecuadamente. En este archivo se describen

los links que componen al robot y sus propiedades físicas como son el color, la geometría, las texturas, la inercia, la masa, etc y además una descripción de la relación de esos links con otros mediante un orden de jerarquía, en esta descripción se indica el tipo de joint, ya sea fija, continua, revolución o prismática, y los topes o límites que tiene. Se debe tener en cuenta que las joints solo se hacen entre dos links y un link solo puede tener un padre pero múltiples hijos. En caso de querer más información acerca de esta descripción se puede encontrar en [56].

Un ejemplo de una descripción de un link o segmento es la siguiente:

```
<robot name = "Robotcito">
  <link name = "base_link">
    <inertial>
      ...
    </inertial>
    <visual>
      <geometry>
        ...
      </geometry>
      <material>
        <color rgba = "1 0 0 1" />
      </material>
    </visual>
  </link>
  ...
</robot>
```

Un ejemplo de una descripción de joints o articulaciones entre links es la siguiente:

```
<robot name = "Robotcito">
  <joint name = "joint A ... ">
    <parent link = "link A" />
    <child link = "link B" />
  </joint>
  <joint name = "joint B ... ">
    <parent link = "link A" />
    <child link = "link C" />
  </joint>
```

```

    <joint name = "joint C ... >
        <parent link = "link C" />
        <child link = "link D" />
    </joint>
</robot>

```

Como se mostró con los ejemplos anteriores describir un robot es complejo y más si este tiene muchos links o formas complejas, debido a esto como las piezas se desarrollaron en solidworks se utilizó un plugin [57] que permite generar todos los archivos de URDF a partir de un ensamble, en la figura 5.4 se muestra el modelo utilizado para generar los archivos, se hizo de esta forma ya que el robot se va a montar en una mesa y como va requerir de un sistema de visión, por eso se añadió el soporte de la cámara, la ventaja es que de este archivo se puede modificar como lo requiera el laboratorio y generar los archivos URDF con facilidad.

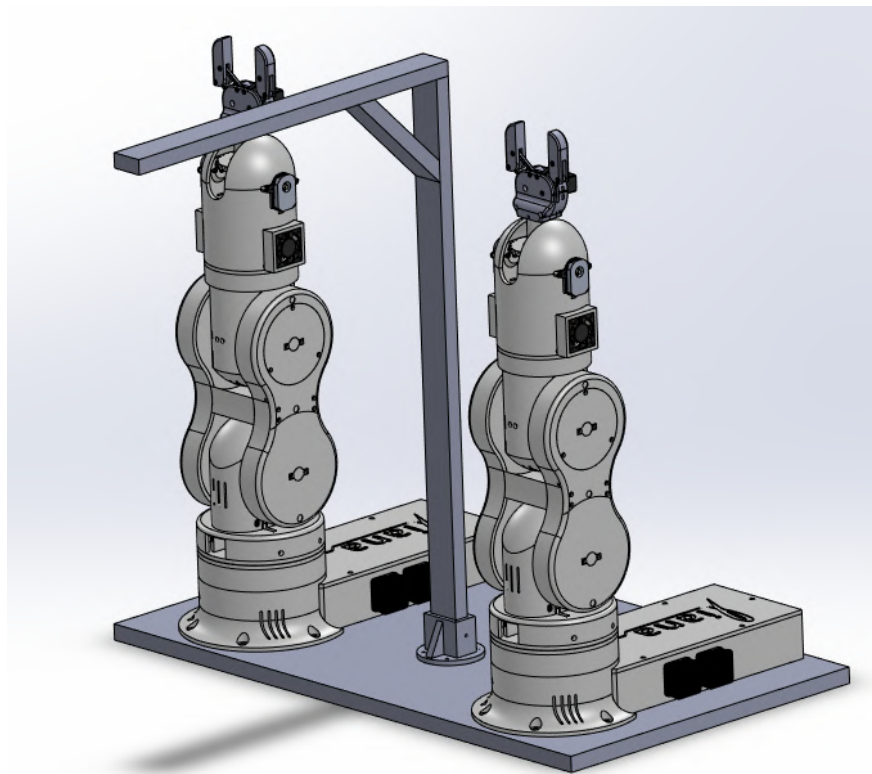


Figura 5.4. Modelo del robot OSCAR.

El primer paso es simplificar el modelo de todas las piezas a solo los links que se van a utilizar, además se deben retirar todas aquellas piezas que no sean necesarias en el ensamble

para modelar el robot. En la figura 5.5 se muestra el mismo modelo de OSCAR pero simplificado, donde además cada color representa un link. Empezando con la mesa que tiene 3 hijos que son las bases del robot en rosado y el soporte de la cámara en gris claro, luego cada robot Thor tiene un link hijo formando la cadena.

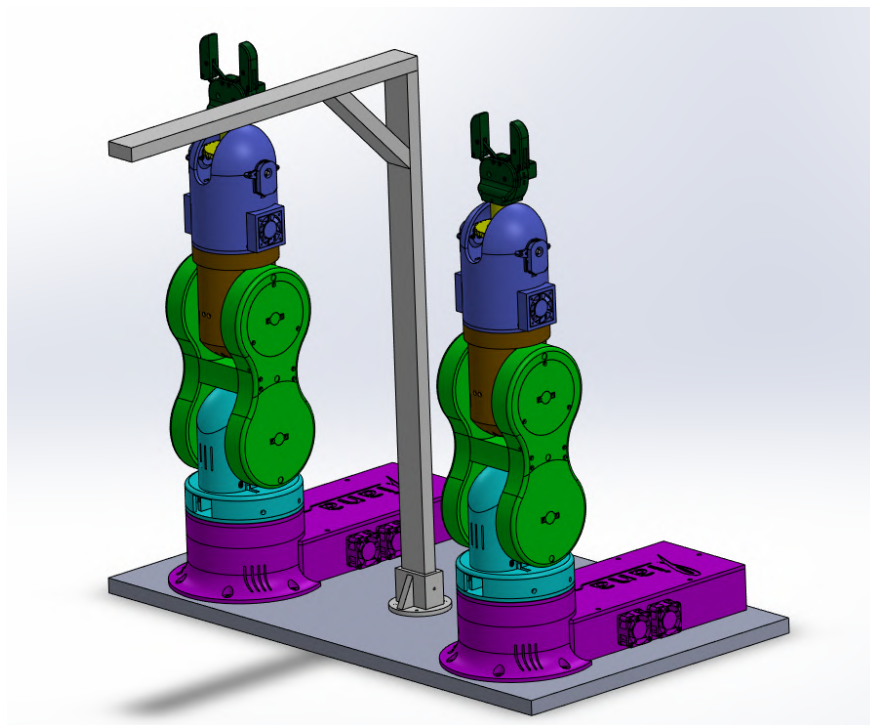


Figura 5.5. Modelo del robot OSCAR simplificado.

Una vez se ejecuta el plugin se genera la estructura de los links, se asigna la pieza que pertenece el link, se va mostrar la ventana de información de la figura 5.6, donde se observa la estructura de árbol de los links con su respectivo padre e hijo, la información adicional que se muestra es el origen del link, el momento de inercia y las mallas visuales y de colisión que solidworks genera automáticamente, mientras en la figura 5.7 se muestra la descripción de los joints que de igual forma se representan mediante forma de árbol y en la información adicional se muestra el tipo de joint que en este caso todas son de revolución menos la que une la base de los robots, el soporte de la cámara y la unión de los gripper, para cada joint del tipo revolución se le debe asignar los límites de cada articulación que se muestran en la tabla 5.4, todas las articulaciones tienen límites para que los links no colisionen con otros y para no dañar los sensores de tipo potenciómetro que tienen un tope que no se debe superar. Antes de finalizar el proceso se debe verificar la orientación de los orígenes de cada link, ya que solidworks lo hace automático y lo hace en cualquier orden mientras que ROS usa

la convención de la mano derecha donde el eje X corresponde al frente del robot y el eje Z hacia arriba del robot, si esto no se revisa adecuadamente en el futuro el control del robot no va ser el adecuado. En la tabla 5.3 se muestran los colores que representan cada link y además como hay dos brazos Thor es que este lleva un # ya que corresponde si es el Thor1 o el Thor2.

Tabla 5.3. Color de los links de OSCAR.

Nombre	Color
Mesa	Gris oscuro
SoporteCamara	Gris claro
Thor#_BaseLink	Rosado
Thor#_Link1	Celeste
Thor#_Link2	Verde claro
Thor#_Link3	Café
Thor#_Link4	violeta
Thor#_Link5	Blanco
Thor#_Link6	Amarillo
Thor#_Gripper	Verde oscuro

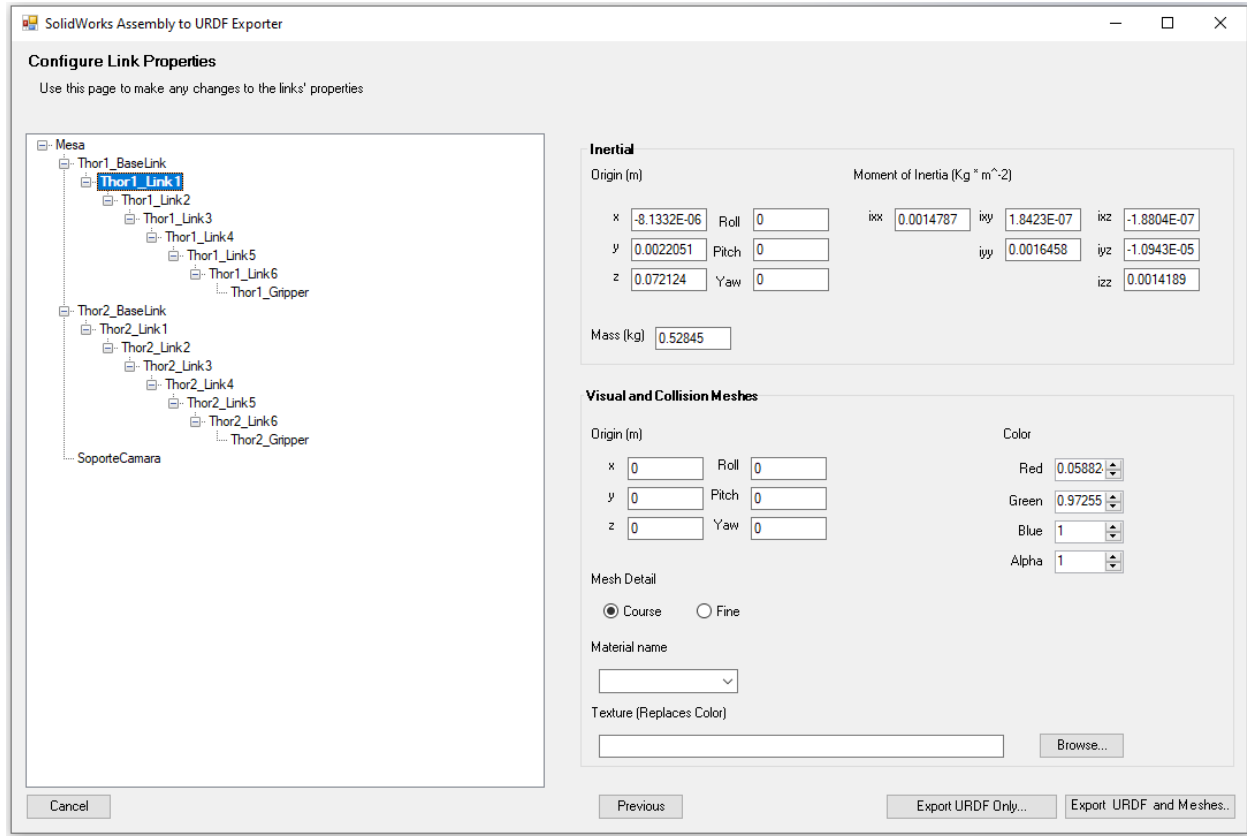


Figura 5.6. Descripción de los links del modelo OSCAR simplificado.

Tabla 5.4. Limite de las articulaciones de OSCAR.

joint	Limite inferior(grados)	Limite superior(grados)
Joint1	-180	180
Joint2	-90	90
Joint3	-90	90
Joint4	-180	180
Joint5	-90	90
Joint6	-180	180

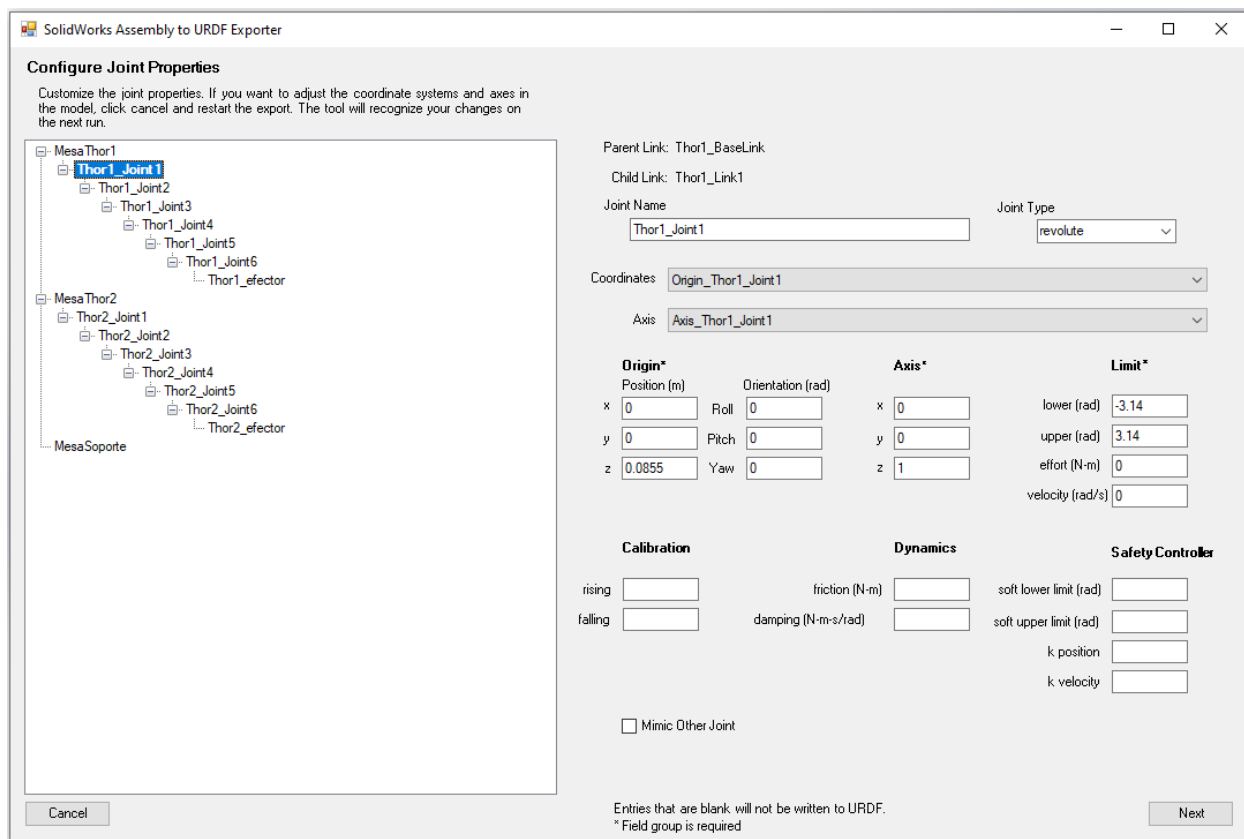


Figura 5.7. Descripción de los joints del modelo OSCAR simplificado.

5.4. Implementación de OSCAR en Moveit

El paquete Moveit se encarga de toda la planificación de trayectorias para manipuladores, en la figura 5.8 se muestra el funcionamiento del paquete, donde los cuadros amarillos son aportados por el paquete, los grises son dependencias externas y los azules son de ROS. Se puede observar que el usuario tiene 3 formas de interactuar con el move group y es mediante el moveit commander el cual lee instrucciones y las ejecuta, mediante los plugins de rviz donde se puede visualizar el movimiento del robot y controlar las articulaciones y por ultimo es enviarle comandos directamente al nodo move group. El nodo move group es el cerebro, este toma la información del usurario para planificar la ruta, tomando en cuenta los sensores o percepción 3D del entorno y detección de colisiones con otros objetos, de esta forma se genera la ruta más eficiente y se ejecuta mediante el nodo Trajectory Excution Manager mediante el uso de controladores externos. En la figura 5.9 se puede observar una conexión más detallada del nodo move_group, este nodo también obtiene información del

archivo URDF por eso es la importancia de que este se realice correctamente. Si se desea más información de los conceptos de moveit se pueden encontrar en [58].

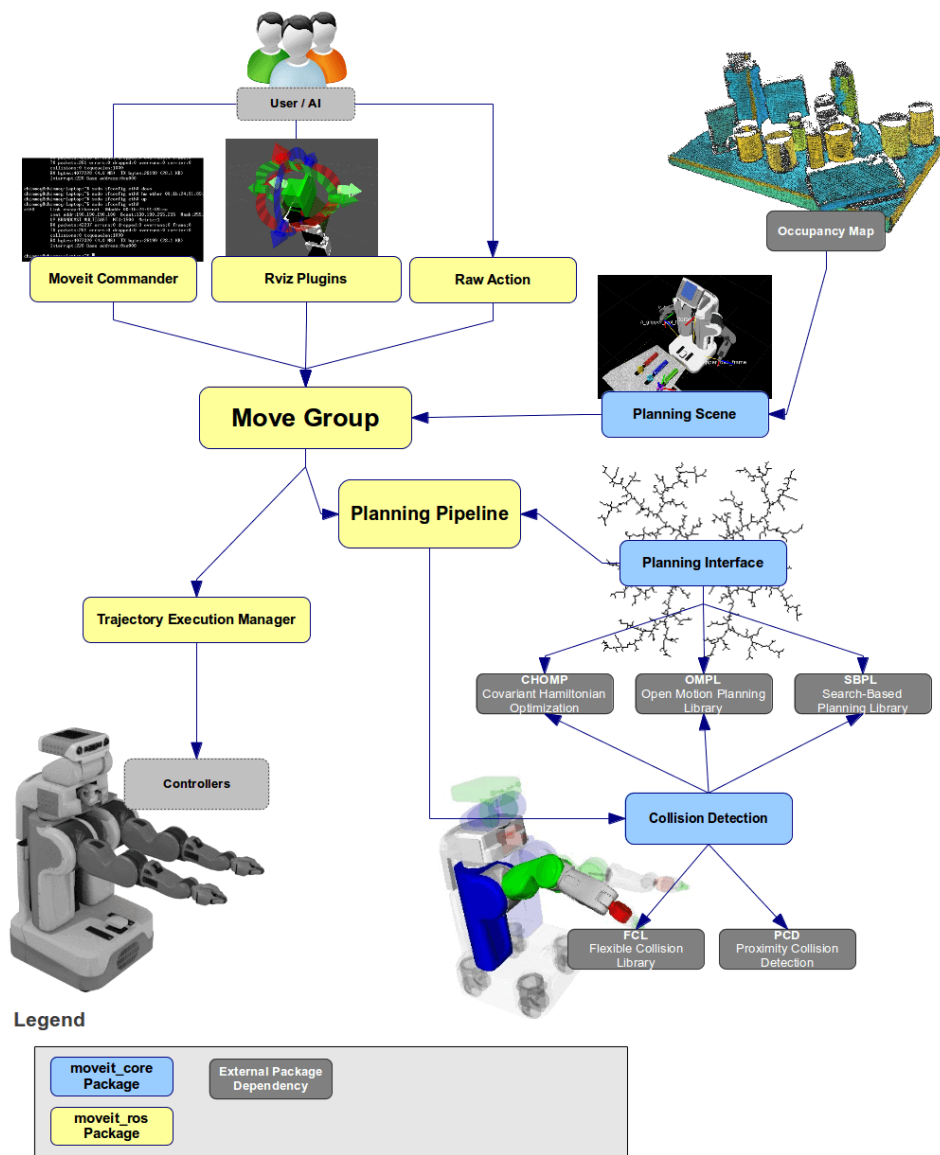


Figura 5.8. Descripción general del funcionamiento de moveit. [58].

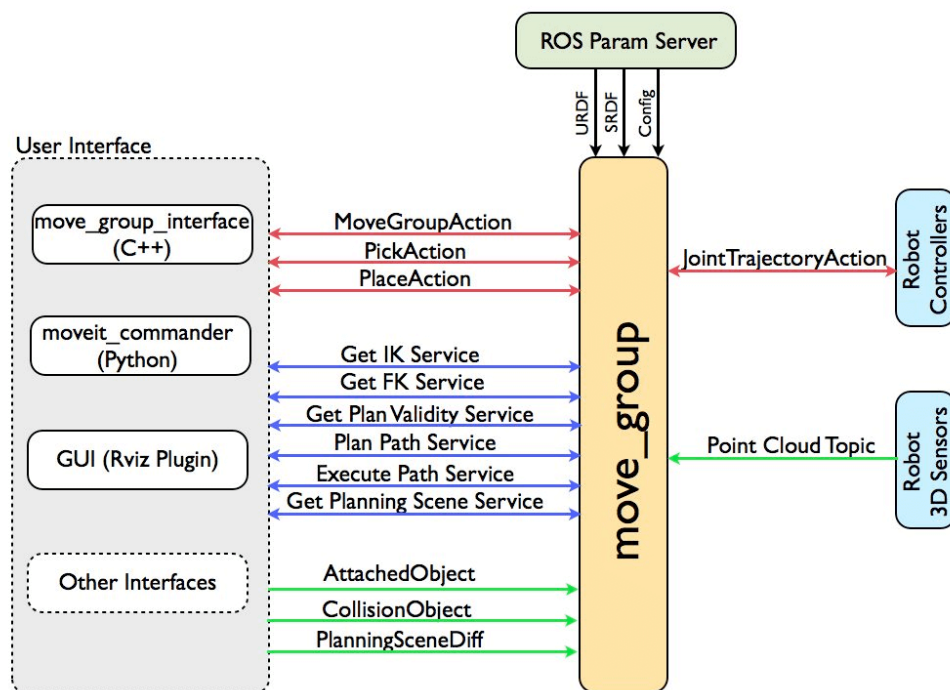


Figura 5.9. Descripción del funcionamiento de `move_group`. [58].

5.4.1. Cinemática inversa y planeador

Moveit ofrece la integración de diferentes solucionadores para calcular la cinemática inversa y el planeamiento de rutas. El solucionador Kinematics and Dynamics Library (KDL) es una implementación computacional que resuelve el problema de la cinemática inversa planteado en la ecuación 2.1 mediante el método de Newton-Rapson para encontrar la solución, información adicional se puede encontrar en [59]. Moveit utiliza la Open Motion Planning Library (OMPL) que es una biblioteca de software libre que incluye una gran cantidad de algoritmos de planeadores de rutas, se debe tener en cuenta que esta librería no incluye algoritmos para verificar colisiones o visualizaciones, uno de los algoritmos que incluye esta librería es el Rapidly-exploring Random Tree (RRT) el cual consiste en un algoritmo diseñado para buscar eficientemente un espacio de articulación mediante el crecimiento de un árbol donde los estados conectados deben ser validos, lo que permite considerar restricciones generadas por obstáculos y el mismo manipulador, para evitar la colisiones entre los links o elementos descritos en el URDF. Este solucionador y el planeador se escogieron ya que son sencillos, se ajustan con los requerimientos del proyecto demostrando su uso en el trabajo previo realizado en el laboratorio. Si se desea más información acerca del OMPL y RRT se

encuentra en [60] y [61] respectivamente.

5.4.2. Configuración de OSCAR

Para la generación y configuración de paquetes moveit ofrece el nodo con una interfaz llamado MoveIt Setup Assistant, el cual a partir de un modelo URDF permite generar el paquete necesario para controlar el robot, a continuación se mostrará paso a paso para el modelo OSCAR en la sección 5.3, si se desea más información sobre el MoveIt Setup Assistant en [62] se tiene información detallada y varios tutoriales.

Paso1-Cargar el archivo URDF

El primer paso es ubicar la carpeta generada por el plugin de solidworks y cargar el archivo URDF para iniciar la configuración, la ubicación de esta carpeta debe estar junto con la carpeta con todos los archivos de configuración que se generen al final. El MoveIt Setup Assistant es muy sencillo de seguir, cada pestaña se debe de ir completando en orden y se debe tener cuidado con los nombres para poses o controladores.

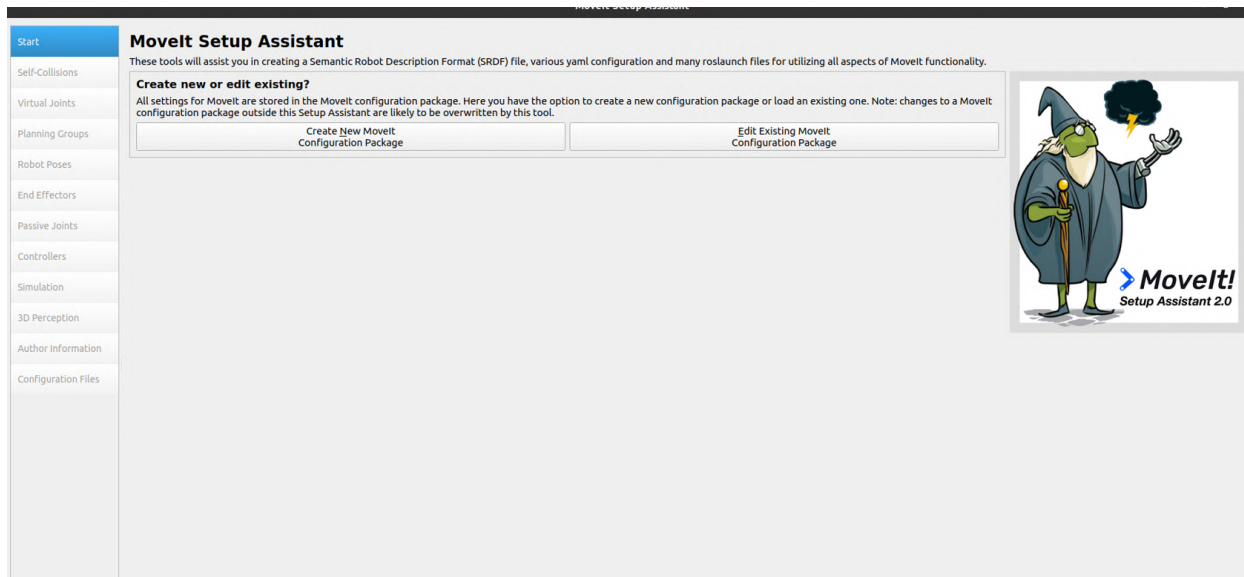


Figura 5.10. MoveIt Setup Assistant paso 1.

Paso2-Crear matriz de colisión

El segundo paso consiste en crear la matriz de colisión que tiene como funcionalidad excluir componentes de las ecuaciones y planeamientos, ya que se sabe cuales links no van a

colisionar con otros links por lo que el procesamiento se vuelve más rápido.

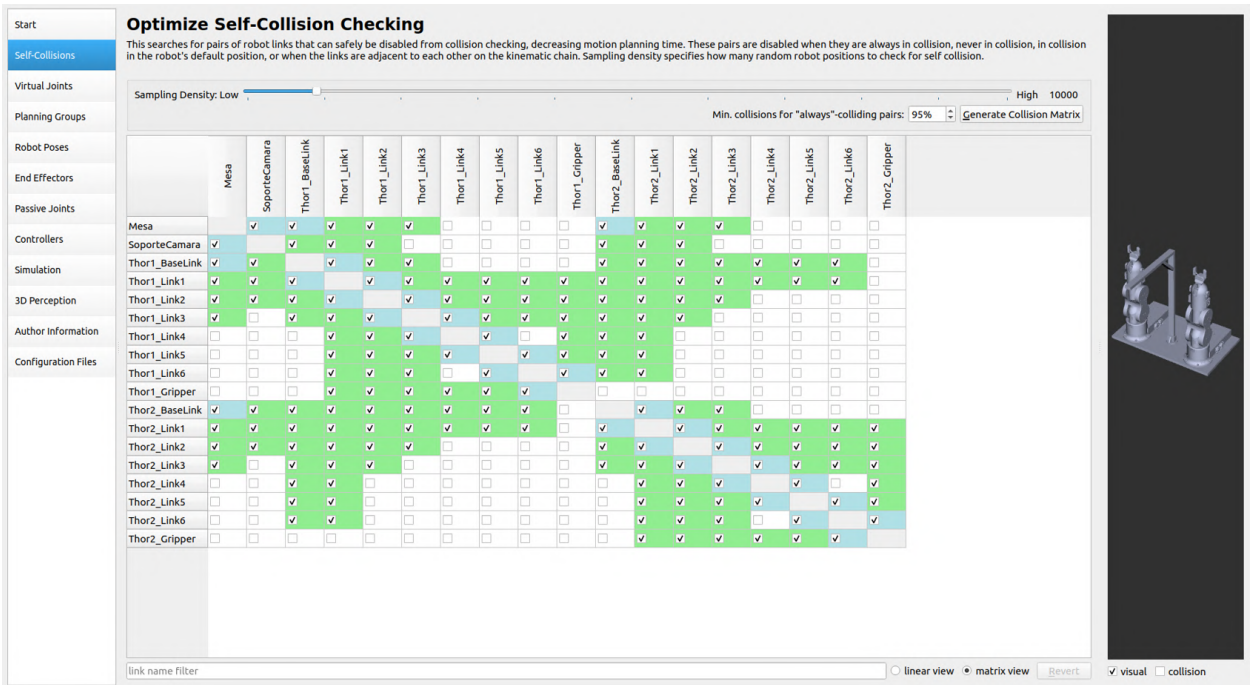


Figura 5.11. MoveIt Setup Assistant paso 2.

Paso3-Crear una joint virtual

Se crea una joint virtual que permita unir el modelo a otro elemento, por lo general esta joint se asigna el nombre de world y se asigna como hijo el elemento padre del URDF, que en este caso corresponde a la mesa.

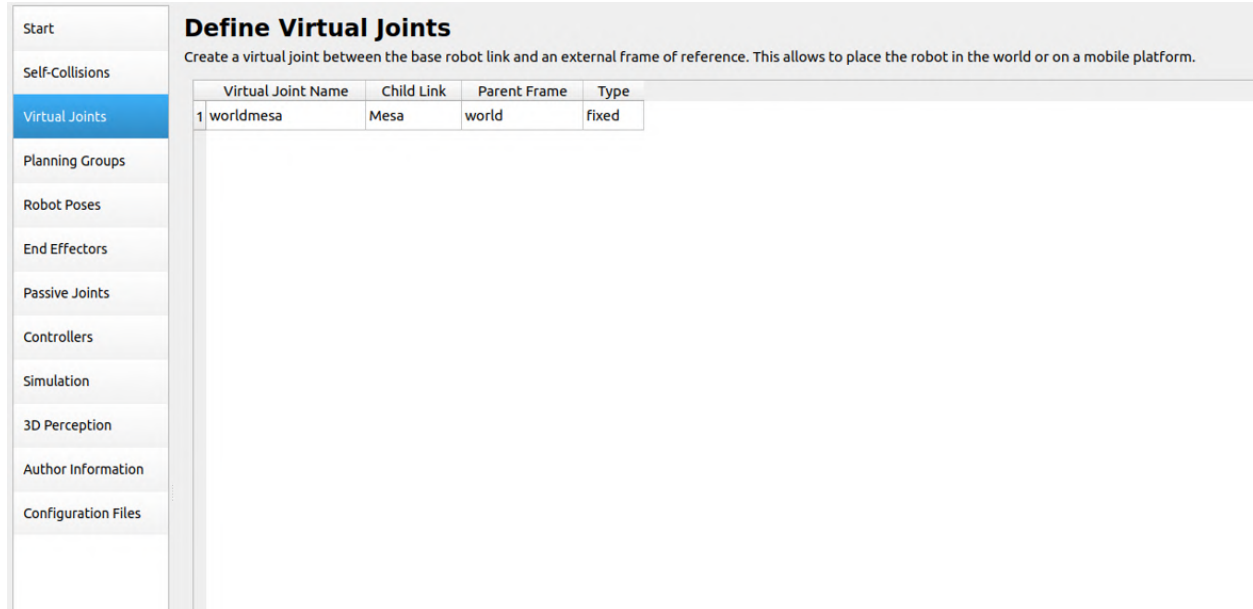


Figura 5.12. MoveIt Setup Assistant paso 3.

Paso4-Definir los grupos de planeamiento

Este paso es el más importante, en esta parte del MoveIt Setup Assistant es donde todos los links de un brazo se asignan a un grupo para ser controlados y se les debe de asignar tanto el solucionador cinemática inversa como el planeador de las posiciones. También se deben asignar los grupos par describir al efector final en caso de necesitarse, un ejemplo es un efector con forma de mano humanoide, el grupo serian todos los elementos como partes del dedo que la componen.

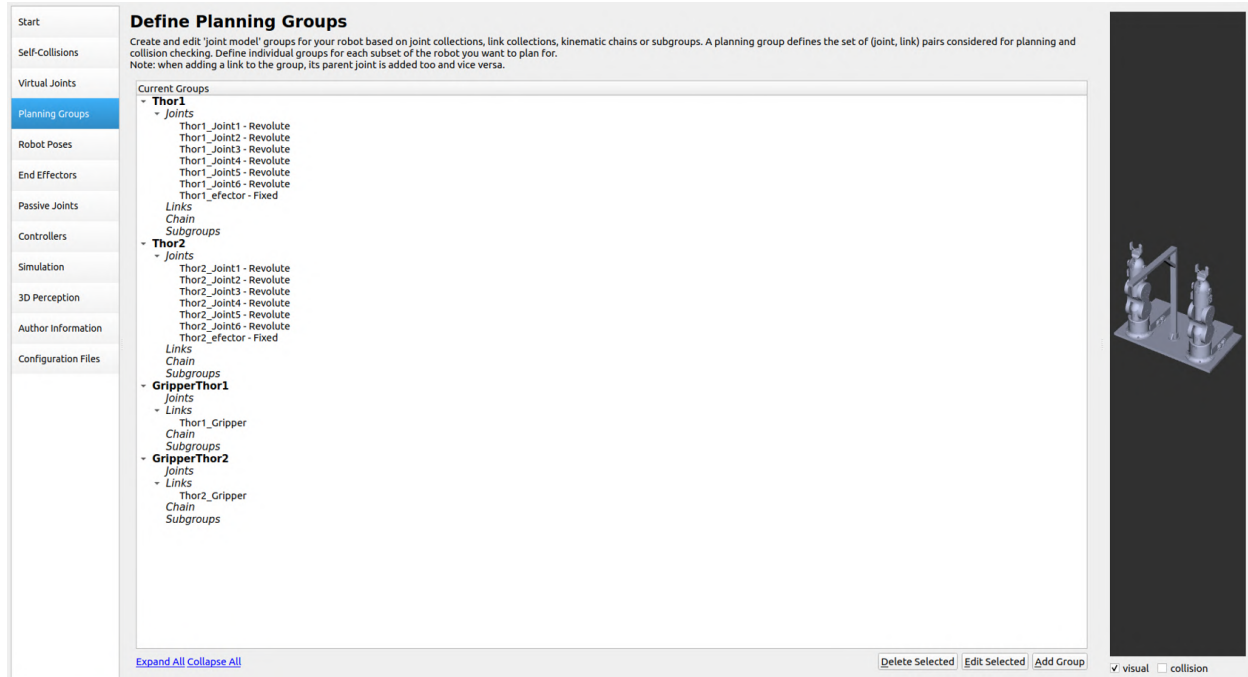


Figura 5.13. MoveIt Setup Assistant paso 4.

Paso5-Crear poses determinadas para OSCAR

Una vez que se definieron todos los grupos de planeamiento, se deben asignar las poses predefinidas del grupo. Mediante esta forma se pueden ejecutar con rapidez desde las formas para comunicarse con el `move_group`, para este proyecto se asignaron posiciones de Home o inicio para cada brazo, de esta forma se vuelve sencillo cada vez que se quiera regresar a 0.

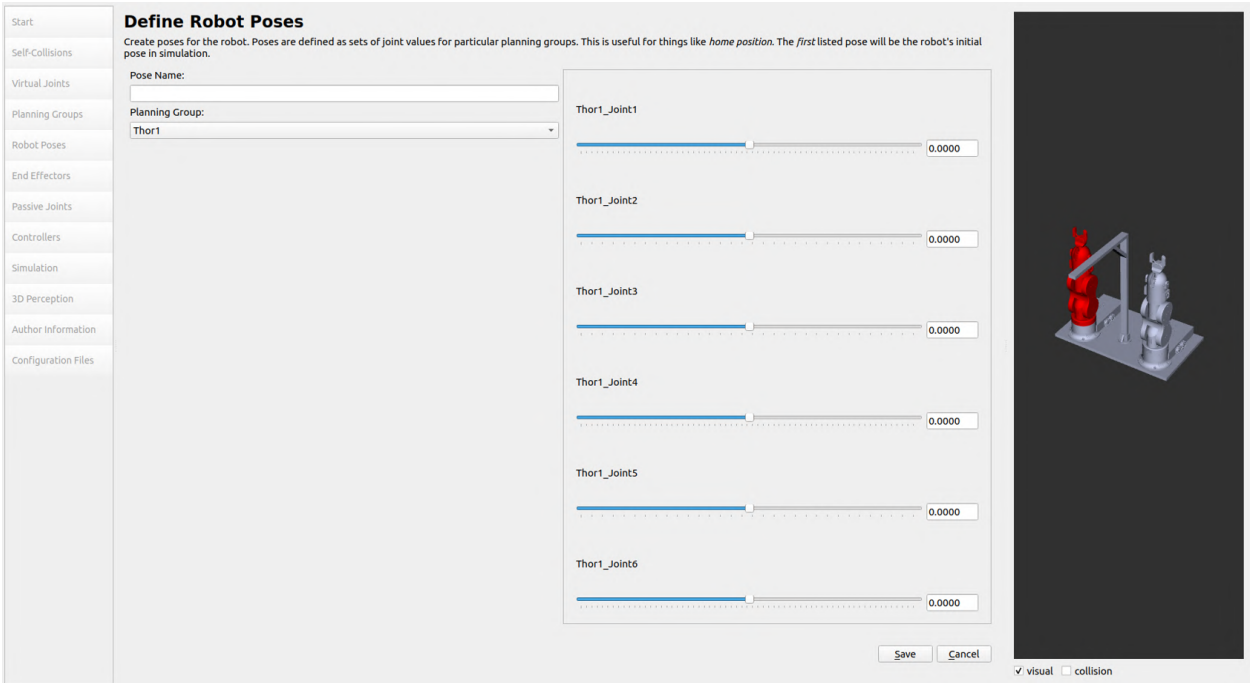


Figura 5.14. MoveIt Setup Assistant paso 5.

Paso6-Definir los efectores

En este paso se deben agregar los efectores, se asigna cual es el link padre que para este caso seria el link6 que corresponde al final de la cadena del brazo y se asigna como link hijo la base del grupo de la mano, para este caso seria el gripper.

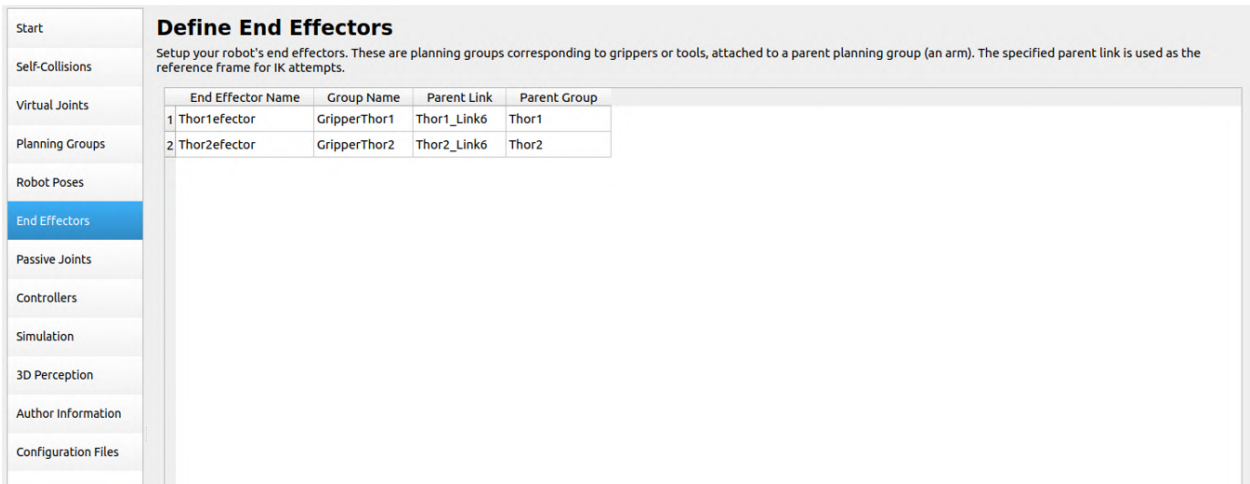


Figura 5.15. MoveIt Setup Assistant paso 6.

Paso7-Definir los controladores

Los controladores se deben definir según la necesidad, ya sea para seguir una trayectoria, para seguir una posición o una velocidad específica. Los controladores son necesarios para conectar el robot real o simulado al move_group, además si pueden usar controladores de ROS Control que es un paquete que permite crear controladores para robots según se necesite.

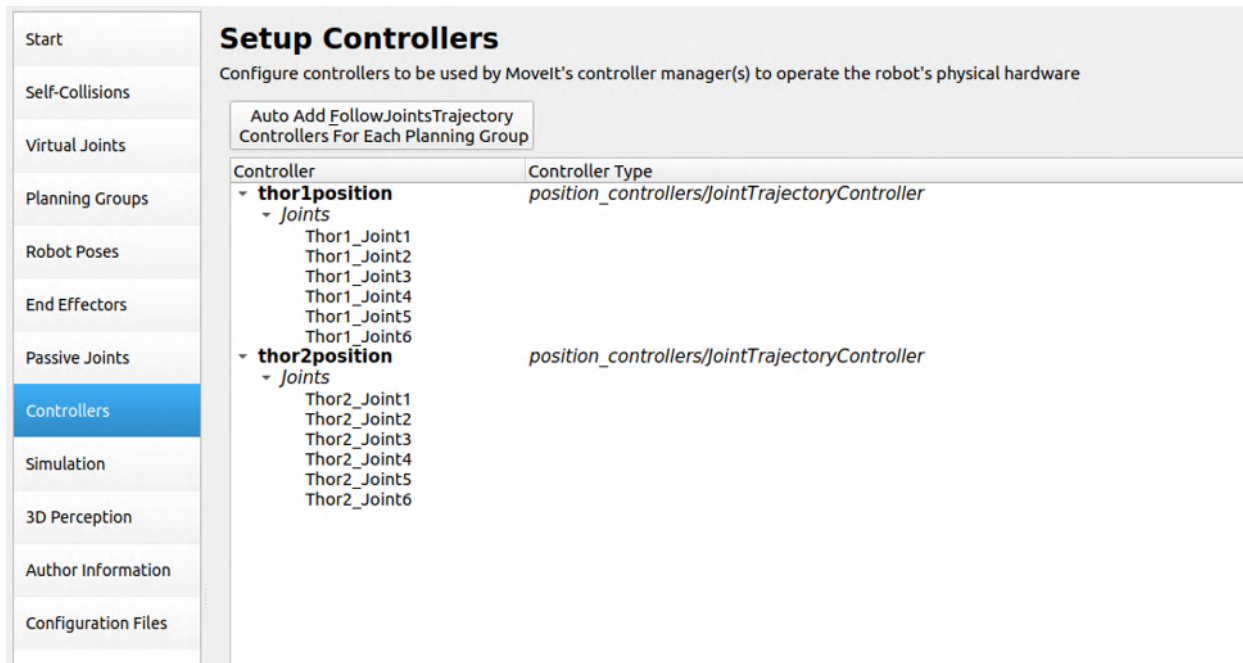


Figura 5.16. MoveIt Setup Assistant paso 7.

Paso8-Generar los archivos de configuración

Finalmente se deben generar los archivos de configuración y colocar en la carpeta donde se encuentra el modelo URDF de OSCAR, ya que si no encuentra la carpeta no se va poder ejecutar moveit adecuadamente.

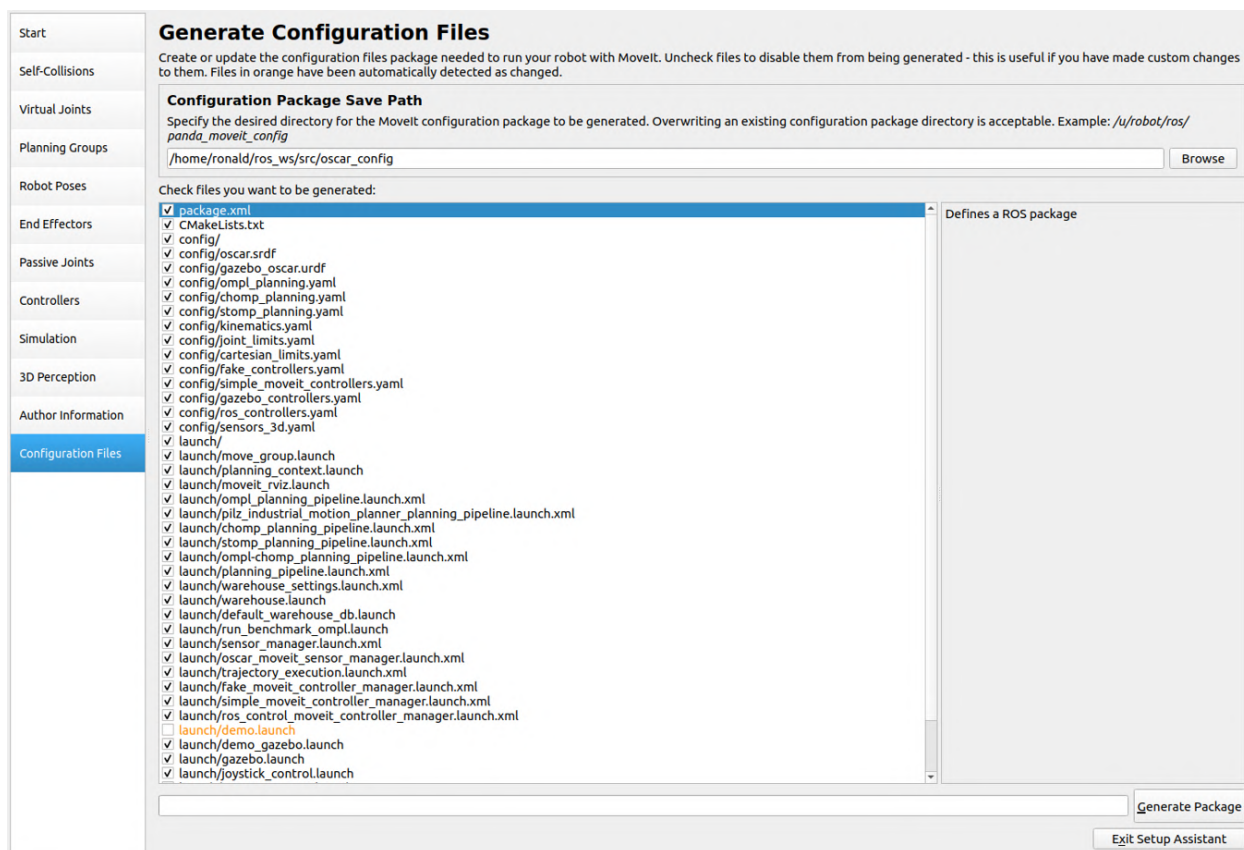


Figura 5.17. MoveIt Setup Assistant paso 8.

5.5. Comunicación al hardware y funciones extra

En esta sección se muestra la comunicación del hardware con el paquete moveit de OS-CAR, esto incluye la parte del arduino, específicamente en como se adapta como un nodo y la interfase que permite la conexión del arduino nodo con el nodo move_group. Primero se van a detallar los nodos de interfase mostrados en la figura 5.2 y luego se va detallar el contenido del arduino.

5.5.1. Nodos de interfase: Joint_steps

Este nodo como se ha mencionado anteriormente se encarga de enviarle las posiciones de articulaciones en pasos. Primero se recibe las posiciones de las articulaciones generadas en el move_group, esta información se envía mediante un mensaje de tipo sensor_msgs/JointState Message, este tipo de mensajes contiene información sobre el nombre de las joints en un

arreglo de tipo string y tres arreglos de tipo float64 con la posición, la velocidad y el esfuerzo respectivamente, se debe tener cuidado ya que los datos tiene un correlación por lo que si no se tiene velocidad o esfuerzo se deben dejar en blanco. La estructura del mensaje mencionado se muestra a continuación:

```
std_msgs/Header header
string [] name
float64 [] position
float64 [] velocity
float64 [] effort
```

Del mensaje anterior lo más importante es el nombre ya que al tener dos brazos que manipular se debe mover el brazo correcto y la posición que se debe de transformar a pasos. Cada articulación tiene un juego de engranes por lo que es necesario calcular la relación de pasos con grados para cada uno, además el sistema diferencial de la articulación 5 y 6 al ser dos movimientos que depende de dos motores tiene un grado de complejidad elevado, por eso se recomienda que cada articulación dependa solo de un actuador o si son varios que estos sea una copia del mismo movimiento como es el caso de la articulación 2. A continuación se van a calcular las constantes de transformación para cada articulación.

Relación articulación 1

En la articulación 1 se tienen un engrane de 50 dientes, un piñón con 10 dientes conectado a un motor a pasos y el motor a pasos con cada paso equivalente a 1.8 grados. En las siguientes ecuaciones se muestran la forma de obtener la relación de grados del engrane a pasos, donde Z_p corresponde a la cantidad de dientes del piñón, θ_p corresponde a los grados que se mueve el piñón, Z_e corresponde a los dientes del engrane y θ_e corresponde a los grados que se mueve el engrane.

$$Z_p \cdot \theta_p = Z_e \cdot \theta_e \quad (5.1)$$

$$10 \cdot \theta_p = 50 \cdot \theta_e \quad (5.2)$$

$$Pulsos \cdot 1,8 = 5 \cdot \theta_e \quad (5.3)$$

$$Pulsos = 2,78 \cdot \theta_e \quad (5.4)$$

Relación articulación 2

En la articulación 2 se tienen un engrane de 60 dientes, un piñón con 10 dientes conectado a un motor a pasos y el motor a pasos con cada paso equivalente a 0.35 grados. En las siguientes ecuaciones se muestran la forma de obtener la relación de grados del engrane a pasos, donde Z_p corresponde a la cantidad de dientes del piñón, θ_p corresponde a los grados que se mueve el piñón, Z_e corresponde a los dientes del engrane y θ_e corresponde a los grados que se mueve el engrane.

$$Z_p \cdot \theta_p = Z_e \cdot \theta_e \quad (5.5)$$

$$10 \cdot \theta_p = 60 \cdot \theta_e \quad (5.6)$$

$$Pulsos \cdot 0,35 = 6 \cdot \theta_e \quad (5.7)$$

$$Pulsos = 17,14 \cdot \theta_e \quad (5.8)$$

Relación articulación 3

En la articulación 3 se tienen un sistemas de poleas por lo que la relación se desarrolló mediante diámetros y no por número de dientes donde el diámetro de la polea grande es de 74mm mientras que el diámetro de la polea pequeña tipo GT2 tiene un diámetro de 9.5mm a nivel dientes conectado a un motor a pasos y el motor a pasos con cada paso equivalente a 0.35 grados. En las siguientes ecuaciones se muestran la forma de obtener la relación de grados de la polea grande a pasos, donde D_p corresponde al diámetro pequeño, θ_p corresponde a los grados que se mueve la polea pequeña, D_e corresponde al diámetro de la polea grande y θ_e corresponde a los grados que se mueve la polea grande.

$$D_p \cdot \theta_p = D_e \cdot \theta_e \quad (5.9)$$

$$9,5 \cdot \theta_p = 74 \cdot \theta_e \quad (5.10)$$

$$Pulsos \cdot 0,35 = 7,79 \cdot \theta_e \quad (5.11)$$

$$Pulsos = 22,11 \cdot \theta_e \quad (5.12)$$

Relación articulación 4

En la articulación 4 se tienen un engrane de 20 dientes, un piñón con 10 dientes conectado a un motor a pasos y el motor a pasos con cada paso equivalente a 1.8 grados. En las siguientes

ecuaciones se muestran la forma de obtener la relación de grados del engrane a pasos, donde Z_p corresponde a la cantidad de dientes del piñón, θ_p corresponde a los grados que se mueve el piñón, Z_e corresponde a los dientes del engrane y θ_e corresponde a los grados que se mueve el engrane.

$$Z_p \cdot \theta_p = Z_e \cdot \theta_e \quad (5.13)$$

$$10 \cdot \theta_p = 20 \cdot \theta_e \quad (5.14)$$

$$Pulsos \cdot 1,8 = 2 \cdot \theta_e \quad (5.15)$$

$$Pulsos = 1,11 \cdot \theta_e \quad (5.16)$$

Relación articulación 5 y 6

La articulación 5 y 6 al ser un sistema diferencial hay una relación entre los motores y el movimiento. Primero para el movimiento de la articulación 5 se genera si ambos motores giran en la misma orientación y se tiene un sistema que dos poleas del tipo GT2 donde la grande tiene 40 dientes, la pequeña tiene 16 dientes y en la pequeña hay un motor a pasos conectado con 1.8 grados por paso. En las siguientes ecuaciones se muestran la forma de obtener la relación de grados en la polea grande a pasos, donde Z_{pp} corresponde a la cantidad de dientes de la polea pequeña, θ_{pp} corresponde a los grados que se mueve la polea pequeña, Z_{ep} corresponde a los dientes de la polea grande y θ_{ep} corresponde a los grados que se mueve la polea grande.

$$Z_{pp} \cdot \theta_{pp} = Z_{ep} \cdot \theta_{ep} \quad (5.17)$$

$$16 \cdot \theta_{pp} = 40 \cdot \theta_{ep} \quad (5.18)$$

$$Pulsos \cdot 1,8 = 2,5 \cdot \theta_{ep} \quad (5.19)$$

$$Pulsos = 1,39 \cdot \theta_{ep} \quad (5.20)$$

Ahora la articulación 6 esta montada sobre el eje al cual se conectan la poleas grandes y cuando las poleas giran en direcciones opuestas el movimiento generado es de rotación, este sistema se compone por un engrane cónico grande o plato que tiene 30 dientes y un piñón cónico pequeño con 15 dientes. Donde en las siguientes ecuaciones se muestran la forma de obtener la relación de grados del engrane a pasos, donde Z_p corresponde a la cantidad de dientes del piñón, θ_p corresponde a los grados que se mueve el piñón donde este valor

corresponde al que se obtuvo en la ecuación 5.20 solo que $\theta_e p$ ahora corresponde al valor de θ_p y se despeja tal que queda $\frac{pulsos}{1,39}$, Z_e corresponde a los dientes del engrane y θ_e corresponde a los grados que se mueve el engrane.

$$Z_p \cdot \theta_p = Z_e \cdot \theta_e \quad (5.21)$$

$$15 \cdot \theta_p = 30 \cdot \theta_e \quad (5.22)$$

$$\frac{pulsos}{1,39} = 2 \cdot \theta_e \quad (5.23)$$

$$Pulsos = 2,78 \cdot \theta_e \quad (5.24)$$

En la tabla 5.5 se muestran las constantes de transformación de grados a pasos para cada articulación, estas constantes son el núcleo que permite la comunicación con los motores a pasos, ya que los drivers guardan los pasos como una posición, para los drivers de los motores 5 y 6 se debe tener una consideración especial ya que el movimiento de dos articulaciones depende de dos motores, ya con esto no sirve que el driver guarde la posición en pasos pues se perdería con el movimiento de cada articulación. Además otra ventaja de estas constantes es que permite corregir el sentido de rotación de las articulaciones al volverlas negativas.

Tabla 5.5. Constantes de transformación grados a pasos.

Nombre	Valor
Articulación 1	2.78
Articulación 2	17.14
Articulación 3	22.11
Articulación 4	1.11
Articulación 5	1.39
Articulación 6	2.78

Sistema diferencial

Para el sistema diferencial de la articulación 5 y 6 se tiene el problema que el movimiento primero se debe hacer para una articulación y luego para otra, porque al intentar hacer el movimiento seguido el efecto del diferencial hace que la rotación de la articulación 6 desaparezca. En la figura 5.18 se plantea la solución para esta situación mediante el uso de dos variables globales que van a guardar la posición de los motores en pasos y se va trabajar cada movimiento de la articulación como la diferencia de la anterior con la actual, de esta

manera se consigue la cantidad de pasos para realizar el movimiento sin depender la posición que ofrecen los drivers y el problema que los movimientos no se pueden hacer simultáneos se resuelve enviando la posición de pasos globales de una articulación y de la otra mientras que en el arduino primero ejecuta una y luego la otra.

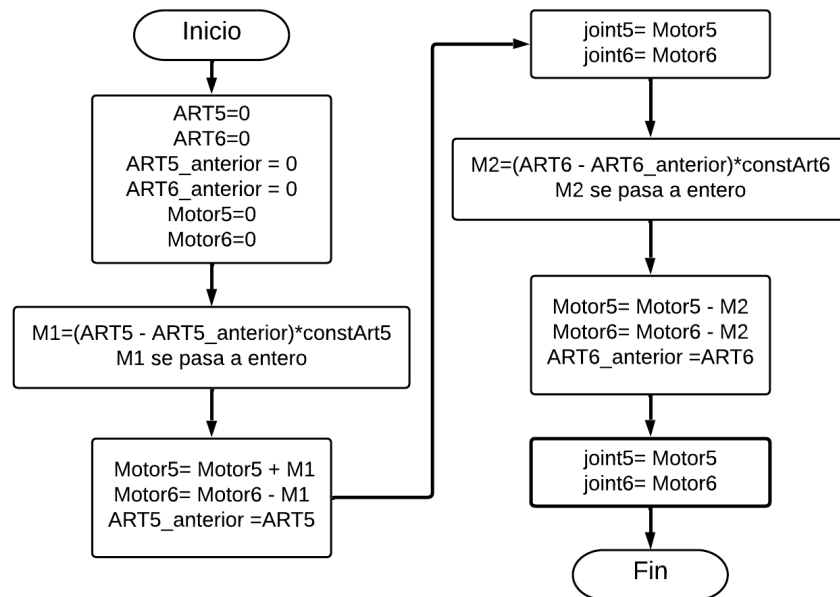


Figura 5.18. Generación del movimiento sistema diferencial.

Para enviar las articulaciones en pasos al arduino se generó el siguiente mensaje custom donde el tipo de variable para cada uno sera un entero de 16bits, además se puede ver que se tienen las variables con post al final, esto es lo que responde al problema del sistema diferencial y también se incluye una variable llamada gripperPos la cual sirve para controlar el servo, en este se escriben los grados que se desea moverlo. Este mensaje es el que se enviar al arduino para controlar el movimiento de sus actuadores.

```

int16 joint_1
int16 joint_2
int16 joint_3
int16 joint_4
int16 joint_5
int16 joint_6
int16 joint_5post
int16 joint_6post
  
```

```
int16 gripperPos
```

El código completo de este nodo se puede ubicar en los anexos de este documento, con el nombre de `joints_step_node_thor1` o `joints_step_node_thor2`. El código es funcionalmente el mismo solo que se generó doble para cada brazo, de esta manera las interfases de cada brazo son independientes.

5.5.2. Nodos de interfase: `Sensor_joints`

Este nodo como se ha mencionado anteriormente se encarga de recibir la información sin procesar del arduino. Primero se recibe la información de los sensores mediante un mensaje custom, luego se transforma cada dato utilizando una constante para obtener el valor de los codificadores mientras que para los potenciómetros se debe mover el origen y multiplicar por la constante de transformación. El mensaje custom donde se recibe la información de los sensores se muestra a continuación. Se escogió que tuviera la misma forma que el que publica los pasos para simplificar el trabajo en el arduino y además de esta manera se incluye la posición del gripper para una futura lectura de la señal analógica que se dejó en el efector final.

```
int16 joint_1
int16 joint_2
int16 joint_3
int16 joint_4
int16 joint_5
int16 joint_6
int16 joint_5post
int16 joint_6post
int16 gripperPos
```

Lectura de los codificadores

Para los codificadores se configuraron en el capítulo pasado de la forma que 2000 cuentas equivalen a 360 grados es decir que cada cuenta tiene el valor de 0.18 grados, así que los valores en grados obtenidos por los codificadores en las articulaciones 2,3 y 5 se obtiene como la lectura del codificador multiplicado por 0.18 pero en la articulación 6 se deben tomar en cuenta la constante de los engranes cónicos. Las siguientes ecuaciones muestran la forma de obtener la relación de cuentas del codificador a grados, donde Z_p corresponde a la cantidad

de dientes del piñón, θ_p corresponde a los grados que se mueve el piñón, Z_e corresponde a los dientes del engrane y θ_e corresponde a los grados que se mueve el engrane.

$$Z_p \cdot \theta_p = Z_e \cdot \theta_e \quad (5.25)$$

$$15 \cdot \theta_p = 30 \cdot \theta_e \quad (5.26)$$

$$lectura \cdot 0,18 = 2 \cdot \theta_e \quad (5.27)$$

$$\theta_e = lectura \cdot 0,09 \quad (5.28)$$

Lectura de los potenciómetros

La lectura en los potenciómetros se realiza tomando en consideración que el potenciómetro se posicionó en sus valores centrales, eso quiere decir que la lectura se debe desplazar de tal manera que el valor central sea el cero, este valor se debe obtener de forma empírica colocando los lados articulación 2 y la 4 en paralelo a la caja del circuito impreso, una vez que se conoce este valor se coloca como el cero y multiplica por la constante que se obtiene con las siguientes ecuaciones. Donde las vueltas del potenciómetro corresponden a 10 y la resolución del ADC del arduino corresponde a un valor 1024, el rango es de 0 a 1023.

$$ConsPot = \frac{360 \cdot vueltas}{resolucionADC} \quad (5.29)$$

$$ConsPot = \frac{360 \cdot 10}{1024} \quad (5.30)$$

$$ConsPot = \frac{3600}{1024} \quad (5.31)$$

$$ConsPot = 3,52 \quad (5.32)$$

Ahora para obtener la lectura en la articulación 1 se conoce que la relación de engranes es 5 según lo calculado en la sección pasada, por lo que la lectura del potenciómetro se hace como se muestra en las siguientes ecuaciones. Donde θ_p corresponde a los grados que se mueve el piñón y θ_e corresponde a los grados que se mueve el engrane.

$$\theta_p = 5 \cdot \theta_e \quad (5.33)$$

$$lectura \cdot 3,52 = 5 \cdot \theta_e \quad (5.34)$$

$$\theta_e = lectura \cdot 0,704 \quad (5.35)$$

Para obtener la lectura en la articulación 4 se hace de la misma manera que y se conoce que la relación de engranes es 2 según lo calculado en la sección pasada, por lo que la lectura del potenciómetro se hace como se muestra en las siguientes ecuaciones. Donde θ_p corresponde a los grados que se mueve el piñón y θ_e corresponde a los grados que se mueve el engrane.

$$\theta_p = 2 \cdot \theta_e \quad (5.36)$$

$$lectura \cdot 3,52 = 2 \cdot \theta_e \quad (5.37)$$

$$\theta_e = lectura \cdot 1,76 \quad (5.38)$$

Cuando se tienen las lecturas transformadas a grados estas se guardan en un mensaje de tipo `sensor_msgs/JointState Message`, la estructura de este mensaje se presentó en la sección 5.5.1. El nombre de las articulaciones se agregan al arreglo `name` y los valores de estas en el arreglo `position` manteniendo la relación respectiva de cada uno, una vez se tiene el mensaje con el formato adecuado se publica para que otros nodos del sistema utilicen la información.

5.5.3. Arduino SerialNode

Para integrar el arduino al sistema de ROS es necesario el uso del paquete `rosserial`, el cual tiene el propósito de convertir los microcontroladores en nodos, esto permite que sistema ROS pueda escribir y leer mensajes que provienen del microcontrolador. Para este proyecto el arduino mega va usarse como un nodo que va a recibir información de la posición deseada de las articulaciones en pasos como se indicó en la sección 5.5.1, también recibe la información del gripper y la información que publica es la lectura de los sensores, en el arduino no se va procesar información, así la carga del procesamiento de datos solo recae en el computador externo. En caso de querer más información sobre el paquete `rosserial` se encuentra en [63]. En el arduino se deben incluir otras librerías para simplificar el control de los motores a

pasos y la lectura de los codificadores. Las librerías utilizadas son las siguientes:

5.5.4. AccelStepper

La librería AccelStepper permite el control de motores a pasos mediante drivers con 2,3,4 pines de control e implementa funciones de aceleración y desaceleración, las funciones no bloquean el flujo del código lo que facilita el uso de codificadores mediante las interrupciones, soporta velocidades muy bajas de trabajo y la principal es que permite el control de hasta 10 motores a pasos simultáneamente. La última función mencionada es de mayor relevancia ya que permite que el movimiento del brazo sea fluido. Más información acerca de la librería se puede encontrar en [64].

5.5.5. Encoder Library

La librería Encoder permite una lectura sencilla de los codificadores de cuadratura, tiene 3 formas de trabajar el rendimiento según se conecten los codificadores donde el mejor rendimiento se consigue si ambos pines de señal del codificador se conectan a interrupciones, el rendimiento bueno se consigue si una señal se conecta a un pin de interrupción y uno digital y el rendimiento bajo se consigue si ambos pines de señal se conectan a pines digitales. Si se desea más información acerca de la librería se puede encontrar en [65].

El arduino mega solo tiene 6 pines de interrupción y se están utilizando 4 codificadores, por lo que se decidió según el nivel de importancia la asignación de pines, para el sistema diferencial se va a tener el mejor rendimiento y para las articulaciones 2 y 3 se va a tener el rendimiento bueno para aprovechar todos los pines de interrupción que se disponen.

Al robot también se le agregó una función de home o inicio con el fin de poner los codificadores en 0 y colocar al robot en una posición inicial, además que cuando el robot no se está utilizando se puede colocar en una posición de guardado y regresar a su posición de inicio rápidamente. En la figura 5.19 se muestra la función de home descrita en un diagrama de flujo.

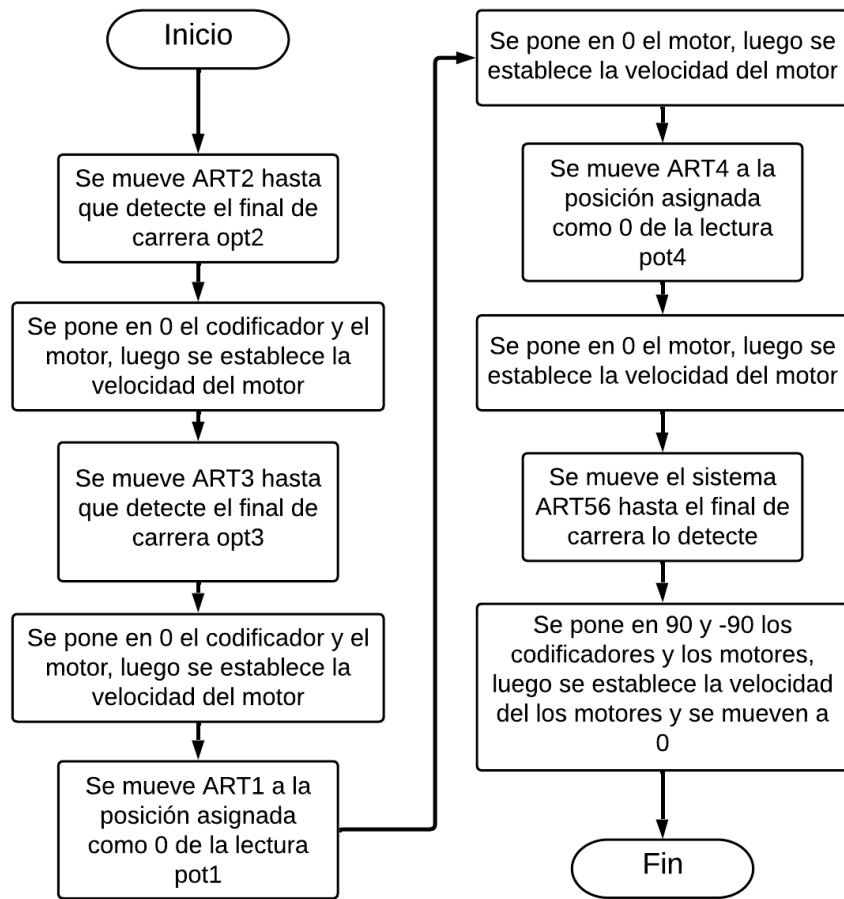


Figura 5.19. Función de home implementada.

5.6. Resultados experimentales

5.6.1. Posición alcanzada

Este experimento tuvo como objetivo determinar la precisión con la que se mueven los brazos de la plataforma robótica, las posiciones que se desean alcanzar se indican mediante el computador externo, se enviaron una serie de posiciones generadas por el mismo Moveit bajo la indicación de random valid, eso quiere decir que solo se generaron posiciones en las que el manipulador no se dañe a si mismo o los otros elementos de la plataforma. Se midió el error entre la posición enviada y la posición registrada por los sensores, donde si el error de cada articulación no superó los 5 grados se clasificó como posición alcanzada con éxito. La definición de este experimento se hizo tal que los factores controlables son el brazo a utilizar y la velocidad del movimiento, como parte de los factores no controlables se tienen

las vibraciones generadas por el movimiento de los brazos y el ruido o interferencia en los componentes. La variable de respuesta es binaria donde 1 si logro alcanzar la posición con éxito o un 0 si no logro alcanzar la posición, además se registro el error de cada articulación. El tipo de experimento realizado fue factorial completo, donde se generaron 4 posibles tratamientos y se realizaron 10 réplicas para obtener un total de 40 corridas del experimento con el fin de tener un análisis más robusto. En la tabla 5.6 se muestran los factores y los niveles definidos.

Tabla 5.6. Factores y niveles del experimento de posición alcanzada.

Factor	Nivel bajo	Nivel alto
Brazo	Thor1	Thor2
Velocidad	100 pasos/s	500 pasos/s

En la figura 5.20 se puede observar que en la articulación 3 y la 4 los errores son considerablemente con respecto de las otras articulaciones, por lo que se va realizar una explicación a detalle de cada articulación y sus posibles causantes de el error. Además de la figura 5.21 que muestra el diagrama de Pareto de los principales efectos se puede afirmar que la velocidad es un factor determinante en el error producido por las articulaciones. Y esto se da porque debido al diseño del THOR la vibración tiene el efecto negativo sobre la articulación 2 que hace que se brinquen los dientes, además se descubrió que velocidades más elevadas de 500 pasos por segundo pueden ser destructivas para el brazo, porque estando a la velocidad del nivel alto del factor algunas de las piezas crujían. También se determinó que los brazos no tienen un efecto de influencia elevado sobre el error y las diferencias se deben a la construcción del brazo, ya que a pesar de ser iguales se tienen diferencias entre componentes los componentes usados y la frecuencia con la que el brazo presentaba los efectos negativos del diseño.

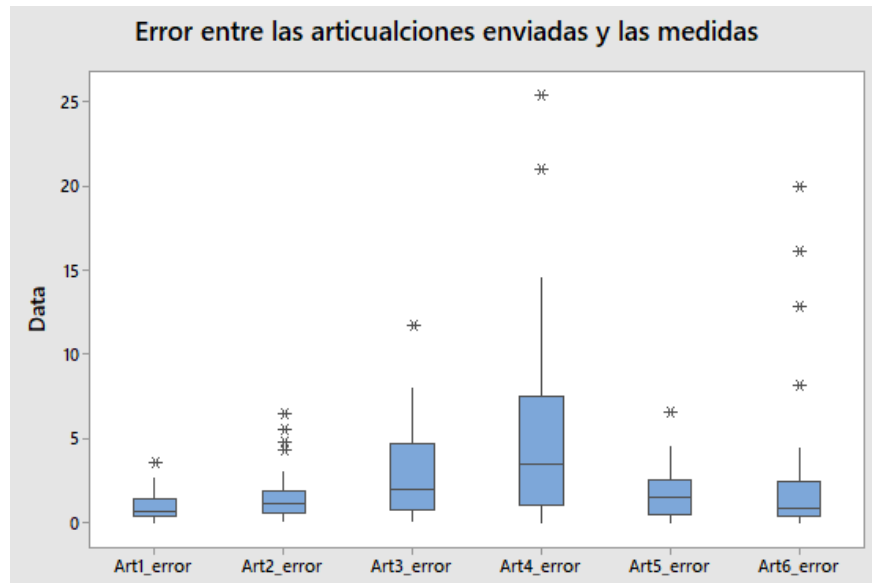


Figura 5.20. Errores en las articulaciones.

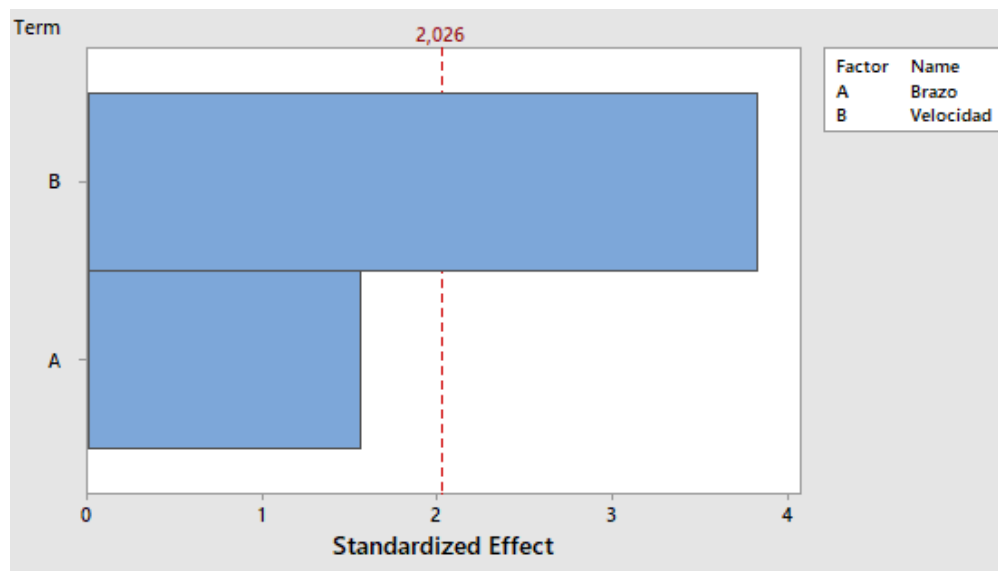


Figura 5.21. Diagrama de Pareto de los efectos del experimento.

A continuación se van a comentar cada articulación, pues el diseño del robot tiene un papel importante en los errores presentados anteriormente:

5.6.2. Error en la articulación 1

El error de la articulación 1 tiene un error promedio de 0.7 grados donde este valor esta ligado directamente a la capacidad del potenciómetro para medir ya que el valor de lectura suele cambiar en un bit ya sea por ruido en la señal o por el mismo DAC del arduino y el valor atípico que se tuvo puede estar relacionado a ruido en la señal del potenciómetro. En la figura 5.22 se muestra la gráfica de caja asociada al error de la articulación 1.

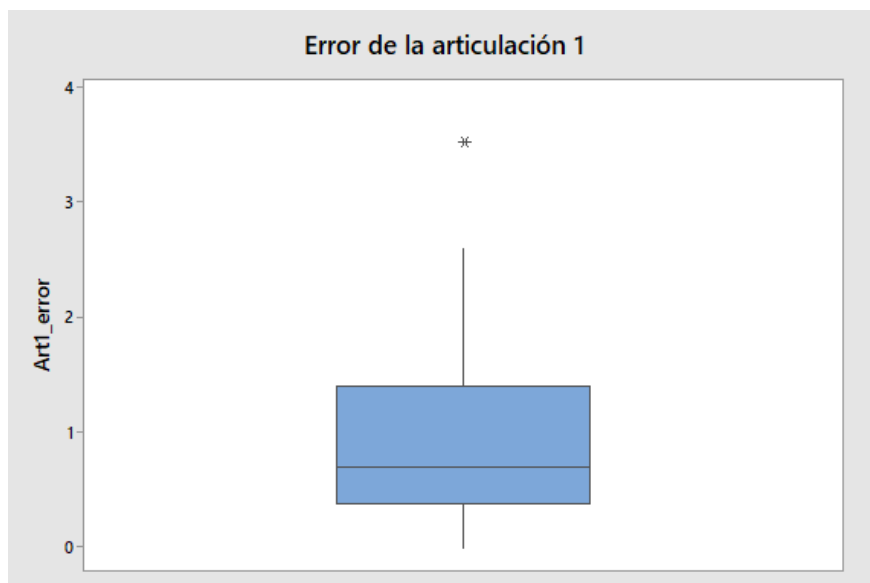


Figura 5.22. Gráfico de caja de los errores en la articulación 1.

5.6.3. Error en la articulación 2

El error de la articulación 2 tiene un error promedio de 1.12 grados donde este valor se debe tener en cuenta ya que según la resolución que se obtuvo para el codificador es de 0.18 grados por cuenta, implica que en promedio se pierden casi 7 cuentas del codificador y este error esta relacionado con el microcontrolador usado, pues se esta usando un solo microcontrolador para leer todos los sensores y ejecutar en los actuadores, también para la articulación 2 no se tenían pines de interrupción por lo que el rendimiento es bueno y al tener más codificadores que requieren de interrupciones pueden perderse cuentas si en el momento se esta ejecutando una interrupción. Los valores atípicos fueron generados cuando en la articulación se brincaron dientes consecuencia del diseño del THOR y cada vez que ocurría este salto de dientes el brazo se tenia que colocar de nuevo en la posición de inicio para reiniciar los contadores de los codificadores y que no arrastraran el error en la medida

siguiente. En la figura 5.23 se muestra la gráfica de caja asociada al error de la articulación 2.

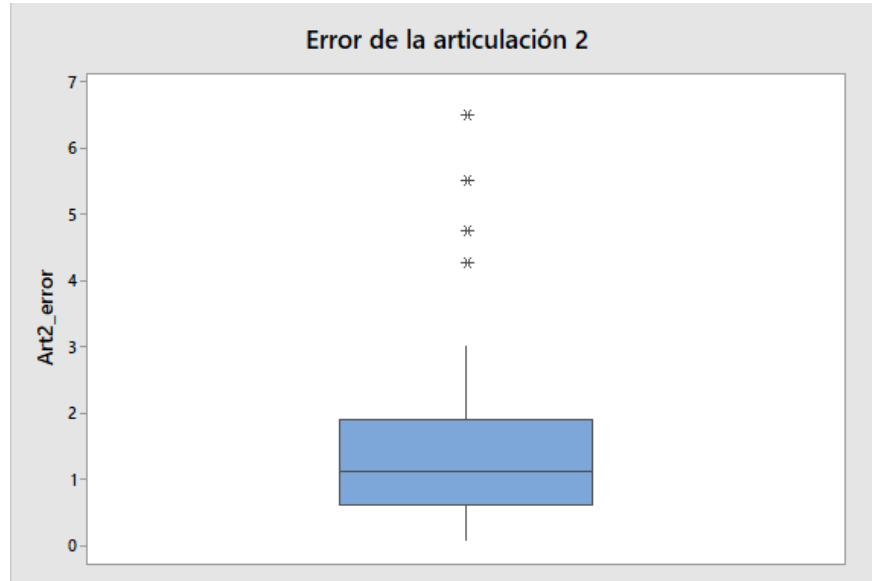


Figura 5.23. Gráfico de caja de los errores en la articulación 2.

5.6.4. Error en la articulación 3

El error de la articulación 3 tiene un error promedio de 1.99 grados, este valor se debe tener en cuenta ya que según la resolución que se obtuvo para el codificador es de 0.18 grados por cuenta, implica que en promedio se pierden casi 11 cuentas del codificador, la causa de la misma forma que la articulación 2, es la capacidad de procesamiento del microcontrolador y la falta de pines de interrupción, al no tener el mejor rendimiento el codificador va a perder cuentas. También debido a las tensoras permite que haya un movimiento ligero en la articulación que el codificador registra.

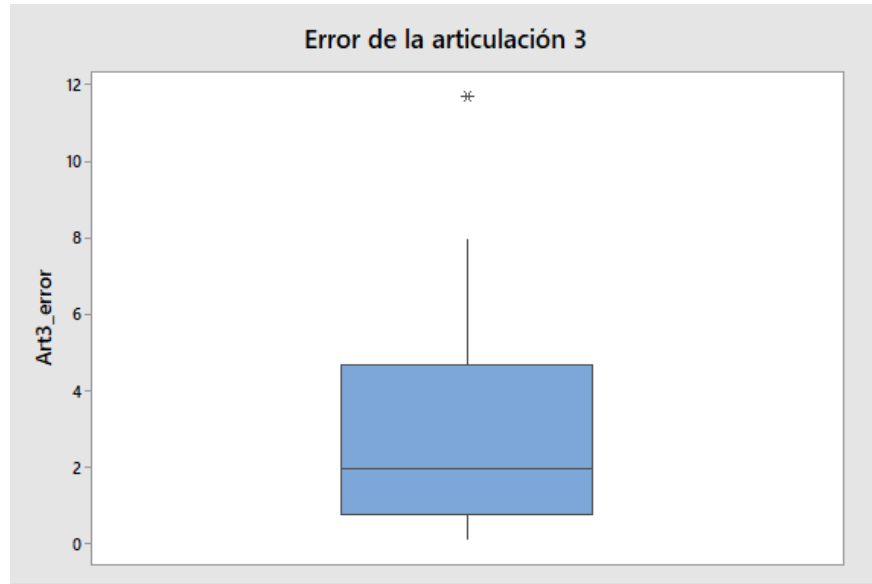


Figura 5.24. Gráfico de caja de los errores en la articulación 3.

5.6.5. Error en la articulación 4

El error de la articulación 4 es el crítico ya que sucede debido al mal diseño del THOR como se comentó en el capítulo anterior, esta articulación presenta el problema que se traba aleatoriamente, cuando esto sucede se pierde por completo la precisión y se obtienen errores de hasta 20 grados. En caso de que la articulación 4 no se trabe también se tiene un juego entre los engranes que permite un error de hasta 5 grados.

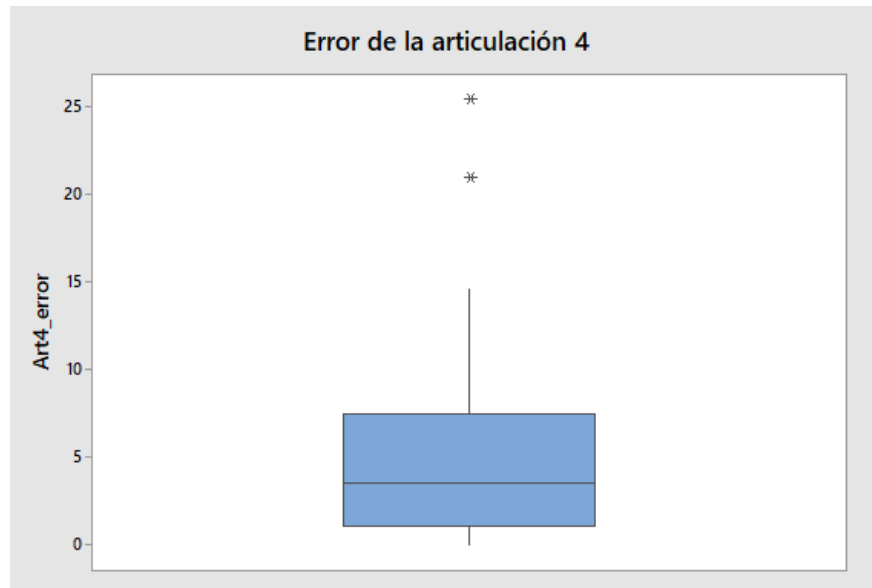


Figura 5.25. Gráfico de caja de los errores en la articulación 3.

5.6.6. Error en la articulación 5 y 6

El error de la articulación 5 y 6 se da por el tipo de sistema diferencial que lo compone, los movimientos que deben registrar los codificadores ocurren simultáneamente y el microcontrolador no puede detectarlos por completo, debido al uso de interrupciones, si el codificador 5 activa la interrupción y seguidamente el 6 intenta activar la interrupción esta se ignora por lo que la cuenta se pierde. Además para determinar la medición de la articulación 5 y 6 se deben trabajar con variables globales lo que implica que se puedan acumular las cuentas perdidas.

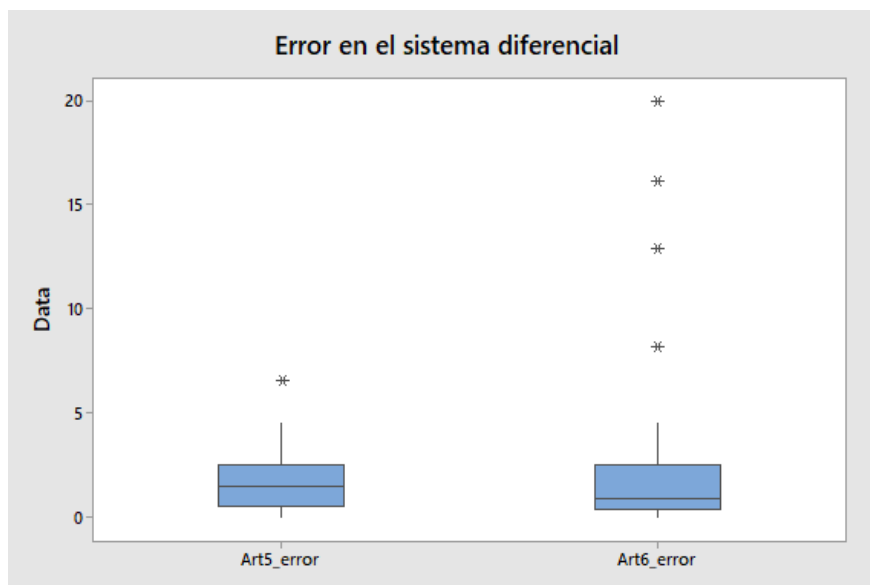


Figura 5.26. Gráfico de caja de los errores en la articulación 5 y 6.

De 40 corridas del experimento solo 19 fueron posiciones alcanzadas correctamente, este numero aumenta a 27 posiciones alcanzadas si la articulación 4 se excluye del análisis. Pero los errores de cada articulación se pueden reducir de dos maneras. La primera es corregir los problemas que presenta el diseño de THOR, primero se deberá hacer un estudio completo del brazo con el fin de optimizar su uso, como este proyecto se partió del hecho de que el brazo estaba correcto, pues fue el que se escogió para una futura implementación en el LIANA previamente a este proyecto, es que este estudio no se realizara ya que se sale del alcance del proyecto. La segunda corrección es utilizar un microcontrolador más potente como el arduino due, físicamente es igual al arduino mega (es el que usa el brazo THOR y fueron los que se adquirieron en laboratorio) pero utiliza un chip mejor, permite el uso de interrupciones en todos sus pines y tiene más memoria o usar una implementación de microcontrolador en paralelo, es decir en vez de que un solo microcontrolador se conecte a todos los sensores y actuadores cada articulación deberá tener su propio microcontrolador que trabaje como esclavo y solo se concentre en controlar una en específico.

Además el uso de microcontroladores en paralelo también puede solucionar el problema de las vibraciones excesivas al mover todas las articulaciones, como THOR originalmente usa el firmware de las impresoras 3D, solo puede mover 3 motores al mismo tiempo pero mediante el uso de ROS eso se puede evitar, el problema es que a cada motor se le indica por pulsos para que se muevan y si el arduino no es suficientemente rápido para enviar los pulsos, entonces los motores van avanzando con brincos pero si solo se controlan pocos motores este efecto

no se aprecia y es porque el microcontrolador realiza sus instrucciones de forma secuencial quedan lapsos antes de volver a indicar el paso al motor que este ya se detuvo o esta por detener por lo que el movimiento no es suave. Este proyecto se desarrolló con un arduino para responder a la necesidad sobre el uso de materiales adquiridos del laboratorio y al uso del manipulador THOR.

6.1. Desarrollo previo

En el trabajo previo realizado en laboratorio se escogieron los brazos THOR entre las opciones Niryo One, WidowX 6DoF y AR3, según el análisis realizado donde los criterios de selección de apertura de hardware y software, la capacidad de carga, la compatibilidad con ROS, el costo, la destreza y precisión, el espacio de trabajo y la sensorización dieron como ganador al THOR siendo su único aspecto negativo el no tener sensores lo que implicó su rediseño para agregarlos sin afectar en gran medida su forma original pero sus mejores puntos de evaluación fueron el costo y la apertura del hardware [4, pag. 43].

Como parte del trabajo previo también se escogió la morfología del robot, que era tener un brazo izquierdo y un brazo derecho, por este motivo se realizó la construcción de dos brazos y se probaron las capacidades de cada uno, si bien los brazos son iguales presenta diferencias en componentes o diferencias a la hora del ensamble, cosas que en una simulación es muy complicado de definir. En la figura 6.1 se muestra la forma del robot OSCAR planteado el cual consiste en una mesa del ancho de los brazos y soporte de cámara en el centro, de esta manera solo se coloca una mesa al frente donde hacer los experimentos. Se debe tener en cuenta que la separación de 500mm entre los brazos se debe mantener para que exista una concordancia y continuación del trabajo previo con el realizado en este proyecto.

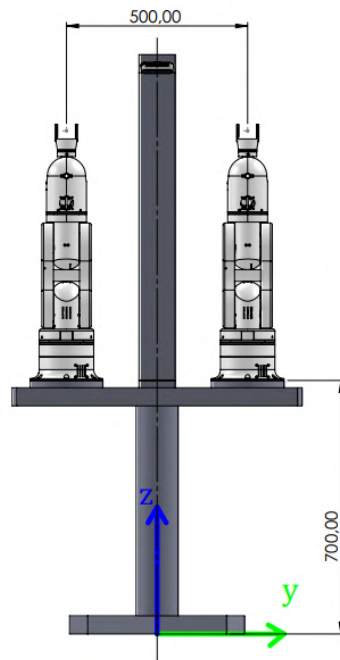


Figura 6.1. Forma que se planteo para OSCAR. [4]

En la figura 6.2 se muestra el ambiente simulado del trabajo previo y es como se busca que la plataforma física se vea, se debe tener en cuenta un aspecto importante y es que este escenario planteado se omitió la caja donde se encuentran las conexiones del robot, que entre el diseño original del THOR la diferencia es el largo de esta. Además se también se omiten las vibraciones producidas por el movimiento podrían afectar la cámara y por consecuente la precisión en la manipulación de objetos.

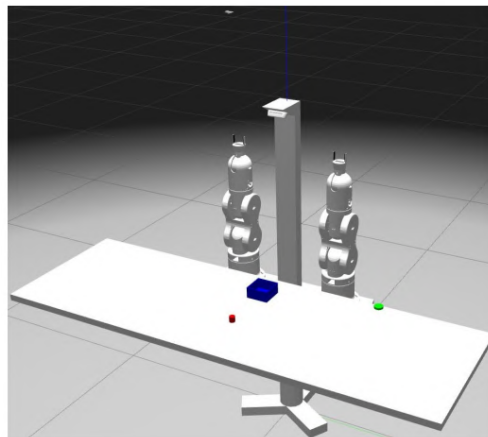


Figura 6.2. Ambiente simulado para OSCAR.[4]

6.2. Escenario

Para implantar el robot como se mostró en la sección previa se consideraron dos puntos importantes, el primero es que actualmente en laboratorio tienen mesas de trabajo pero a estas se les tendrían que hacer agujeros debido a que los brazos se deben de atornillar, el segundo es en cuidar el equipo de del laboratorio y los materiales que ofrecen, por lo que se solicitó al laboratorio conseguir una mesa que se le pudieran hacer agujeros para este propósito. De esto es que se plantearon dos escenarios posibles para montar el robot, que se explican a continuación:

6.2.1. Opción A

Se consigue una mesa, escritorio o similar que sea de 450x780mm y tenga una altura de 700mm aproximadamente, esto para poder implementar lo más cercano a lo que se planteo previamente en la simulación de OSCAR. En la figura 6.3 se muestra la propuesta de montaje, que además permite colocarse frente a otra mesa que sirva como espacio de trabajo, sin embargo este escenario tiene la siguiente desventaja principal, si la mesa del robot y la mesa de trabajo no se encuentran paralelas, entonces se pueden dar fallos a la hora de tomar objetos o colisiones no deseadas. Además se debe considerar la diferencia de alturas en las mesas de trabajo y del robot.

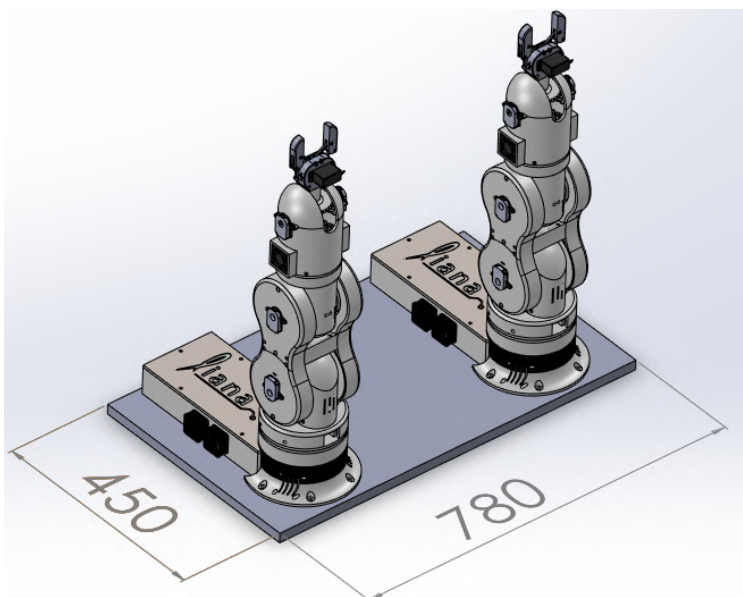


Figura 6.3. Escenario A.

6.2.2. Opción B

Se consigue una mesa, escritorio o similar que sea de 800x1500mm y tenga una altura de 700mm aproximadamente, incluso la mesa puede ser más ancha para tener un área de trabajo mayor, si se utiliza el ancho de 800 se consigue un área de trabajo de 450x1500mm aproximadamente. En la figura 6.4 se muestra esta propuesta de montaje, de esta manera se elimina la desventaja del paralelismo entre mesas pero se pierde modularidad de la plataforma y solo estaría condicionada a ese espacio de trabajo, además como todo esta en una sola mesa las vibraciones pueden afectar los objetos y desplazarlos lo suficiente para que el robot ya no los pueda sujetar.

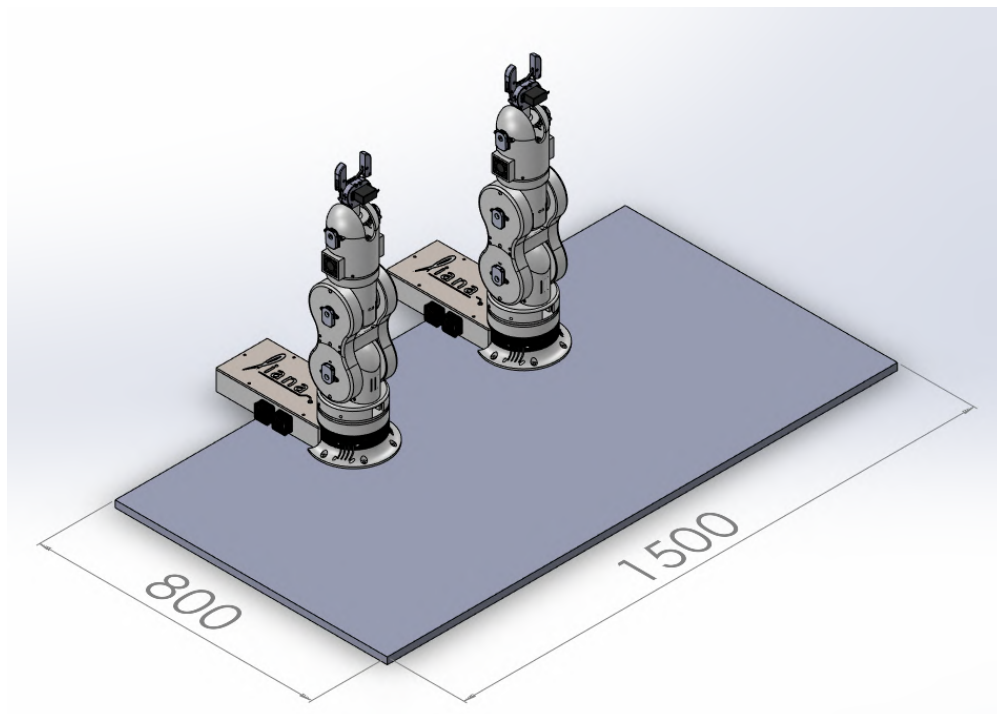


Figura 6.4. Escenario B.

A partir de los dos escenarios mencionados se le solicitó al coordinador del laboratorio escoger el escenario que más se adecuara a los intereses del laboratorio. El escenario seleccionado fue el A, ya que es el que más se acerca al planteado en el trabajo previo y permite mantener una continuidad del proyecto, además de que por el tamaño es más sencilla de conseguir. Finalmente se le solicitó al coordinador ser muy cuidadoso y exigente con la calidad y el estado de la mesa, ya que representa una importancia alta, si la superficie se vea pandeada o deforme va a producir errores, también debe ser bastante sólida y no vibre o se mueva para

que el movimiento del robot no tenga una influencia elevada en los elementos del sistema, especialmente en el soporte de la cámara que se explicara a continuación:

6.2.3. Soporte cámara

El soporte de la cámara se planteó como un ejemplo para demostrar que a la plataforma se le pueden integrar con facilidad sistemas de percepción extra para desarrollar experimentos complejos, debido a que este soporte se diseñó solo como ejemplo se deberá de colocar uno específico para el tipo experimentos que se vayan a realizar en el futuro. En la figura 6.5 se muestra el diseño del soporte de la cámara y su implementación para agregarse al robot para demostrar la capacidad que tiene la plataforma robótica. El soporte de la cámara tiene de altura 750mm y el elemento en voladizo tiene 500mm no se realizaron análisis porque la carga es una webcam que no tiene un peso significativo.

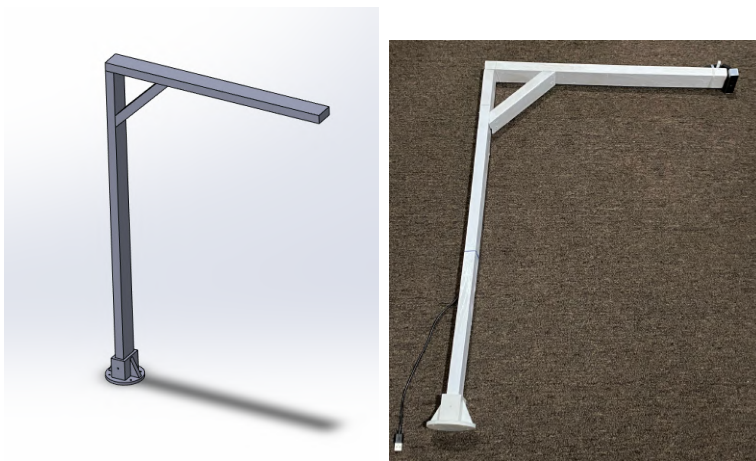


Figura 6.5. Soporte cámara para demostración.

6.3. Montaje del equipo

El montaje del equipo es crítico, debe ser idéntico a como se encuentra en el modelo que se desarrolló para ROS, para colocar los brazos y el soporte en la posición respectiva sin tener que estar realizando mediciones que pueden llevar a un error, es que se decidió hacer un patrón de las huellas de todos los elementos para colocarlos en la mesa suministrada por el laboratorio. De esta manera se elimina la necesidad de medir y el montaje se simplifica, en la figura 6.6 se muestra el patrón para la instalación el cual fue impreso en una hoja A2.

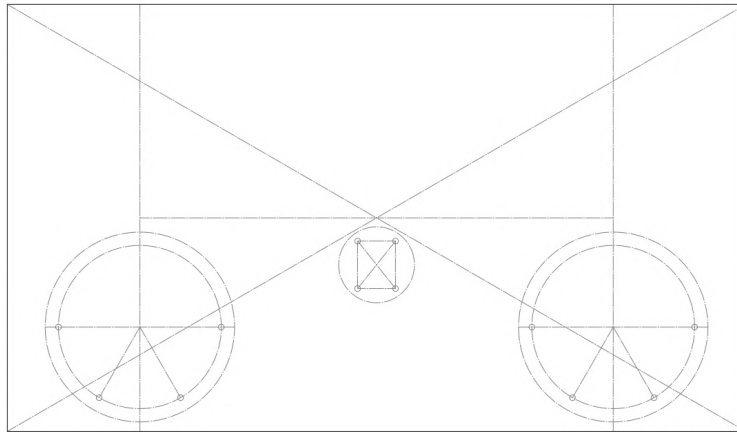


Figura 6.6. Patrón de instalación del robot OSCAR.

Para instalar el equipo se siguieron los siguientes pasos:

Paso 1

El paso 1 corresponde a colocar la marca de acuerdo a como se desean colocar los brazos, mediante la marca se evitan los problemas de medidas al ubicar los brazos y el soporte de la cámara. En la figura 6.7 se muestra como se colocó la marca.

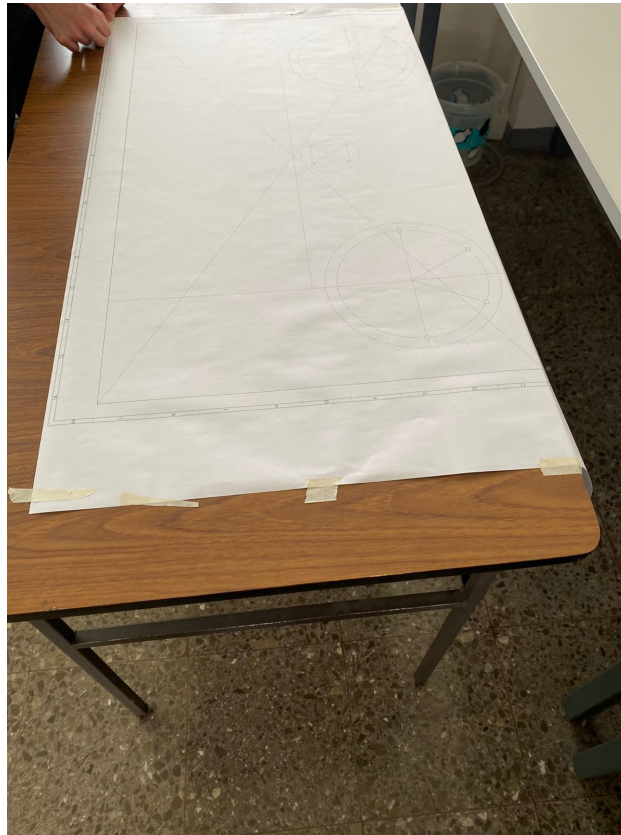


Figura 6.7. Paso 1 para el montaje del equipo.

Paso 2

El paso 2 corresponde a realizar los agujeros, primero con un centro punto se hizo la marca que mediante una taladro se retiro la cubierta lisa de plástico hasta llegar a la madera. Al final se debe retirar la marca. En la figura 6.8 se muestra como se marcaron los agujeros en la mesa.

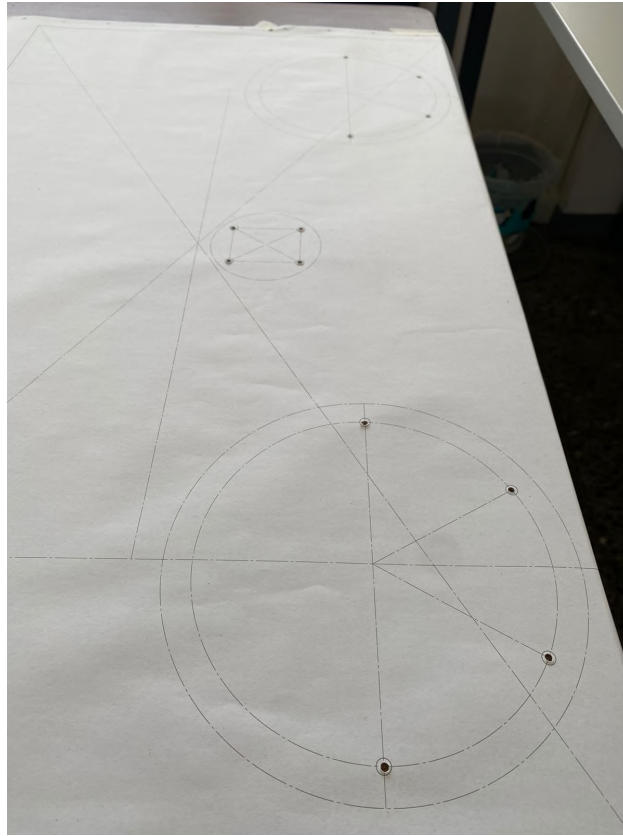


Figura 6.8. Paso 2 para el montaje del equipo.

Paso 3

El paso 3 corresponde a realizar a la instalación de los brazos, los cuales se deben colocar según la marca de los agujeros y asegurarse mediante tornillos para madera, primero se aseguran los tornillos de los extremos y luego los del frente para que quede centrado. Este paso se repite con ambos brazos. En la figura 6.9 se muestran la instalación de los brazos en la mesa.



Figura 6.9. Paso 3 para el montaje del equipo.

Paso 4

El paso 4 y ultimo corresponde a instalación del soporte de la cámara, este se realizo como ejemplo para demostrar que el sistema tiene la capacidad de percepción pero se puede reemplazar por otra configuración de ser necesario o para experimentos futuros. El proceso de instalación es el mismo que el de los brazos, mediante tornillos de manera se asegura según las marcas realizadas. En la figura 6.10 se muestra el equipo con el soporte de la cámara instalado.



Figura 6.10. Paso 4 para el montaje del equipo.

6.4. Sistema de visión

El sistema de visión desarrollado es un ejemplo para demostrar la capacidad de la plataforma física de recibir información de percepción, gracias a la alta modularidad que tiene, permite que cualquier sistema que pueda enviarle una pose al nodo `move_group`. La pose que se envía tiene el formato de mensaje `geometry_msgs/Pose Message` y se compone de otros dos mensajes de tipo `geometry_msgs/Point` y `geometry_msgs/Quaternion`, con estos mensajes se puede determinar tanto la posición como la orientación de un objeto. Otra ventaja de la alta modularidad de la plataforma es la mejora que se puede hacer ya sea en el código al cambiar la forma de reconocer objetos o funciones que requieran menos tiempo de procesado y mejoras en la cámara por una con mayor resolución o funciones extra, mediante el sistema ROS se asigna un nodo en específico para comunicarse con otros nodos, esto permite que cambiar cámara o añadir otra se haga con gran facilidad, el nodo de la cámara envía un mensaje con el formato `sensor_msgs/Image Message`. A continuación se muestra el formato

de los mensajes para un punto en el espacio, de una orientación en el espacio y por último los de una imagen, en este ultimo se observa que de las casillas las más significativas son el ancho y largo en píxeles, el tipo de codificación se refiere si es en escala de grises, RGB o BGR y el arreglo data es de 8bits para representar los valores que se tienen en las imágenes. En [66] se puede encontrar más información sobre el paquete `sensor_msgs`.

```
float64 x
float64 y
float64 z

float64 x
float64 y
float64 z
float64 w

std_msgs/Header header
uint32 height
uint32 width
string encoding
uint8 is_bigendian
uint32 step
uint8[] data
```

La solución del sistema de visión en bloques se observa en la figura 6.11 donde primero se recibe la imagen del nodo cámara, luego esta se pasa al espacio de color HSV y se hace un filtrado por media para eliminar o reducir el posible ruido en la imagen. Se aplica la segmentación por HSV para crear una mascara del objeto segmentado para obtener los contornos, mediante los contornos se encuentra el centro y la rotación, mediante el centro se transforman a coordenadas para obtener la posición y mediante la rotación se obtiene la orientación. Finalmente se envía el mensaje de la pose al `move_group` y se imprimen las coordenadas en la imagen.

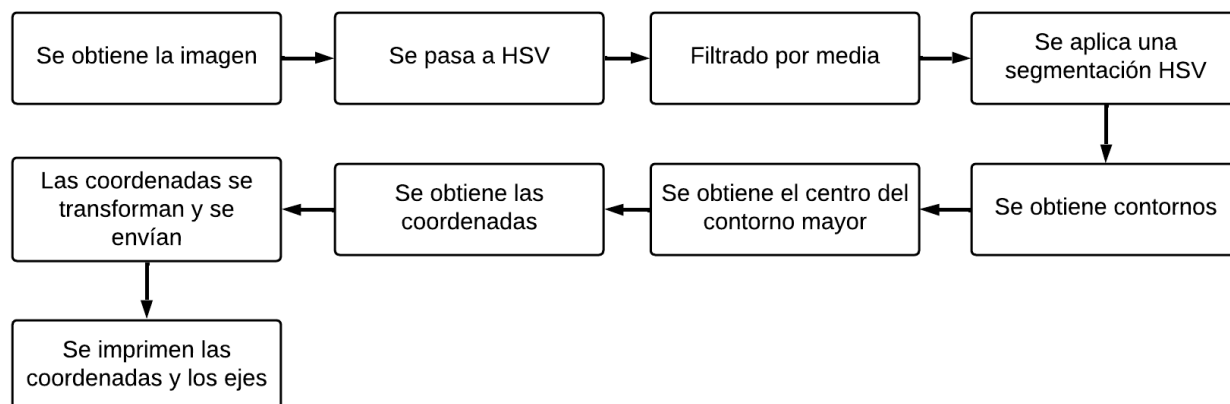


Figura 6.11. Diagrama de bloques de la solución del sistema de visión.

Finalmente la ubicación que determine el sistema visión tiene que ser trasformada a los ejes de la mesa que es la referencia con la que trabajan los brazos, En la figura 6.12 se muestra el paquete TF2 de ROS que se encarga de ese problema y brinda la matriz de trasformación para cada eje o cuadro de referencia. Si se desea más información del paquete TF2 se encuentra en [67].

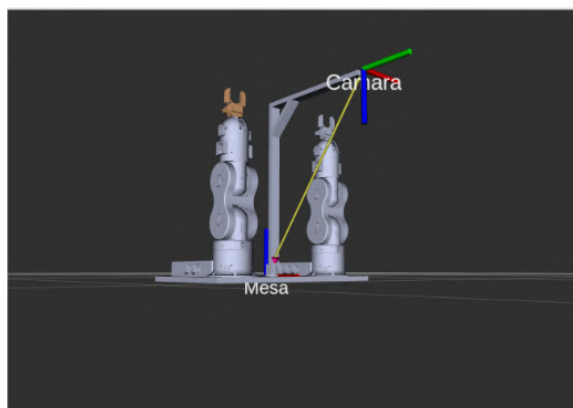


Figura 6.12. Ejes de referencia y del sistema de visión.

El código completo se puede encontrar en el apartado de códigos al final de este documento. Y este se implementó mediante OpenCV ya que ofrece funciones para realizarle filtrado a la imagen, segmentación a HSV para generar mascarar de las cuales obtener los contornos y luego obtener la ubicación de estos mediante una función que encierra en un caja, esta función se llama `minAreaRect` y se puede encontrar más información en [68].

6.4.1. Cámara utilizada

El LIANA tenía pensado usar la cámara RPI v2 debido a que es una cámara de alta resolución (3280x2464 píxeles) y bajo costo(30 dolares) para la implementación futura, pero no lograron conseguirla, ni se contaba con alguna otra cámara, debido a esto con la autorización del coordinador para el sistema de visión se utilizó una cámara webcan personal marca iMounTEK, luego el laboratorio puede colocar una de mejor calidad sin ningún esfuerzo gracias a la alta modularidad de la plataforma física.

La cámara cuenta con una resolución de 1920x1080 píxeles, una distancia focal de 4.4mm, un ángulo de visión de 60 grados y un sensor de imagen CMOS de 1/2.9. A partir de las características anteriores y que la cámara se colocó a una altura de 750mm sobre la superficie de la mesa con lo que se obtiene un campo de visión de 840.5x630.4mm y la resolución de cada eje se obtienen como se muestra en las ecuaciones 6.1 y 6.2, además para la precisión si esta se encuentra muy baja entonces se puede aplicar una calibración en la cámara para eliminar deformaciones ocasionadas por el lente, para el caso de la iluminación no se requieren lamparas o difusores pues las sombras o brillo no tienen un efecto significativo sobre la segmentación por colores mediante HSV. Si se desea más información sobre la calibración de cámaras se puede encontrar en [69].

$$Rx = \frac{840,5mm}{1920px} = 0,438 \frac{mm}{px} \quad (6.1)$$

$$Ry = \frac{630,4mm}{1080px} = 0,333 \frac{mm}{px} \quad (6.2)$$

6.4.2. Objetos a detectar

Los objetos se diseñaron con una tapa que permita al laboratorio cambiar su peso en caso de que se necesito para algún experimento futuro, además se hicieron pensando en el tamaño máximo que puede manipular el efector final del brazo THOR y se escogieron dos formas simples para los objetos. En la figura 6.13 se muestran los 4 objetos creados para ser destacados por el sistema visión, el cubo es de 50x50x50mm y el cilindro es de diámetro 50mm y altura 50mm, los colores se escogieron que fueran simples y fáciles de segmentar.

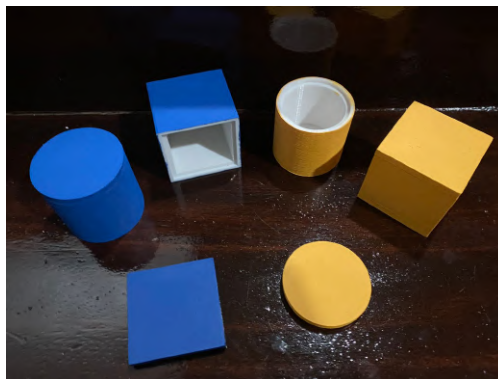


Figura 6.13. Objetos creados para el sistema de visión.

6.5. Resultados experimentales

6.5.1. Toma de objetos

Este experimento tuvo como objetivo determinar la capacidad de OSCAR para tomar objetos mediante su identificación gracias a una webcam que envía la ubicación del objeto para que sea agarrado, el objeto se coloca varias veces y se va a determinar como un éxito si el objeto es tomado y desplazado a otro lugar. Como parte de los factores controlables se tienen el color del objeto, la forma del objeto, la velocidad del brazo y el brazo a utilizar. Como factores no controlables se tienen las vibraciones del robot al moverse y el ruido o interferencia en los componentes. La variable de respuesta estudiada va a ser si logro o no cumplir la toma del objeto. El tipo de experimento es factorial completo, lo que genera 16 posibles tratamientos y se van a realizar 3 repeticiones para tener un análisis robusto con 48 corridas del experimento. En la tabla 6.1 se muestran los factores y los niveles definidos.

Tabla 6.1. Factores y niveles del experimento de toma de objetos.

Factor	Nivel bajo	Nivel alto
Brazo	Thor1	Thor2
Velocidad	100 pasos/s	500 pasos/s
Color	Azul	Amarillo
Forma	Cilindro	Cubo

El sistema de visión si se completó y tiene la capacidad de identificar el objeto sin importar su color o forma tal como se muestra en las figuras 6.14 y 6.15, se debe tener un fondo de color blanco o un color claro porque la webcam tiene una función automática que ajusta

el brillo y la saturación lo que hace que los valores ajustados en el código de segmentación no funcionen adecuadamente. La ventaja de color que se pintaron los objetos son mate por lo que su segmentación es robusta y no se afectan con la iluminación. Se dibujó el eje en el centro de la imagen indicando con el color rojo el eje x y con el verde el eje y, tal como se hace en ROS para mantener una convención.

El experimento de toma de objetos no se logró ejecutar debido a los problemas del THOR que se han explicado anteriormente, este experimento se iba desarrollar después del de capacidad de carga.

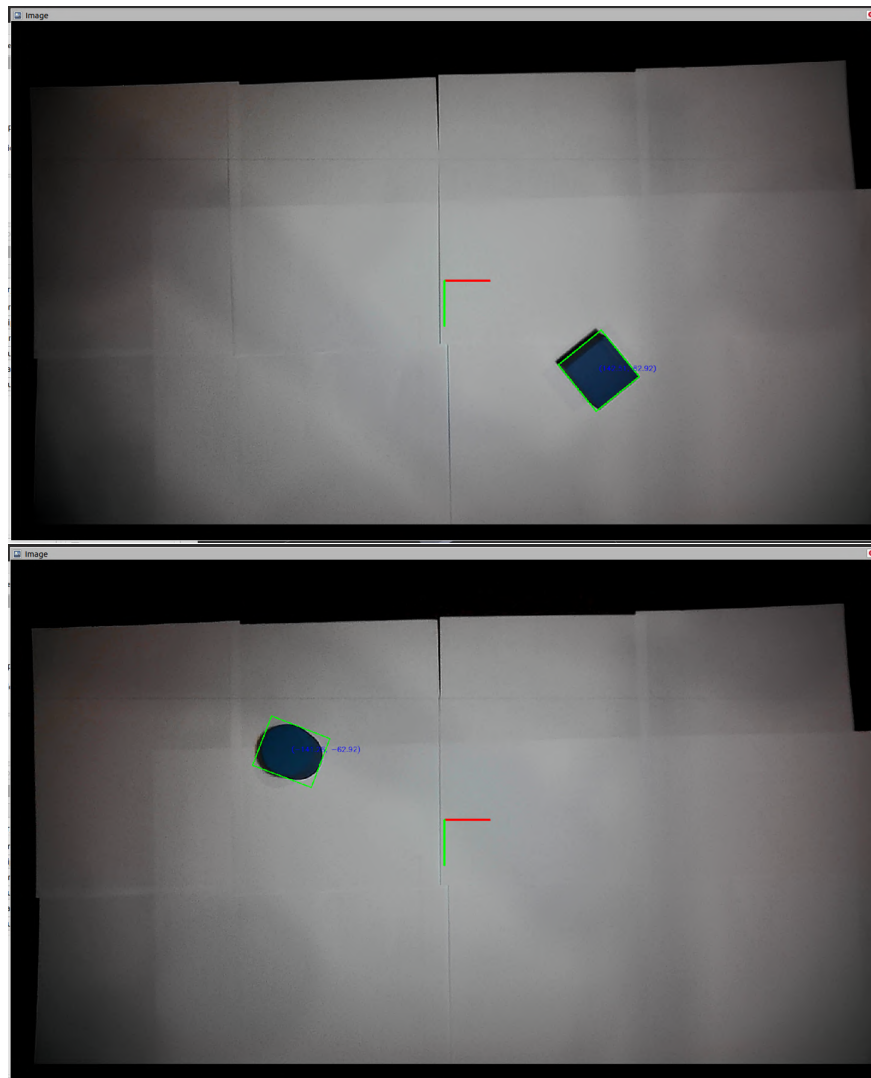


Figura 6.14. Objetos detectados del experimento color azul.

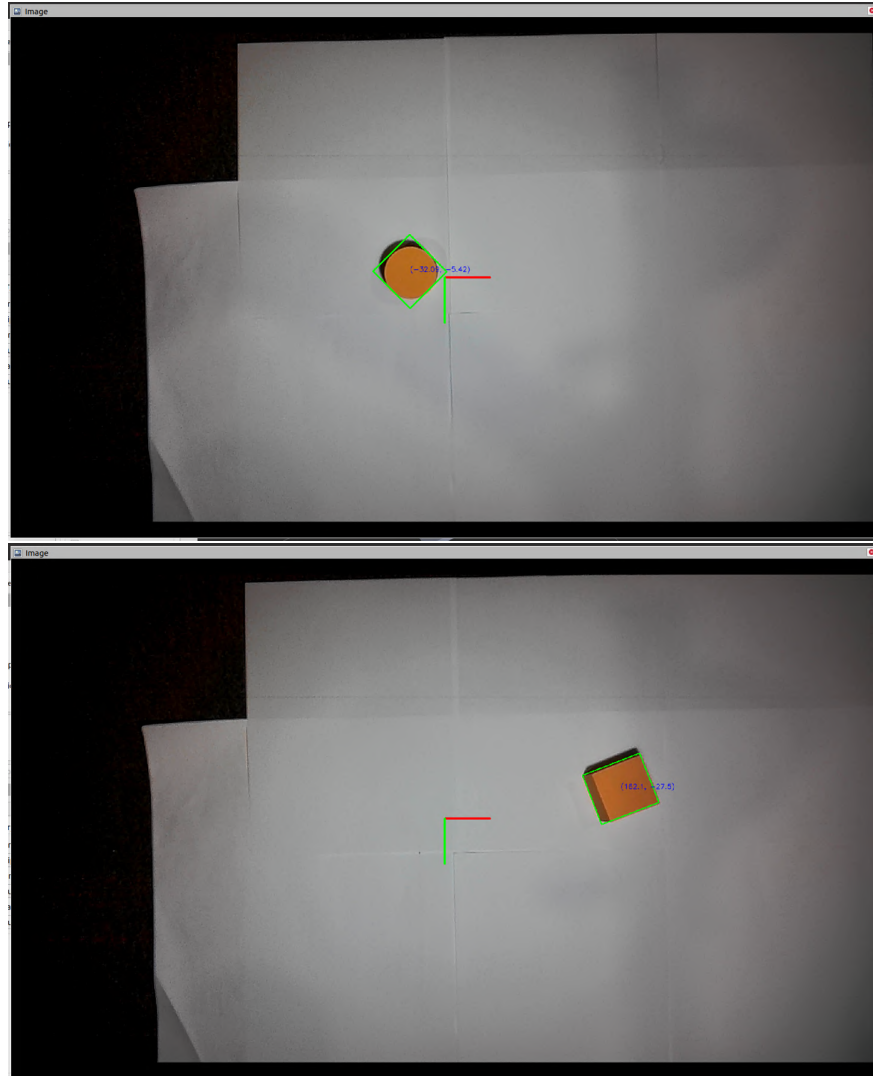


Figura 6.15. Objetos detectados del experimento color amarillo.

6.6. Resultado final

Para finalizar en la tabla 6.2 se tienen una serie de videos donde se muestran las diferentes partes del proceso de implementación. Primero se muestra partes de lo que fue el proceso de impresión 3D que se llevo a cabo en el LAIMI. El segundo video muestra el proceso de pruebas y el armado para los brazos. El tercer video muestra algunos de los aspectos del funcionamiento, mediante las posiciones enviadas por ROS y la capacidad de soportar una pesa de 1000g de forma estática. El cuarto video muestra los fallos que están ligados al brazo, empezado por el gran juego que existe entre los engranes, que contribuyen a que se pierda

precisión especialmente en la prueba de posición realizada, se muestra el problema principal de la articulación 2 al desacomodarse los engranes y como la articulación 4 se queda pegada.

Tabla 6.2. Videos del desarrollo OSCAR.

Descripción	Enlace
Proceso de impresión	https://youtu.be/ftc59exB5eU
Proceso de armado	https://youtu.be/Yj1Fsylrt0U
Funcionamiento OSCAR	https://youtu.be/aKS8qSW8G2o
Fallos del THOR	https://youtu.be/WuLi9YBxyak

En la figura 6.16 se muestra el montaje total del equipo en el laboratorio, junto con los objetos entregados para hacer pruebas futuras.

Finalmente todos los documentos del proyecto se encuentran en el siguiente enlace:
<https://github.com/ALEGOVE03/Construcci-n-OSCAR->



Figura 6.16. Montaje final en el laboratorio.

Análisis económico

Para determinar la validez del proyecto realizado se debe analizar su componente económico. En este capítulo se expondrán y analizarán los recursos invertidos durante este proyecto y sus principales beneficios aportados al laboratorio. Además, debido a que este producto se realizó con el fin de dedicarse en investigación, se analizan los beneficios científicos que la plataforma física brindan al LIANA. El análisis se compone de los costos de los materiales usados para la implementación de OSCAR. Se puede encontrar material adicional a este análisis en la sección A.5 de la bitácora de diseño del producto.

Para el desarrollo del proyecto fue importante el uso de recursos de cómputo y el uso de impresoras 3D. El equipo de cómputo utilizado para la implementación del proyecto fue: una computadora personal y una computadora portátil HP brindada por el laboratorio LIANA. Para estimar los costos de este recurso se realizó el cálculo de la depreciación mientras el proyecto se desarrolló, mostrado en la tabla 7.1. Durante las 16 semanas del proyecto el equipo de cómputo personal se depreció por 48000 colones y para el equipo HP fue por 12583. En las ecuaciones A.1 y A.2 se muestra como obtener los datos de depreciación.

Tabla 7.1. Valores de depreciación del equipo de cómputo usado. (En colones)

Activo	Valor de compra	Valor residual	Vida útil	Depreciación
Portátil HP	755 000	151 000	5 años	12 583
Computadora personal	1 200 000	192 000	5 años	48 000

El uso de recurso software también tuvo un peso significativo durante la ejecución del proyecto, pero este costo se redujo gracias al uso de software abierto en su mayoría. La única licencia requerida es de solidworks que se usó para el desarrollo de las piezas y tiene un costo

de 99 dólares mensuales para la licencia estudiantil. En el caso de fusion 360 usada para el desarrollo del PCB, su licencia se puede conseguir gratuita para estudiantes, educadores, personas que desarrollan por pasatiempo y usos no comerciales.

Para el recurso de la impresión 3D que se ofrece en el LAIMI, el costo es de 50 colones por gramo, eso quiere decir que para los brazos que pesan aproximadamente 6.5kg tendrían un costo de 325 000 colones, de los cuales mediante el dialogo con el coordinador, se llegó que para reducir el costo del servicio el laboratorio debía llevar su propio material lo que redujo los costos de producción al costo del material, para 7kg de PLA es de 151 000, se logró reducir más de la mitad los costos para las piezas.

El principal recurso invertido en este proyecto fue el tiempo de desarrollo del proyecto. Fue necesario invertir 48 horas a la semana como mínimo para la ejecución del mismo, por lo que durante las 16 semanas de duración que tuvo el proyecto se realizaron 768 horas aproximadamente de trabajo total, no se contempla el tiempo de preparación previa desde principio de año para el calculo de gastos de desarrollo pero si se debe tener en cuenta que fue necesario al ser una capacitación. El costo del tiempo de desarrollo se estimó según los salarios que dicta el Tecnológico de Costa Rica para las asistencias estudiantiles. En la tabla 7.2 se muestran los costos totales para el desarrollo de la plataforma física de OSCAR, en la sección A.5 se puede encontrar el desglose de materiales de ser necesario.

Tabla 7.2. Costos de desarrollo OSCAR. (En colones)

Descripción	Costo
Depreciación de los equipos	60 583
Licencia de software	61 875
Materiales	923 763
Desarrollo	460 800
Total	1 507 021

Ya se consideraron los recursos utilizados ahora se tratarán los beneficios que el proyecto brinda al LIANA. Se entregó al laboratorio toda la documentación de manufactura, ensamble y uso de la plataforma física, si bien aun no es capaz de realizar los experimentos deseados, la implementación actual de OSCAR es un gran avance y un punto de partida para continuar con el desarrollo en físico, ya que la construcción implica aspectos desde la administración y uso de materiales como las respectivas habilidades para tratarlos sin generar desperdicio hasta la coordinación y logística necesaria para adquirirlos. La plataforma además de permitir en un futuro las investigaciones del LIANA, también tiene el fin de ser usado en un ámbito didáctico. Permitirá que estudiantes universitarios tenga una interacción completa con robots

de esta área, pueden aprender directamente de las consideraciones necesarias para fabricar uno e incluso en posibles mejoras para hacerlos más eficientes.

Los brazos entregados al laboratorio tienen la capacidad de moverse y seguir las posiciones que se le envía por el computador, sin embargo, no se pueden utilizar de forma continua por problemas presentes en el comportamiento dinámico como se explicó previamente. Para que los brazos sean funcionales en su totalidad, se necesita un estudio completo del brazo y no se encontraba contemplado dentro de las horas invertidas en el desarrollo de este proyecto (para la manufactura e integración con ROS) pero al generarse una documentación completa y la alta modularidad con la que se desarrolló el proyecto, es que la corrección se puede realizar sin tener que empezar desde 0 la plataforma física. Además los recursos necesarios para el diagnóstico y corrección de los brazos no significan un costo extra en el presupuesto, debido a actualmente en el proyecto se han invertido 2500 dólares de los 3000 que se tenían como valor ideal. Las decisiones tomadas para implementación y todos los costos extra economizados durante el proyecto, permiten que el refinamiento del THOR se pueda realizar dentro del presupuesto.

Para finalizar el análisis económico en la tabla 7.3 se presenta una comparación del costo de la implementación física OSCAR con algunas plataformas comerciales. La información de la tabla se tomó del trabajo previo realizado en el LIANA [4], donde se realizó la misma tabla con la diferencia que era una estimación, la cual dio un costo aproximado de 3186.83 dólares y la implementación física tuvo un costo real que no supera los 2500 dólares, la reducción de este costo se ve reflejado en que para imprevistos se asignó 531.14 dólares, los cuales no fue necesario usar y ahora pueden emplearse para las correcciones del brazo, además no se toman en cuenta los costos de las cámaras porque no se lograron adquirir.

Tabla 7.3. Comparación de diversos robots comerciales con el implementado.

Métrica	Unidad	Baxter	PR2	Fetch	OSCAR
Grados libertad por brazo	Cantidad	7	7	7	6
Número de brazos	Cantidad	2	2	1	2
Alcance manipulador	mm	1210	800	940.5	750
Dimensiones máximas del objeto	mm	150	90	100	50
Peso máximo del objeto	g	2200	1800	5000	-
Costo	\$	250 000	400 000	100 000	2 500

Además la tabla 7.3 muestra los diferentes costos que tienen otros robots comerciales, si bien las características pueden variar y ser menores para OSCAR. En comparación al robot Fetch, la implementación OSCAR tiene un costo 40 veces menor y posee dos brazos. Mientras

que si se compara con el robot PR2, la implementación OSCAR tiene un costo 160 veces menor. La mayor diferencia se ve en los grados de libertad y el peso de los objetos que puede manipular, si bien son características importantes, para el LIANA no son indispensables con esos valores, pues no afectan los experimentos buscados. A pesar de la corrección necesaria de los brazos THOR la plataforma OSCAR sigue siendo más viable, además al ser una implementación propia del laboratorio, mediante los fondos de la IEEE EDS Costa Rica que permitieron el desarrollo, cuenta con toda la documentación, piezas, planos, códigos, es decir un control total y amplio del robot, lo cual no sería posible con una versión comercial.

Conclusiones

Al finalizar el proyecto se puede afirmar que se sentaron las bases de la implementación de la plataforma física OSCAR. La plataforma desarrollada hasta el momento y su documentación completa implica un avance significativo para que el laboratorio pueda realizar sus propios experimentos.

Las principales conclusiones del proyecto fueron las siguientes:

- Se determinaron las necesidades del cliente y junto con lo que se estudió del trabajo previo realizado en el laboratorio y la bibliografía complementaria como hojas de datos de componentes y documentación de THOR , resultaron en las especificaciones que guiaron el desarrollo de la plataforma física robótica.
- Se realizó el rediseño de las piezas mecánicas del THOR de manera que no se afectara su funcionamiento original y el control eléctrico se modificó solo para incluir los sensores. Se determinó que estáticamente la plataforma soporta más de 750g pero las pruebas de manipulación dinámica no se lograron completar.
- Se terminó el sistema computacional mediante ROS que permite obtener la ubicación de un objeto en el espacio de trabajo además de permitir la manipulación y monitorización del robot. Mediante las pruebas realizadas se determinó que un error de 5 grados es aceptable dentro del diseño del THOR según las posiciones enviadas por el computador externo.
- Se realizó el planteamiento del experimento y su preparación para validar la capacidad de tomar objetos pero no se pudo realizar debido a lo problemas dinámicos de los manipuladores.

- Se determinaron los problemas que afectan el brazo THOR los cuales se lograron detectar durante la etapa de validación del proyecto.

8.1. Recomendaciones

Este proyecto se realizó para implementar una plataforma robótica para realizar experimentos en robótica cognitiva y es la continuación de un proyecto más grande y al ser uno de los puntos de partida mas importantes para realizar experimentación física, se deben tener varios puntos de mejora:

- Realizar un estudio completo de los manipuladores THOR, ya que pueden existir más complicaciones latentes que en un futuro pueden afectar la capacidad de experimentación y no solo resolver las complicaciones actuales.
- Aumentar la rapidez de procesamiento del microcontrolador, usando la configuración original del THOR no es suficientemente rápido para generar un momento suave en los motores a pasos y la lectura óptima de los codificares. Una posible aproximación es el uso de microcontroladores en paralelo o un microprocesador para poder realizar las tareas de control y lectura en paralelo manteniendo todo el procesamiento en el computador externo.
- Estudiar la capacidad de los drivers actuales ya que por la naturaleza de la aplicación los motores siempre están a máxima capacidad por lo que en periodos de pruebas extensos los drivers actuales dejan de funcionar.
- Adaptar el sistema diferencial de la articulación 5 y 6 por otro arreglo que ambos movimientos no dependan de dos motores, con el sistema actual solo se permite primero hacer un movimiento y luego otro, si estos se intenta en simultaneo por la naturaleza del sistema diferencial, el movimiento de la articulación 6 se pierde por completo.
- Considerar otras opciones de manipuladores para implementaciones futuras debido a que el manipulador THOR debido a su diseño tiene un espacio de trabajo limitado.

Bibliografía

- [1] J. L. Crespo-Mariño. “Laboratorio de Inteligencia artificial para las ciencias naturales (liana).” último acceso: 03/08/22. (2018), dirección: <https://www.tec.ac.cr/unidades/laboratorio-inteligencia-artificial-ciencias-naturales-liana>.
- [2] —, “Una arquitectura de atención distribuida para agentes con sensorización multimodal,” Tesis doct., Universidade da Coruña, 2007.
- [3] G. E. Barrantes-Gómez, “Diseño de un sistema de visualización para la memoria a largo plazo en la arquitectura cognitiva Multilevel Darwinist Brain,” 2021.
- [4] E. Fallas-Hernández, “Diseño de entorno robótico como herramienta para el desarrollo de arquitecturas cognitivas,” 2021.
- [5] Plastics-Technology-México. “Conceptos básicos de manufactura aditiva.” último acceso: 17/08/22. (2016), dirección: <https://www.pt-mexico.com/articulos/conceptos-bsicos-de-manufactura-aditiva>.
- [6] A. Alcaraz-Caracheo. “LA IMPORTANCIA DE LA MANUFACTURA ADITIVA EN EL DESARROLLO DE PRODUCTOS.” último acceso: 17/08/22. (2022), dirección: <https://celaya.tecnm.mx/la-importancia-de-la-manufactura-aditiva-en-el-desarrollo-de-productos/>.
- [7] ASTM. “Committee F42 on Additive Manufacturing Technologies.” último acceso: 17/08/22. (2022), dirección: <https://www.astm.org/get-involved/technical-committees/committee-f42>.
- [8] R. PEREZ. “Las 4 tecnologías de impresión 3D más populares del mercado.” último acceso: 17/08/22. (2015), dirección: <https://tecnoimpre3d.com/4-tecnologias/>.

- [9] J. Hiemenz. “LA IMPRESION 3D CON FDM.” último acceso: 17/08/22. (2011), dirección: <https://caminstech.upc.edu/sites/default/files/FDM%5C%20I%5C%20-%5C%20Tecnologia.pdf>.
- [10] R. Kelly, V. Santibáñez y A. Loria, *Control of Robot Manipulators in Joint Space*, 1.^a ed. Springer London, 2009.
- [11] G. Sandini, A. Sciutti y D. Vernon. “Cognitive Robotics.” último acceso: 20/9/22. (2021), dirección: http://vernon.eu/publications/2021_Sandini_et_al.pdf.
- [12] R. Arrabales. “Robótica Cognitiva.” último acceso: 17/08/22. (2007), dirección: <https://www.conscious-robots.com/es/2007/08/21/robotica-cognitiva/>.
- [13] J. J. Craig, *Robótica*, 3.^a ed. Pearson Educación, 2006.
- [14] S. R. Buss. “Introduction to Inverse Kinematics with Jacobian Transpose, Pseudo-inverse and Damped Least Squares methods.” último acceso: 22/9/22. (2009), dirección: <http://graphics.cs.cmu.edu/nsp/course/15-464/Spring11/handouts/iksurvey.pdf>.
- [15] M. Mihelj, T. Bajd, A. Ude y col., *Robotics*, 2.^a ed. Springer International Publishing, 2019.
- [16] D. O. Delgado. “Qué es ROS (Robot Operating System).” último acceso: 22/9/22. (2017), dirección: <https://openwebinars.net/blog/que-es-ros/>.
- [17] W. S. Newman, *A Systematic Approach to Learning Robot Programming with ROS*. 1.^a ed. CRC Press, 2018.
- [18] R. Tellez. “What is moveit ros? All about MoveIt! ROS.” último acceso: 22/9/22. (2018), dirección: <https://www.theconstructsim.com/ros-moveit/>.
- [19] Moveit. “Planners Available in MoveIt.” último acceso: 22/9/22. (), dirección: <https://moveit.ros.org/documentation/planners/>.
- [20] H. G. Pulido y R. de la Vara Salazar, *Análisis y diseño de experimentos*, 2.^a ed. McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V, 2008.
- [21] G. Metta, L. Natale, F. Nori y col., “The iCub humanoid robot: An open-systems platform for research in cognitive development,” *Neural Networks*, vol. 23, n.º 8, págs. 1125-1134, 2010, ISSN: 0893-6080. dirección: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0893608010001619>.

- [22] J. Leitner, “A Bottom-Up Integration of Vision and Actions To Create Cognitive Humanoids,” en oct. de 2015, págs. 191-214, ISBN: 978-1-4822-4456-4. DOI: 10.1201/b19171-18.
- [23] S. M. Nguyen, S. Ivaldi, N. Lyubova y col., “Learning to recognize objects through curiosity-driven manipulation with the iCub humanoid robot,” ago. de 2013. DOI: 10.1109/DevLrn.2013.6652525.
- [24] J. R. Wilson, E. A. Krause, M. Scheutz y M. Rivers, “Analogical Generalization of Actions from Single Exemplars in a Robotic Architecture,” en *AAMAS*, 2016.
- [25] S. Mohan, J. Kirk y J. Laird, “A Computational Model for Situated Task Learning with Interactive Instruction,” jun. de 2013.
- [26] AngelLM. “Thor: OpenSource 3D printable Robotic Arm.” último acceso: 22/9/22. (), dirección: <https://hackaday.io/project/12989-thor>.
- [27] dannyvandenheuvel. “Thor’robot with addons and GUI.” último acceso: 22/9/22. (), dirección: <https://hackaday.io/project/16665-thor-robot-with-addons-and-gui>.
- [28] Sepio. “Building and improving the Thor+ robot arm.” último acceso: 22/9/22. (), dirección: <https://hackaday.io/project/26341-building-and-improving-the-thor-robot-arm>.
- [29] T. Ibarra, M. D. R. Martínez-Blanco, F. Olivera-Domingo, J. M. Ortiz-Rodriguez y J. Gomez-Escribano, “A novel optimization robust design of artificial neural networks to solve the inverse kinematics of a manipulator of 6 DOF,” mar. de 2021, págs. 838-843.
- [30] Q. Delfosse, S. Stark, D. Tanneberg y V. G. S. andJan Peters. “Open-Ended Learning of Grasp Strategies using Intrinsically Motivated Self-Supervision.” último acceso: 22/9/22. (), dirección: https://www.ai.rug.nl/oel/papers/open_ended_grasping_OEL.pdf.
- [31] K. T. Ulrich y S. D. Eppinger, *Diseño y desarrollo de productos*, 5.^a ed. McGraw-Hill, 2009.
- [32] CUI-DEVICES, “AMT10E MODULAR INCREMENTAL ENCODER,” 2021. dirección: <https://www.cuidevices.com/product/resource/amt10e-v.pdf>.
- [33] VISHAY-INTERTECHNOLOGY-INC, “Multi Turn Wirewound Potentiometer,” 2021. dirección: <https://www.mouser.com/datasheet/2/427/533534-1764019.pdf>.

- [34] H. Kondo. “PETG vs. ABS: diferencias y características clave.” último acceso: 15/08/22. (2021), dirección: <https://all3dp.com/es/2/petg-vs-abs-filamentos-3d-comparacion/>.
- [35] A. Marchante. “PLA vs PETG: ¿Qué material de impresión 3D elegir?” último acceso: 15/08/22. (2021), dirección: <https://www.3dnatives.com/es/pla-vs-petg-material-elegir-110520212/>.
- [36] COMA-COORPORATION. “Propiedades del PLA.” último acceso: 15/08/22. (), dirección: <https://sites.google.com/view/poliacidolactico-coma/pol%C3%A1cido-l%C3%A1ctico/propiedades-del-pla>.
- [37] UltiMaker. “Ficha de datos técnicos PLA.” último acceso: 15/08/22. (2017), dirección: <https://docs.rs-online.com/7ade/0900766b81698006.pdf>.
- [38] CNC-Kitchen. “The BEST 3D printing material? Comparing PLA, PETG and ASA (ABS).” último acceso: 15/08/22. (2020), dirección: <https://www.youtube.com/watch?v=ycGDR752fT0&t=21s>.
- [39] My-Tech-Fun. “PLA vs PLA+ vs PETG: Testing Eryone filaments from mechanical strength aspect.” último acceso: 15/08/22. (2021), dirección: <https://www.youtube.com/watch?v=uxSqlpJkY8M>.
- [40] J. Kočí. “Todo lo que necesitas saber sobre el relleno.” último acceso: 20/08/22. (2021), dirección: https://blog.prusa3d.com/es/todo-lo-que-necesitas-saber-sobre-el-relleno_43579/.
- [41] Tridimx. “Piezas en Impresión 3D, la Realidad de su Resistencia.” último acceso: 20/08/22. (2021), dirección: <https://www.tridimx.com/blog/piezas-en-impresion-3d-la-realidad-de-su-resistencia/>.
- [42] P.-M. Gerardo-Julián y D.-R. Marco-Antonio. “Caracterización Mecánica en un Material PLA Impreso en 3D con diferentes densidades.” último acceso: 20/08/22. (2018), dirección: <http://reini.utcv.edu.mx/bitstream/123456789/1240/1/Gerardo%5C%20Juli%C3%BAn%5C%20P%C3%A9rez%5C%20Mendoza.pdf>.
- [43] My-Tech-Fun. “3D printing bolt and thread in horizontal or vertical position - strength test.” último acceso: 15/08/22. (2020), dirección: https://youtu.be/ZiQek0wei1g?list=PL74XD1EPR_d5sRbPfb2tMtcVq1P5UYLYg.

- [44] 3D-CAD-PERU. “Trucos de diseño para mejorar tus impresiones 3D.” último acceso: 17/08/22. (2019), dirección: <https://www.3dcadperu.com/2019/02/18/trucos-de-dise%C3%B1o-para-mejorar-tus-impresiones-3d/>.
- [45] AngelLM. “GT2 open belt adjustment.” último acceso: 31/10/22. (2022), dirección: <http://thor.angel-lm.com/forums/topic/gt2-open-belt-adjustment/>.
- [46] SrFerrete. “Trucos de diseño para mejorar tus impresiones 3D.” último acceso: 17/08/22. (2019), dirección: <https://www.youtube.com/watch?v=LIp13jZ-adc>.
- [47] AngelLM. “Bearing between Art4BearingRing and Art4TransmissionColumn.” último acceso: 31/10/22. (2019), dirección: <http://thor.angel-lm.com/forums/topic/bearing-between-art4bearingring-and-art4transmissioncolumn/>.
- [48] AllegroMicroSystems. “DMOS Microstepping Driver with Translator and Overcurrent Protection.” último acceso: 17/08/22. (2014), dirección: https://www.pololu.com/file/0J450/a4988_DMOS_microstepping_driver_with_translator.pdf.
- [49] M. Klements. “How To Correctly Set The Motor Current Limit On An A4988 Stepper Motor Driver.” último acceso: 21/9/22. (2020), dirección: <https://www.the-diy-life.com/how-to-correctly-set-the-motor-current-limit-on-an-a4988-stepper-motor-driver/>.
- [50] CRCibernetica. “Stepper Motor Nema17.” último acceso: 21/9/22. (2022), dirección: <https://www.crcibernetica.com/stepper-motor-nema17/>.
- [51] —, “Stepper Motor Nema 17 (XY42STH34-0354A).” último acceso: 21/9/22. (2022), dirección: <https://www.crcibernetica.com/stepper-motor-nema-17-xy42sth34-0354a/>.
- [52] StepperOnline. “17HS13-0404S-PG5.” último acceso: 21/9/22. (2020), dirección: <https://www.omc-stepperonline.com/download/17HS13-0404S-PG5.pdf>.
- [53] Tower-Pro. “MG996R High Torque.” último acceso: 21/9/22. (2022), dirección: <https://www.towerpro.com.tw/product/mg995-robot-servo-180-rotation/>.
- [54] TexasInstrument. “A7800 SERIES POSITIVE-VOLTAGE REGULATORS.” último acceso: 17/08/22. (2003), dirección: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/LM7805.pdf>.
- [55] AngelLM. “Maximum lifting weight.” último acceso: 31/10/22. (2022), dirección: <http://thor.angel-lm.com/forums/topic/maximum-lifting-weight/>.

- [56] ROS.org. “urdf.” último acceso: 21/9/22. (2022), dirección: <http://wiki.ros.org/urdf>.
- [57] S. Brawner. “SolidWorks to URDF Exporter.” último acceso: 11/10/22. (2022), dirección: http://wiki.ros.org/sw_urdf_exporter.
- [58] Moveit. “Concepts.” último acceso: 21/9/22. (2022), dirección: <https://moveit.ros.org/documentation/concepts/>.
- [59] Orocos-Kinematics-and-Dynamics. “KDL wiki.” último acceso: 11/10/22. (), dirección: <https://www.orocos.org/kdl.html>.
- [60] Kavraki-Lab. “The Open Motion Planning Library.” último acceso: 11/10/22. (), dirección: <http://ompl.kavrakilab.org>.
- [61] S. LaValle. “About RRTs.” último acceso: 11/10/22. (), dirección: <http://lavalle.pl/rrt/about.html>.
- [62] Moveit. “MoveIt Setup Assistant.” último acceso: 11/10/22. (), dirección: https://ros-planning.github.io/moveit_tutorials/doc/setup_assistant/setup_assistant_tutorial.html.
- [63] M. Ferguson. “rosterial.” último acceso: 15/10/22. (), dirección: <http://wiki.ros.org/rosterial>.
- [64] M. McCauley. “AccelStepper.” último acceso: 15/10/22. (), dirección: <https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/accelstepper/>.
- [65] P. Stoffregen. “Encoder Library.” último acceso: 15/10/22. (), dirección: https://www.pjrc.com/teensy/td_libs_Encoder.html.
- [66] T. Foote. “sensor_msgs.” último acceso: 15/10/22. (2022), dirección: https://wiki.ros.org/sensor_msgs.
- [67] T. Foote, E. Marder-Eppstein y W. Meeussen. “tf2.” último acceso: 18/10/22. (2019), dirección: <http://wiki.ros.org/tf2>.
- [68] OpenCV. “Contour Features.” último acceso: 18/10/22. (2022), dirección: https://docs.opencv.org/3.4/dd/d49/tutorial_py_contour_features.html.
- [69] B. Gábor. “Camera calibration With OpenCV.” último acceso: 18/10/22. (2011), dirección: https://docs.opencv.org/4.x/d4/d94/tutorial_camera_calibration.html.

Parte I

Apéndices



Bitácora de diseño

A.1. Introducción

En este apéndice se muestra toda la documentación realizada durante la etapa que corresponde al diseño conceptual de la plataforma robótica. El documento está organizado siguiendo las secciones de la metodología que fue descrita en el capítulo 3 del documento principal.

En la sección de necesidades detalla la manera en la que se interpretaron las necesidades del cliente a partir de un estudio del trabajo previo y una entrevista con el cliente. La sección de especificaciones se tienen las métricas establecidas y los valores objetivos propuestos para las especificaciones.

A.2. Necesidades

Para el planteamiento de las necesidades del cliente, estas se definieron a partir de lo que se desarrolló previamente en laboratorio cuando se implementó la plataforma robótica simulada y mediante reuniones con el cliente, estas se realizaron con el fin de determinar lo que se requiere para el proyecto y para revisar posteriormente las necesidades interpretadas. De esta manera se puede continuar el desarrollo del proyecto a partir de lo existente y satisfaciendo lo que el cliente requiere.

A.2.1. Trabajo previo realizado en el LIANA

En el LIANA se empezó a trabajar en el proyecto OSCAR primero por una investigación de otras plataformas o equipo robótico en el cual se puedan desarrollar experimentos de ro-

bótica cognitiva, luego se realizó una plataforma simulada que permitiera tener un ambiente y un robot simulado del cual se pudieran generar dichos experimentos. Durante el proceso de diseño de la plataforma o herramienta de simulación se escogió la topología del robot y cuales manipuladores que utiliza, además se dejó prevista una lista de materiales, una parte ya adquirida y otra aún pendiente de adquirir, que se deberán usar para una futura implementación en físico de dicha plataforma. Mucho del trabajo realizado no definió materiales para fabricar las piezas o el método para hacerlo, sensores para medir la posición de articulaciones lo que implica modificar las piezas y hacer un control eléctrico nuevo. En la tabla A.1 se muestran las necesidades planteadas previamente para la plataforma de simulación desarrollada para el laboratorio.

Tabla A.1. Necesidades de la herramienta de simulación. [4, p. 105]

No.	Necesidades	Imp
1	La herramienta incluye la implementación de una plataforma robótica	
1.1	La plataforma robótica cuenta con capacidades de sensorización	5
1.2	La plataforma robótica tiene herramientas para la manipulación	5
1.3	La plataforma robótica tiene una morfología que le permite la manipulación ambidiestra	3
1.4	La plataforma robótica es de bajo costo	3
1.5	La plataforma robótica tiene capacidad de locomoción	2
2	La herramienta permite la obtención de datos perceptuales	
2.1	El sistema perceptual extrae características del entorno a partir de datos sensoriales	5
2.2	El sistema perceptual recibe datos mediante un sistema de visión	4
3	La herramienta es capaz de controlar las acciones ejecutadas	
3.1	El sistema de acciones permite la ejecución de movimientos básicos	5
3.2	El sistema de acciones permite la manipulación de objetos	5
4	La herramienta permite la ejecución de experimentos de aprendizaje cognitivo	
4.1	La herramienta permite ejecutar experimentos de manipulación básicos	5
4.2	La herramienta permite integrarse con una arquitectura cognitiva	5
4.3	La herramienta permite el aprendizaje de tareas por refuerzo	3
5	La herramienta se implementa en una arquitectura de software modular	
5.1	La herramienta permite el procesamiento en un computador externo	4
5.2	La herramienta permite la interfaz de sensores y actuadores con un host de procesamiento	3
5.3	La herramienta distribuye sus capacidades en módulos	3
6	La herramienta cuenta con documentación adecuada	
6.1	La herramienta tiene un manual de uso	5
6.2	La herramienta tiene documentado su diseño e implementación	4
6.3	La herramienta es de desarrollo abierto	4

A.2.2. Reunión con el cliente

En la tabla A.2 se muestran las respuestas para las preguntas planteadas al cliente después de leer y comprender todo el trabajo que se realizó, estas preguntas tienen como función principal aclarar y entender dudas acerca del proyecto, lo que se espera de este y si hubo un cambio o expectativa en alguna necesidad para la plataforma que se implementara. De esta

forma se plantearan las necesidades del cliente como una continuación del proyecto general OSCAR pero centrado en la implementación física del robot.

Tabla A.2. Entrevista con el cliente

#	Preguntas	Respuestas
1	¿A la hora de implementar el robot, el manipulador que se seleccionó previamente se sigue usando lo que implica un rediseño para agregar sensores y llegar al valor ideal de alcance o este se puede cambiar por otro manipulador?	Se debe mantener el mismo para mantener un progreso del proyecto anterior y todas las consideraciones de rediseño que se le hagan deben de estar sujetos a los componentes que se adquirieron, es decir la construcción está limitada a una lista de componentes.
2	¿Se debe de realizar la construcción del robot y replicar la programación de aprendizaje que se desarrolló previamente en laboratorio o solo es la construcción y demostrar que el robot puede manipular objetos?	El proyecto debe acabar con el robot construido y con las pruebas de caracterización necesaria como tomar objetos e identificarlos.
3	¿Las cámaras que se utilizan se mantienen igual porque para el uso de las cámaras de visión 2D aún no se habían especificado y se dejó una recomendación para una futura implementación?	Si se mantiene, pero en el laboratorio no se cuenta con cámaras específicas para el robot por lo que se deberán usar provisionalmente alguna de las cámaras que se encuentran en el laboratorio y pensando que a posteriori se pueden agregar las cámaras específicas del robot.
4	¿Cómo es un robot para el LIANA la documentación es de peso importante, como un manual de ensamble o si se desea replicar otro robot a futuro?	Efectivamente, todo tienen que estar muy bien documentado ya que es uno de los insumos más importantes del proyecto, se debe generar documentación de todos los aspectos, del proceso de ensamblaje y por lo tanto información para ayudar y permitir el desmontaje, venir perfectamente documentada las características de los componentes por si llegaran a fallar y un manual de uso que permita explicar cómo integra con alguna otra programación o como programar el robot.

A.2.3. Establecimiento de las necesidades

En la tabla A.3 se muestran las necesidades interpretadas de lo que el cliente desea, lo siguiente es realizar un análisis cualitativo que permita jerarquizar con el fin de tener un mejor

orden y clasificación de las necesidades. Así mismo, se procede a realizar un cuestionario al cliente, donde se deben clasificar las necesidades según la importancia que representen para él. En la tabla A.4 se tiene el criterio con el que se define la importancia de una necesidad.

Tabla A.3. Necesidades interpretadas

No.	Necesidades
1	El SD cuenta con 6 grados de libertad.
2	El SD tiene la capacidad de tomar objetos.
3	El SD tiene la capacidad de reconocer la posición de los objetos.
4	El SD es de bajo costo.
5	El SD cuenta con planos de sus piezas.
6	El SD cuenta con un plan de manufactura.
7	El SD está basado en software libre o desarrollo abierto.
8	El SD está compuesto de forma modular.
9	El SD cuenta con documentación de la programación.
10	El SD cuenta con instrucciones de ensamblado mecánico.
11	El SD cuenta con diagrama eléctrico de conexiones.
12	El SD cuenta con su propio circuito impreso para los actuadores y sensores.
13	El SD se conecta a un computador externo de procesamiento.
14	El SD cuenta con materiales con poco impacto ambiental.
15	El SD cuenta con una lista de materiales.
16	El SD utiliza los componentes que se encuentran en el laboratorio.
17	El SD permite el desarrollo de experimentos cognitivos.
18	El SD tiene la capacidad de conocer la posición de sus articulaciones.
19	El SD utiliza la plataforma ROS para procesar la información y controlar los movimientos.
20	El SD utiliza el manipulador THOR como base para sus manipuladores.

Tabla A.4. Escala de importancia de las necesidades y especificaciones

Valor	Significado
1	Es indeseable
2	No es importante
3	Es deseable
4	Es importante
5	Es imprescindible

En la tabla A.5 se muestran las necesidades del proyecto las cuales ya cuentan con la jerarquización y la clasificación de la importancia por parte del cliente.

Tabla A.5. Necesidades establecidas para el proyecto.

No.	Necesidades	Importancia
1	El SD cuenta con 6 grados de libertad.	5
2	El SD es de bajo costo.	3
3	El SD está basado en software libre o desarrollo abierto.	4
4	El SD permite el desarrollo de experimentos cognitivos.	
4.1	El SD tiene la capacidad de tomar y desplazar objetos.	5
4.2	El SD tiene la capacidad de reconocer la posición de los objetos.	5
4.3	El SD tiene la capacidad de conocer la posición de sus articulaciones.	5
5	El SD es inherentemente actualizable con componentes y mejoras.	
5.1	El SD cuenta con su propio circuito impreso para los actuadores y sensores.	3
5.2	El SD cuenta con materiales con poco impacto ambiental.	3
5.3	El SD utiliza los componentes que se encuentran en el laboratorio.	3
6	El SD cuenta con un alto nivel de modularidad.	
6.1	El SD se conecta a un computador externo de procesamiento.	3
6.2	El SD utiliza la plataforma ROS para procesar la información y controlar sus movimientos.	3
6.3	El SD utiliza el manipulador THOR como base para sus manipuladores.	3
7	El SD cuenta con una documentación completa.	
7.1	El SD cuenta con planos de sus piezas.	4
7.2	El SD cuenta con un plan de manufactura.	4
7.3	El SD cuenta con instrucciones de ensamblado mecánico.	4
7.4	El SD cuenta con diagrama eléctrico de conexiones.	4
7.5	El SD cuenta con documentación de la programación.	4
7.6	El SD cuenta con la lista de materiales utilizados.	4
7.7	El SD cuenta con un plan de mantenimiento.	4

A.3. Especificaciones

A.3.1. Métricas

El grado de cumplimiento de las necesidades se mide gracias al conjunto de métricas mostrado en la tabla A.6. Cada métrica se encuentra ligado a una necesidad específica y varias métricas pueden definir una sola necesidad. Para el caso de la importancia se mantiene la misma de las necesidades mostrada en la tabla A.4. Para las métricas 3, 11 y 12 se evaluará su cumplimiento mediante la suma de criterios(un punto cada uno), estas se muestran respectivamente en las tablas A.7, A.8 y A.9.

Tabla A.6. Métricas con valores marginales e ideales

No.	No. Necesidad	Métrica	Imp.	Unidad
1	1	Grados de libertad del manipulador.	5	Cantidad
2	2	Costo del robot.	3	USD
3	3	Puntuación del nivel de desarrollo abierto del robot.	4	Evaluación
4	4.1	Dimensiones máximas del objeto	5	mm
5	4.1	Peso máximo del objeto.	5	g
6	4.1	Velocidad máxima con la que mueve un objeto.	5	m/s
7	4.2	Campo de visión.	5	mm
8	4.2	Resolución del sistema de visión.	5	mm
9	4.3	Sensores usados en las articulaciones.	5	Lista
10	4.3	Resolución de sensores de posición de las articulaciones.	5	grados
11	5.1	Puntuación por facilidad en la conexión de actuadores y sensores	3	Evaluación
12	5.2	Puntuación por usar materiales con poco impacto ambiental	3	Evaluación
13	5.3	Uso de componentes del laboratorio	3	%usados/total
14	6.1	Confiabilidad en la comunicación de datos	3	%recibidos/enviados
15	6.2	Uso de la plataforma ROS	3	Binario
16	6.3	Uso del manipulador THOR	3	Binario
17	7.1-7.7	Composición detallada de la documentación del robot	4	Lista

Tabla A.7. Evaluación para el nivel de desarrollo abierto del robot. Adaptado de [4, p. 107]

Criterio	Descripción
a	Archivos CAD disponibles.
b	Archivos CAD editables.
c	Manual de ensamble mecánico disponible.
d	Manual de ensamble mecánico editables.
f	Manual de conexiones eléctricas disponible.
g	Manual de conexiones eléctricas editable.
h	Lista total de materiales necesarios.
i	Manual de usuario y programación disponibles.
j	Código del robot disponible.
k	Uso comercial permitido.

Tabla A.8. Evaluación por la facilidad en la conexión de actuadores y sensores

Criterio	Descripción
a	Cables cuentan con conectores.
b	Cables están identificados adecuadamente.
c	El PCB cuenta con identificación apropiada.
d	El PCB cuenta con los conectores necesarios.

Tabla A.9. Evaluación por el uso de materiales con poco impacto ambiental

Criterio	Descripción
a	Los materiales se pueden reciclar con facilidad.
b	No se usan aceites o lubricantes sintéticos.
c	No se utilizan químicos peligrosos o dañinos.
d	El plástico utilizado en las piezas no es altamente contaminante.
e	Los desechos durante la manufactura se redujeron al máximo.

Tabla A.10. Documentación completa

Num.	Descripción
1	Conjunto de planos de las piezas.
b	Plan de manufactura de las piezas.
c	Instrucciones de ensamble mecánico del manipulador.
d	Diagrama eléctrico de conexiones y circuito impreso.
e	Documentación de la programación.
e	Lista de materiales del proyecto.
e	Plan de mantenimiento del manipulador.

A.3.2. Valores objetivo

En la tabla A.11 se muestran los valores objetivo planteados para cada una de las métricas establecidas. Los valores se establecieron utilizando información que se recabó previamente en el laboratorio, ya que se había realizado una comparativa de diferentes plataformas robóticas y se plantearon unas métricas finales al finalizar el trabajo. También se determinaron según las capacidades físicas que tendrán los componentes a utilizar. En la tabla se tienen los comentarios al establecer el valor que se le dio a cada métrica.

Tabla A.11. Métricas con valores marginales e ideales

No.	No. Nec	Métrica	Imp.	Unidad	Val.marginal	Val.ideal
1	1	Grados de libertad del manipulador.	5	Cantidad	> 6	> 6
2	2	Costo del robot.	3	USD	< 3186	< 3000
3	3	Puntuación del nivel de desarrollo abierto del robot.	4	Evaluación	> 8	10
4	4.1	Dimensiones máximas del objeto	5	mm	> 25	> 50
5	4.1	Peso máximo del objeto.	5	g	> 25	> 50
6	4.1	Velocidad máxima con la que mueve un objeto.	5	m/s	> 0,25	> 0,5
7	4.2	Campo de visión.	5	mm	> 500x650	> 1000x1300
8	4.2	Resolución del sistema de visión.	5	mm	< 1,5	< 1
9	4.3	Sensores usados en las articulacio- nes.	5	Lista	Codificador Potenciómetro	Codificador Potenciómetro
10	4.3	Resolución de sensores de posición de las articulaciones.	5	grados	< 1,8	< 0,9
11	5.1	Puntuación por facilidad en la cone- xión de actuadores y sensores	3	Evaluación	> 2	4
12	5.2	Puntuación por usar materiales con poco impacto ambiental	3	Evaluación	> 3	5
13	5.3	Uso de componentes del laboratorio	3	%usados/total	> 90	100
14	6.1	Confiabilidad en la comunicación de datos	3	%recibidos/enviados	> 90	> 95
15	6.2	Uso de la plataforma ROS	3	Binario	Pasa	Pasa
16	6.3	Uso del manipulador THOR	3	Binario	Pasa	Pasa
17	7.1-7.7	Composición detallada de la docu- mentación del robot	4	Lista	Ver tabla A.10	Ver tabla A.10

Tabla A.12. Comentarios de los valores establecidos

No.	Métrica	comentario
1	Grados de libertad del manipulador.	Los grados de libertad están definidos por el diseño del manipulador y así lo desea el cliente.
2	Costo del robot.	El valor se había aproximado como una futura implementación en el trabajo previo.
3	Puntuación del nivel de desarrollo abierto del robot.	La evaluación se planteo en el trabajo previo pero se modifiko para abarcar otros aspectos importantes.
4	Dimensiones máximas del objeto	Este valor se definió en el trabajo previo y también esta ligado a la capacidad del pinza del robot.
5	Peso máximo del objeto.	Este valor esta definido por la capacidad física del manipulador.
6	Velocidad máxima con la que mueve un objeto.	Valores definidos en el trabajo previo y también se ven definidos por la capacidad física del manipulador.
7	Campo de visión.	Este valor se definió en el trabajo previo.
8	Resolución del sistema de visión.	Este valor se definió en el trabajo previo.
9	Sensores usados en las articulaciones.	Se colocaron los que la mayoría de manipuladores usan en sus articulaciones.
10	Resolución de sensores de posición de las articulaciones.	Este valor se definió según la resolución de los motores al dar un paso.
11	Puntuación por facilidad en la conexión de actuadores y sensores	Los aspectos se basaron en que sea fácil conectar y desconectar, también que se evite llegar a quemar o dañar algún componente por una mala conexión.
12	Puntuación por usar materiales con poco impacto ambiental	Los aspectos se basaron en que la herramienta no genere un gran impacto ambiental.
13	Uso de componentes del laboratorio	Es uno de los intereses principales del laboratorio, se busca que estos componentes se aprovechen al máximo.
14	Confiabilidad en la comunicación de datos	Se espera que la comunicación de los módulos y el host tengan una alta confiabilidad.
15	Uso de la plataforma ROS	Se definió en el trabajo previo y lo desea el cliente.
16	Uso del manipulador THOR	Se definió en el trabajo previo y lo desea el cliente.
17	Composición detallada de la documentación del robot	La documentación debe ser altamente detallada de forma que permita a terceros poder entender y trabajar en el proyecto sin inconvenientes.

A.4. Estudio de conceptos

A.4.1. Descomposición funcional

Las siguientes figuras muestran las descomposiciones funcionales utilizadas para facilitar la generación de conceptos. La figura A.1 muestra la descomposición principal del proyecto en dos grandes subsistemas, uno hace referencia al hardware del robot y la otra al software. En la figura A.2 se observa la descomposición funcional del subsistema *plataforma robótica* de las señales donde las cajas en verdes representan las partes del manipulador existentes y las cuales se deben de modificar para acoplar las cajas en gris o sensores. Además, el módulo de control debe ser capaz de controlar los motores existentes del manipulador y recibir la información de los sensores, este módulo también recibe y envía información del host de procesamiento externo. Mientras en la figura A.3 se muestra la interacción de la energía y material, este último se mueve en el ambiente de trabajo gracias al efector final del manipulador.

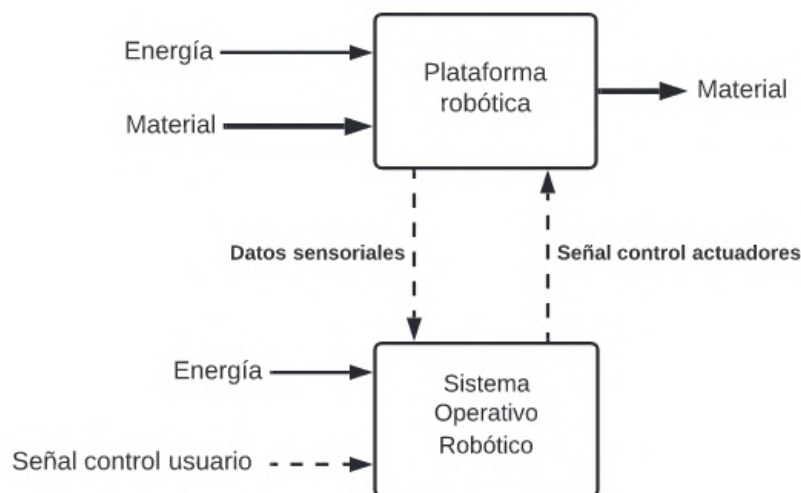


Figura A.1. Diagrama de bloques de los subsistemas del proyecto. (Misma que la figura 3.3) Elaboración propia.

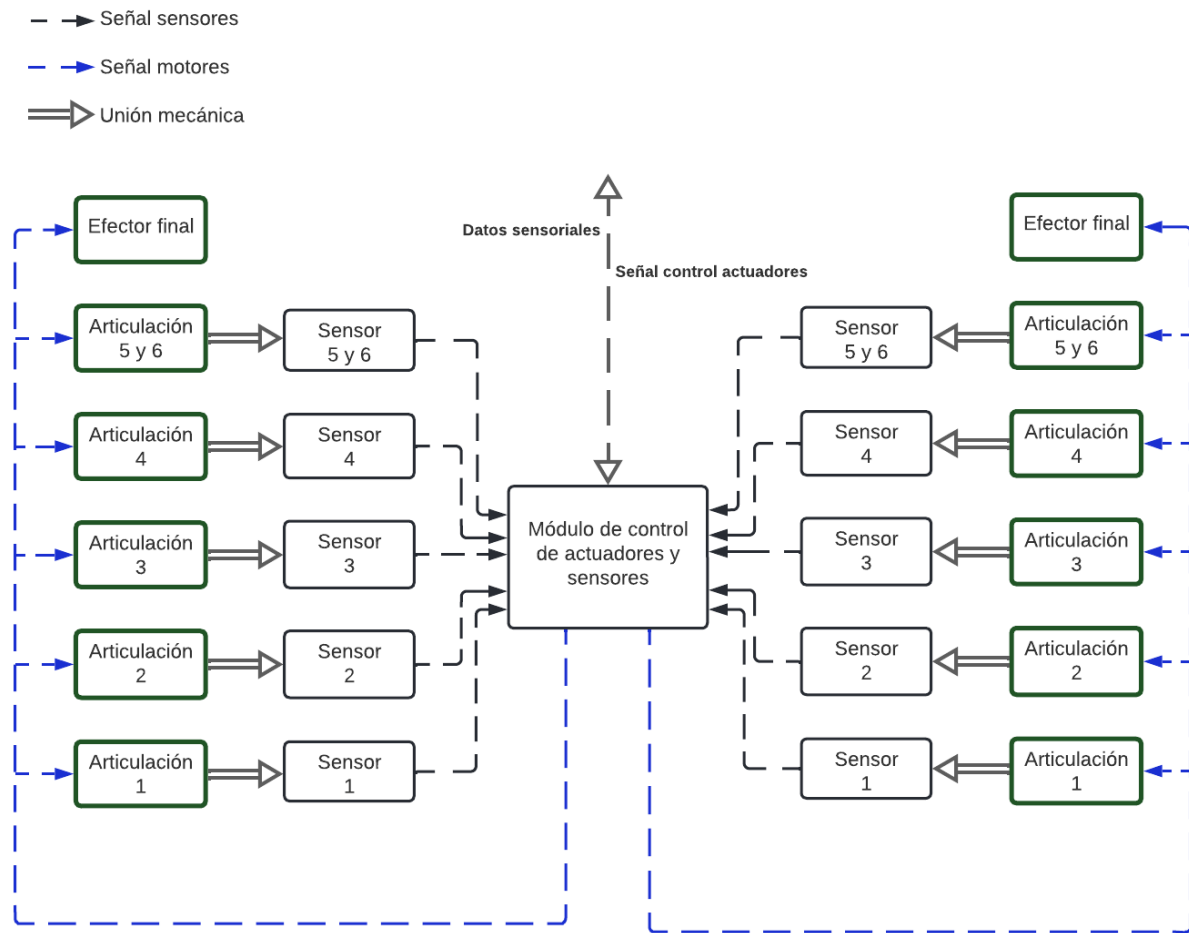


Figura A.2. Descomposición funcional de las señales del subsistema *plataforma robótica*. Elaboración propia.

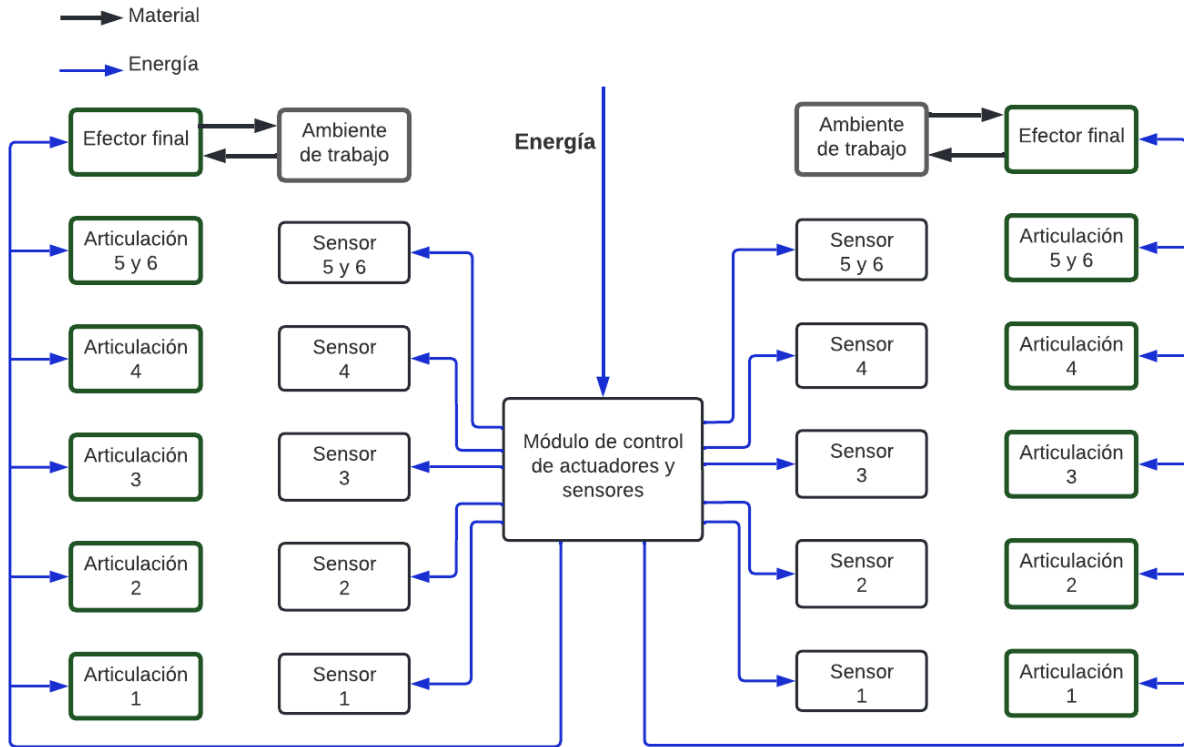


Figura A.3. Descomposición funcional de material y energía del subsistema *plataforma robótica*. Elaboración propia.

A.4.2. Plataforma robótica: Fragmentos de conceptos

Para los subproblemas mostrados en la descomposición funcional de la figura A.2 se desarrollaron fragmentos de conceptos, los cuales se clasificaron mediante arboles mostrados en las figuras A.4-A.7, se debe destacar que se decidió hacer un solo árbol para los subproblemas sensor 4 y sensor 1 debido a su similitud, lo mismo ocurrió para sensor 3 y sensor 2. Los fragmentos de conceptos se marcaron en negrita por cada árbol para ser usados posteriormente. En la figura A.8 se muestra la matriz de combinación de conceptos formada a partir de los fragmentos de conceptos.

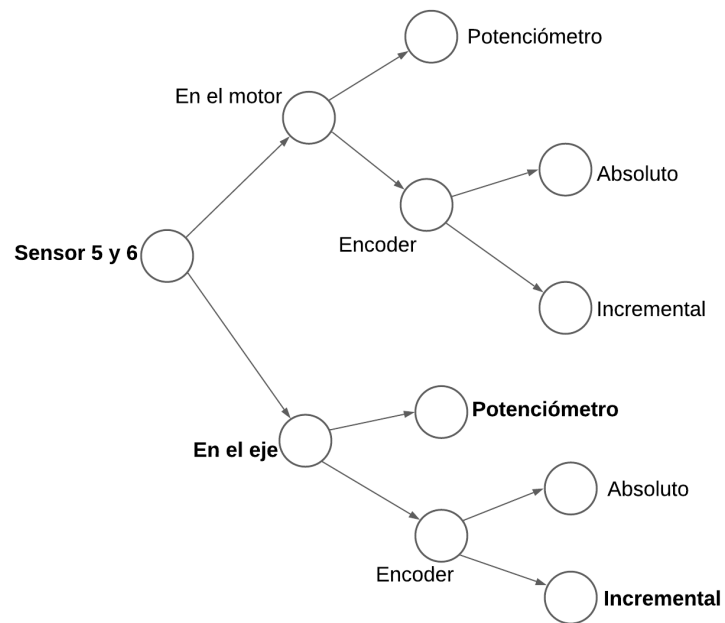


Figura A.4. Árbol de clasificación del problema *Sensor 5 y 6*.

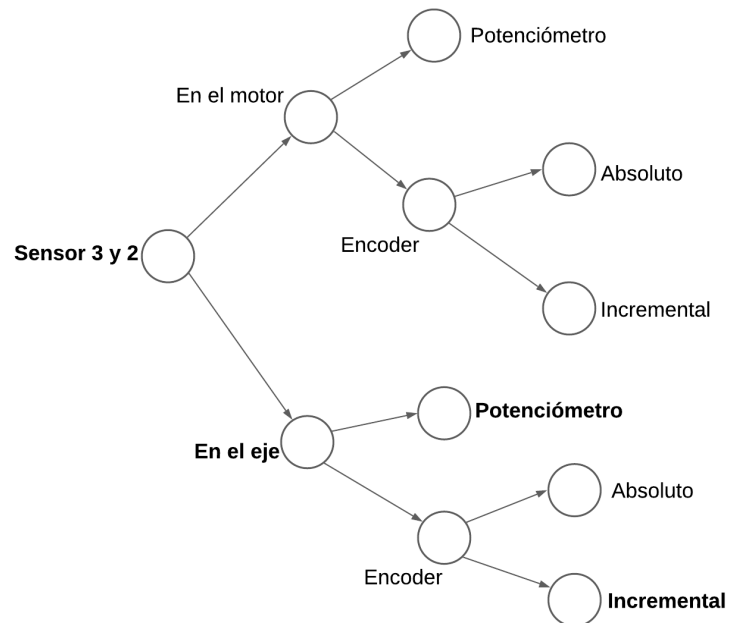


Figura A.5. Árbol de clasificación del problema *Sensor 3 y 2*.

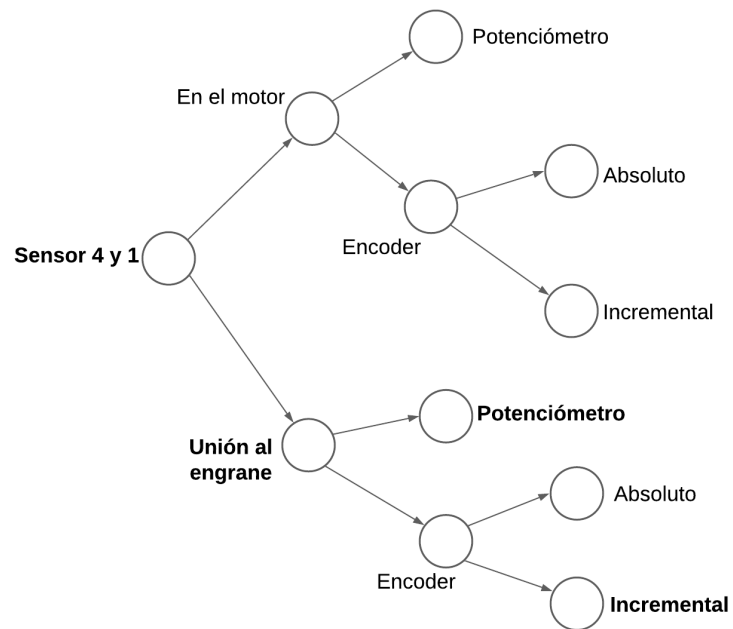


Figura A.6. Árbol de clasificación del problema *Sensor 4 y 1*.

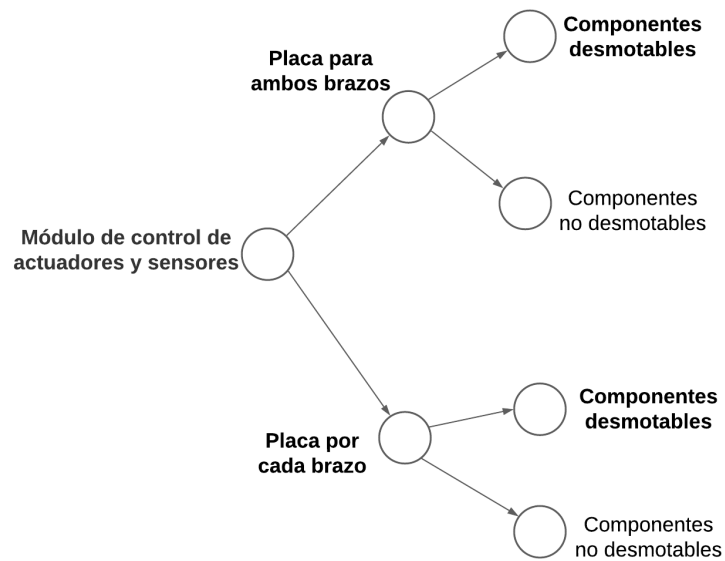


Figura A.7. Árbol de clasificación del problema *módulo de control*.

Sensor 5 y 6	Sensor 3 y 2	Sensor 4 y 1	Módulo de control
Potenciómetro en eje	Potenciómetro en eje	Potenciómetro unión engrane	Placa para ambos brazos
Encoder incremental en eje	Encoder incremental en eje	Encoder incremental unión engrane	Placa por cada brazo

Figura A.8. Matriz de combinación de fragmentos.

A.4.3. Plataforma robótica: Conceptos

Concepto A

Sensor 5 y 6	Sensor 3 y 2	Sensor 4 y 1	Módulo de control
Potenciómetro en eje	Potenciómetro en eje	Potenciómetro unión engrane	Placa para ambos brazos
Encoder incremental en eje	Encoder incremental en eje	Encoder incremental unión engrane	Placa por cada brazo

Figura A.9. Matriz de combinación de fragmentos del concepto A.

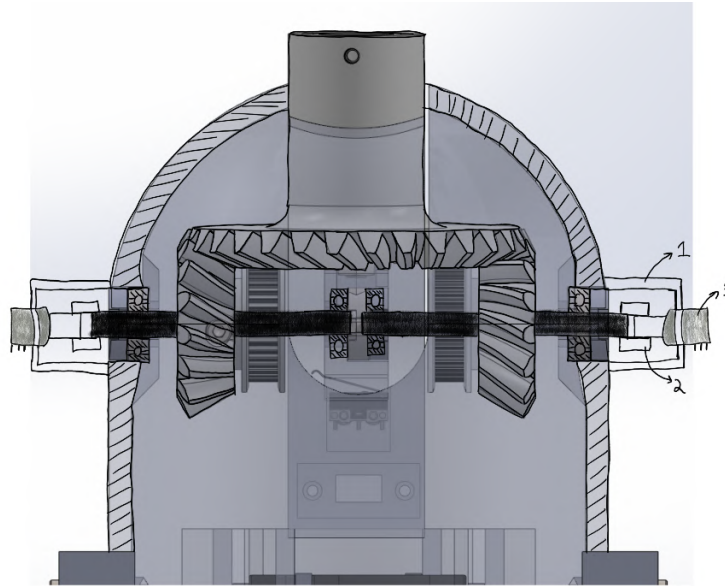


Figura A.10. Boceto de la articulación 5 y 6 del concepto A.

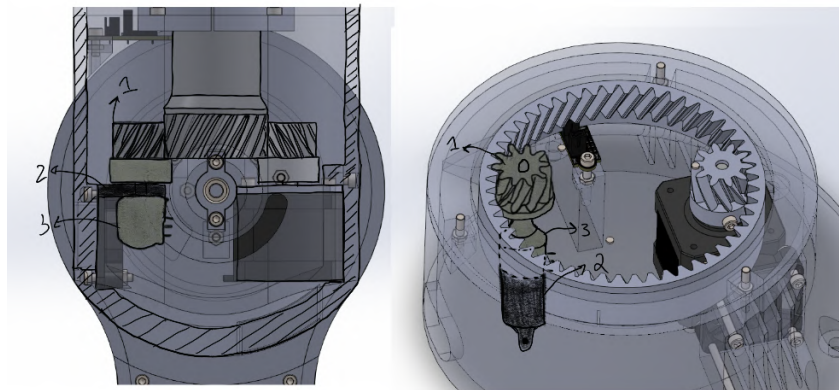


Figura A.11. Boceto de la articulación 4 y 1 del concepto A.

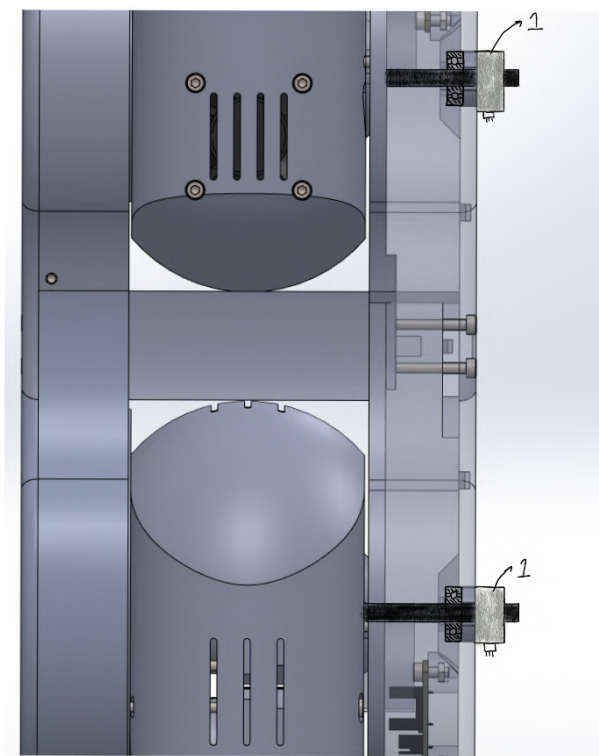


Figura A.12. Boceto de la articulación 3 y 2 del concepto A.

Concepto B

Sensor 5 y 6	Sensor 3 y 2	Sensor 4 y 1	Módulo de control
Potenciómetro en eje	Potenciómetro en eje	Potenciómetro unión engrane	Placa para ambos brazos
Encoder incremental en eje	Encoder incremental en eje	Encoder incremental unión engrane	Placa por cada brazo

Figura A.13. Matriz de combinación de fragmentos del concepto B.

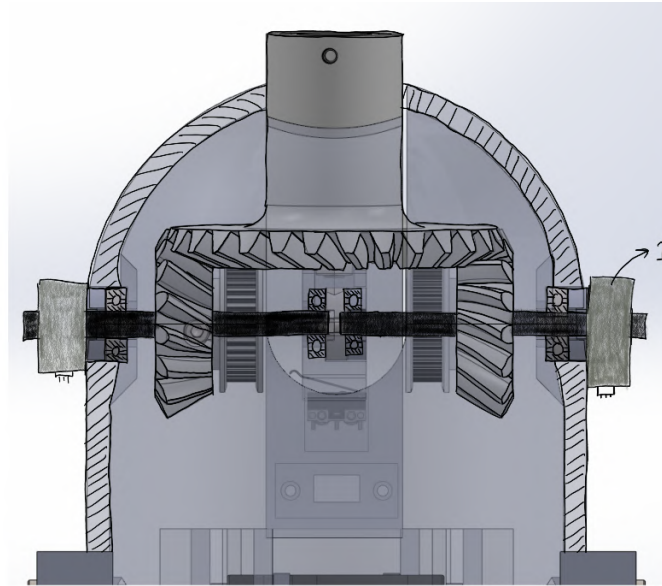


Figura A.14. Boceto de la articulación 5 y 6 del concepto B.

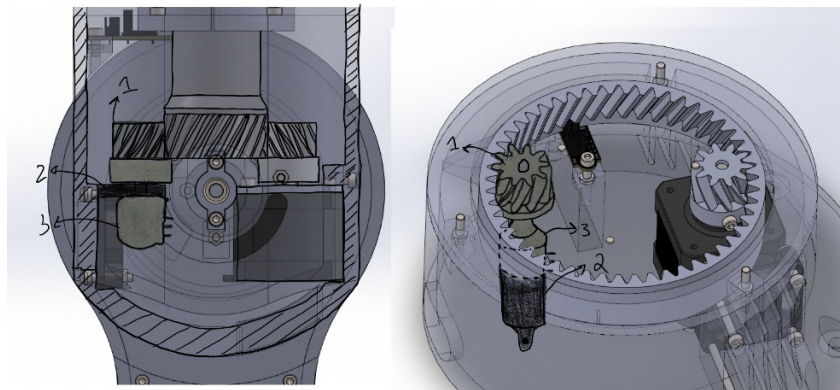


Figura A.15. Boceto de la articulación 4 y 1 del concepto B.

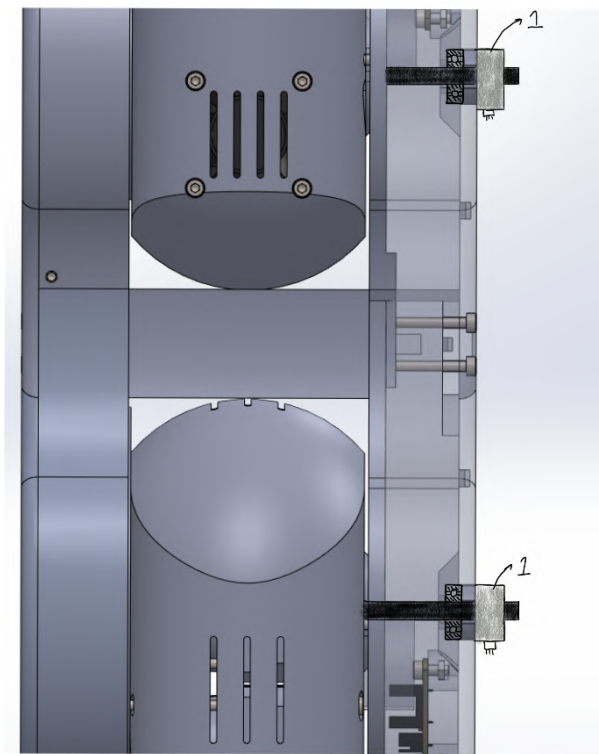


Figura A.16. Boceto de la articulación 3 y 2 del concepto B.

Concepto C

Sensor 5 y 6	Sensor 3 y 2	Sensor 4 y 1	Módulo de control
Potenciómetro en eje	Potenciómetro en eje	Potenciómetro unión engrane	Placa para ambos brazos
Encoder incremental en eje	Encoder incremental en eje	Encoder incremental unión engrane	Placa por cada brazo

Figura A.17. Matriz de combinación de fragmentos del concepto C.

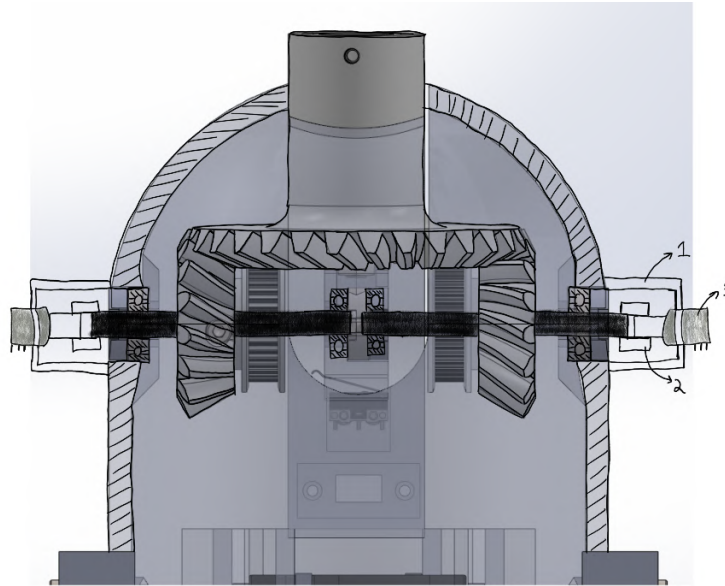


Figura A.18. Boceto de la articulación 5 y 6 del concepto C.

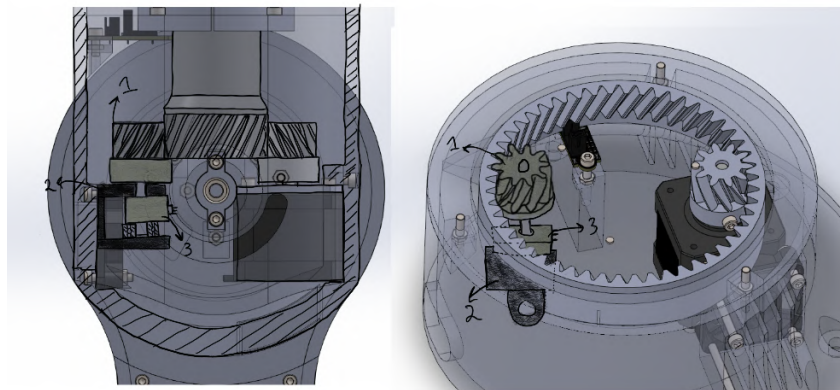


Figura A.19. Boceto de la articulación 4 y 1 del concepto C.

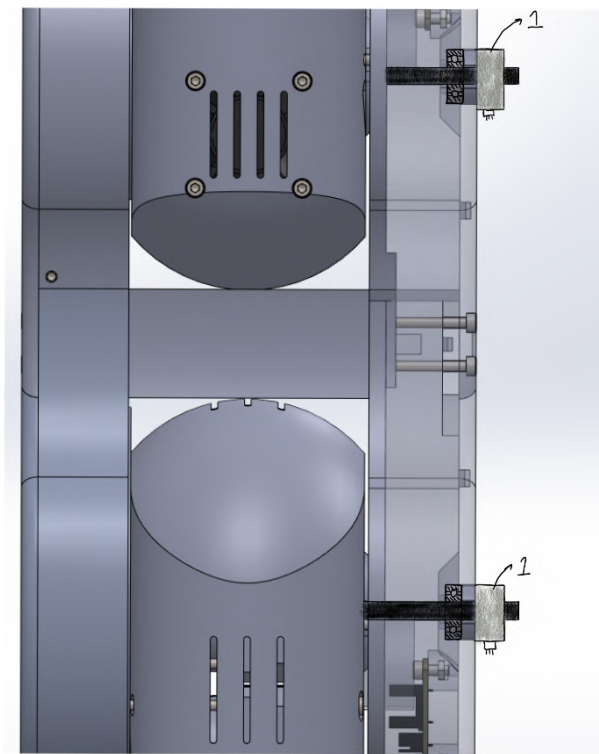


Figura A.20. Boceto de la articulación 3 y 2 del concepto C.

Concepto D

Sensor 5 y 6	Sensor 3 y 2	Sensor 4 y 1	Módulo de control
Potenciómetro en eje	Potenciómetro en eje	Potenciómetro unión engrane	Placa para ambos brazos
Encoder incremental en eje	Encoder incremental en eje	Encoder incremental unión engrane	Placa por cada brazo

Figura A.21. Matriz de combinación de fragmentos del concepto D.

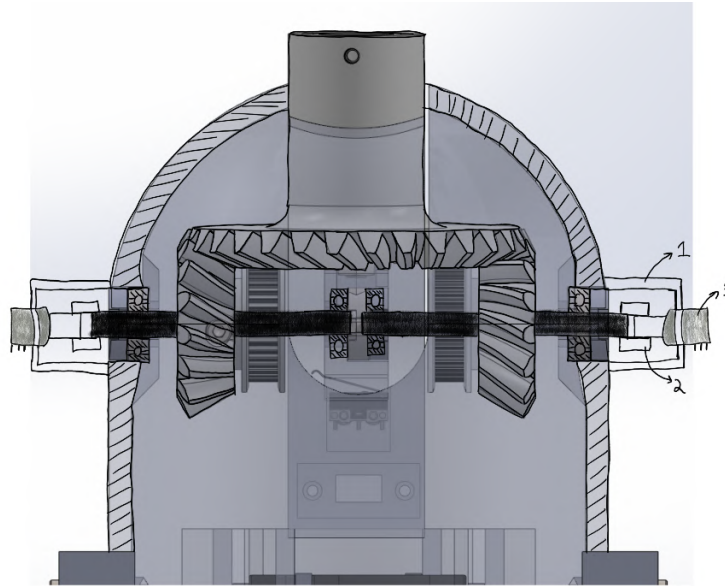


Figura A.22. Boceto de la articulación 5 y 6 del concepto D.

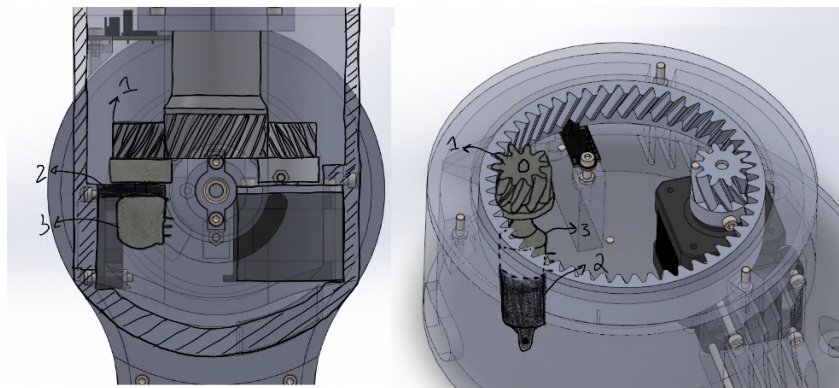


Figura A.23. Boceto de la articulación 4 y 1 del concepto D.

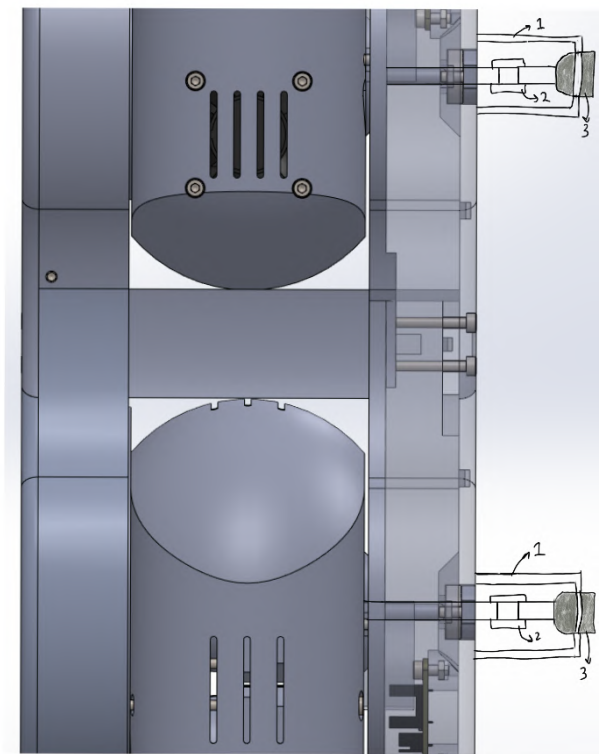


Figura A.24. Boceto de la articulación 3 y 2 del concepto D.

Concepto E

Sensor 5 y 6	Sensor 3 y 2	Sensor 4 y 1	Módulo de control
Potenciómetro en eje	Potenciómetro en eje	Potenciómetro unión engrane	Placa para ambos brazos
Encoder incremental en eje	Encoder incremental en eje	Encoder incremental unión engrane	Placa por cada brazo

Figura A.25. Matriz de combinación de fragmentos del concepto E.

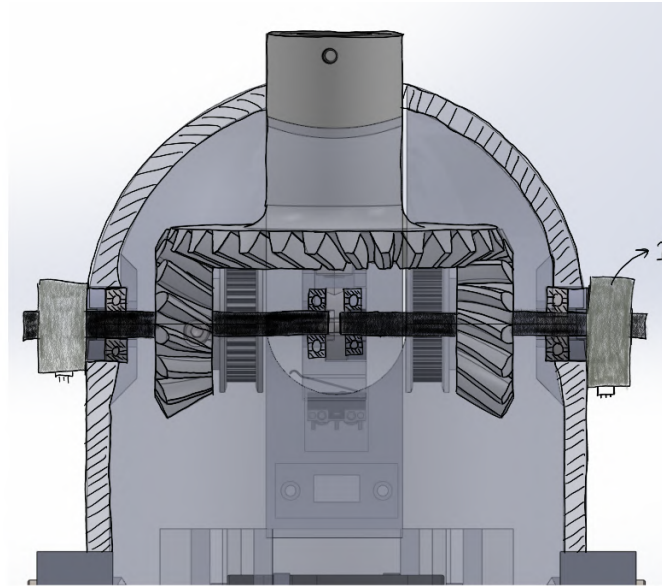


Figura A.26. Boceto de la articulación 5 y 6 del concepto E.

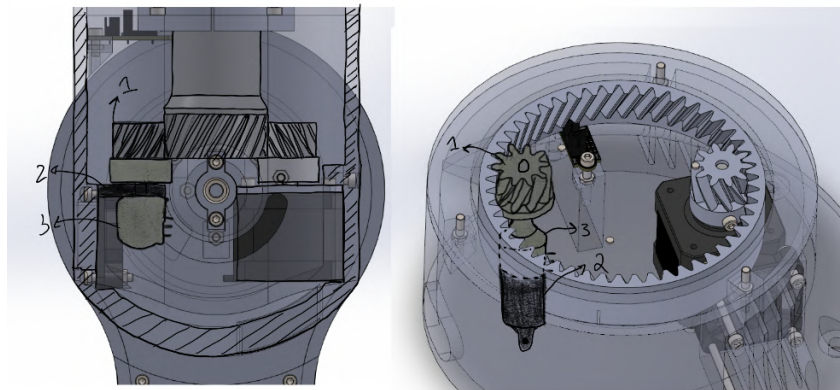


Figura A.27. Boceto de la articulación 4 y 1 del concepto E.

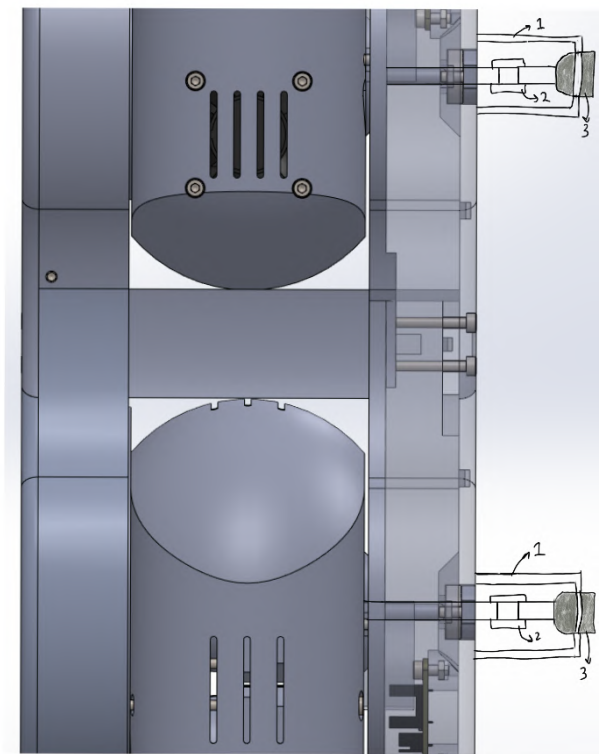


Figura A.28. Boceto de la articulación 3 y 2 del concepto E.

Concepto F

Sensor 5 y 6	Sensor 3 y 2	Sensor 4 y 1	Módulo de control
Potenciómetro en eje	Potenciómetro en eje	Potenciómetro unión engrane	Placa para ambos brazos
Encoder incremental en eje	Encoder incremental en eje	Encoder incremental unión engrane	Placa por cada brazo

Figura A.29. Matriz de combinación de fragmentos del concepto F.

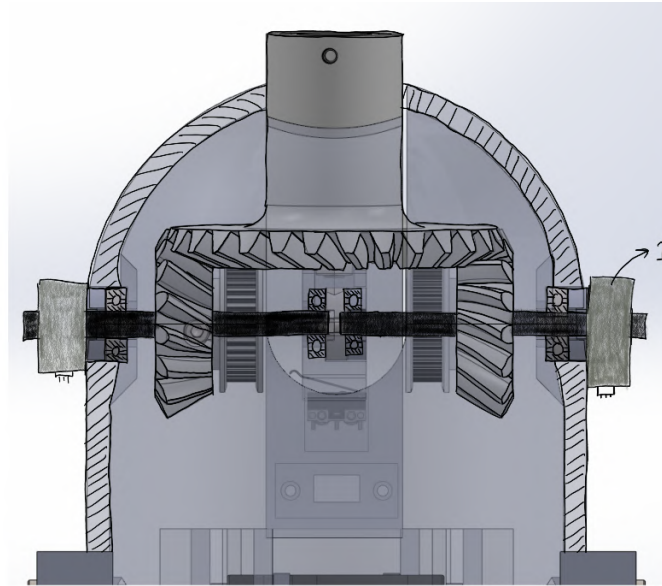


Figura A.30. Boceto de la articulación 5 y 6 del concepto F.

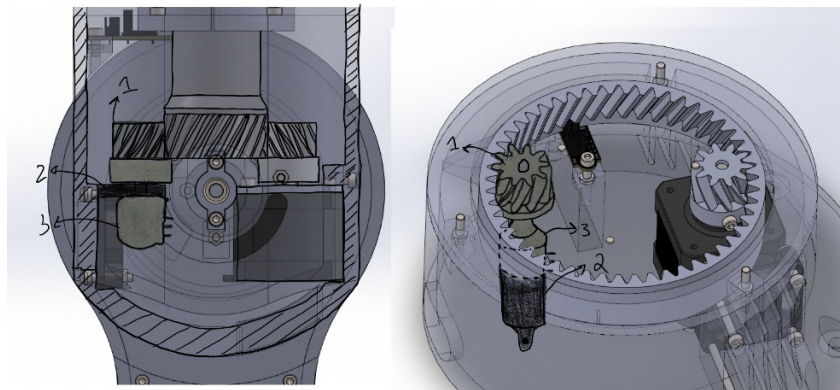


Figura A.31. Boceto de la articulación 4 y 1 del concepto F.

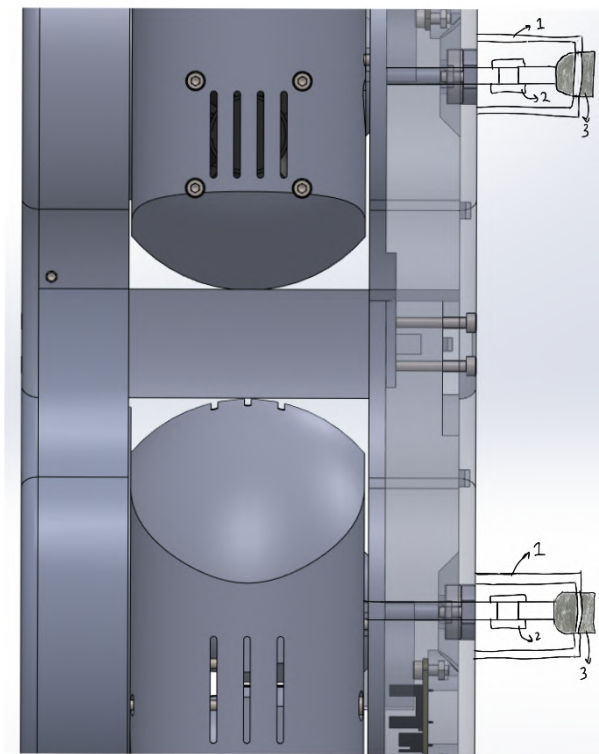


Figura A.32. Boceto de la articulación 3 y 2 del concepto F.

Concepto G

Sensor 5 y 6	Sensor 3 y 2	Sensor 4 y 1	Módulo de control
Potenciómetro en eje	Potenciómetro en eje	Potenciómetro unión engrane	Placa para ambos brazos
Encoder incremental en eje	Encoder incremental en eje	Encoder incremental unión engrane	Placa por cada brazo

Figura A.33. Matriz de combinación de fragmentos del concepto G.

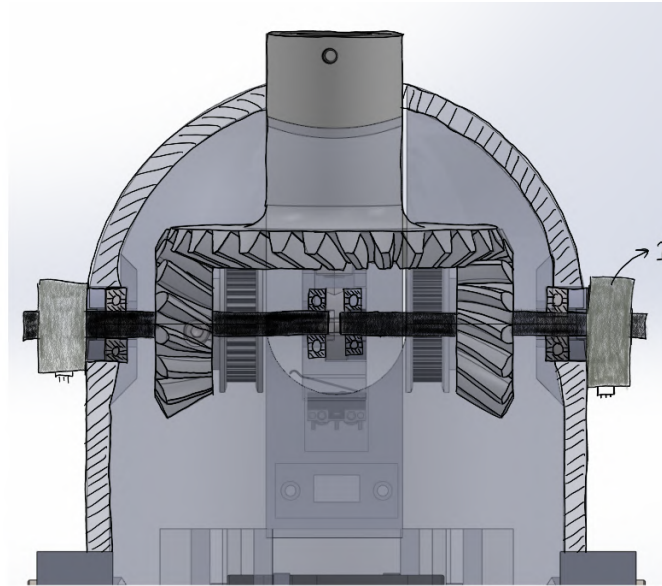


Figura A.34. Boceto de la articulación 5 y 6 del concepto G.

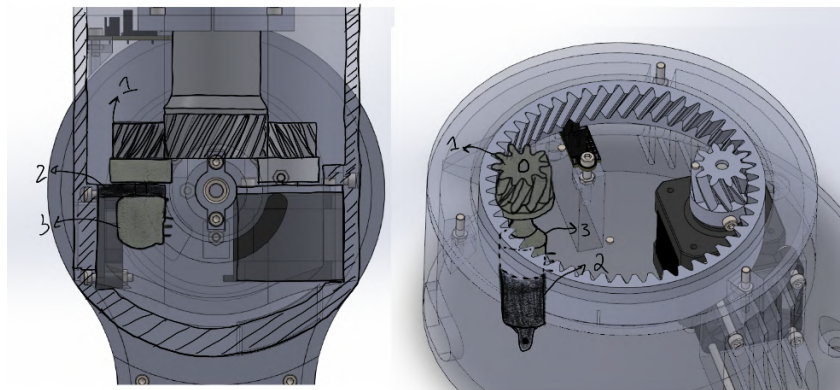


Figura A.35. Boceto de la articulación 4 y 1 del concepto G.

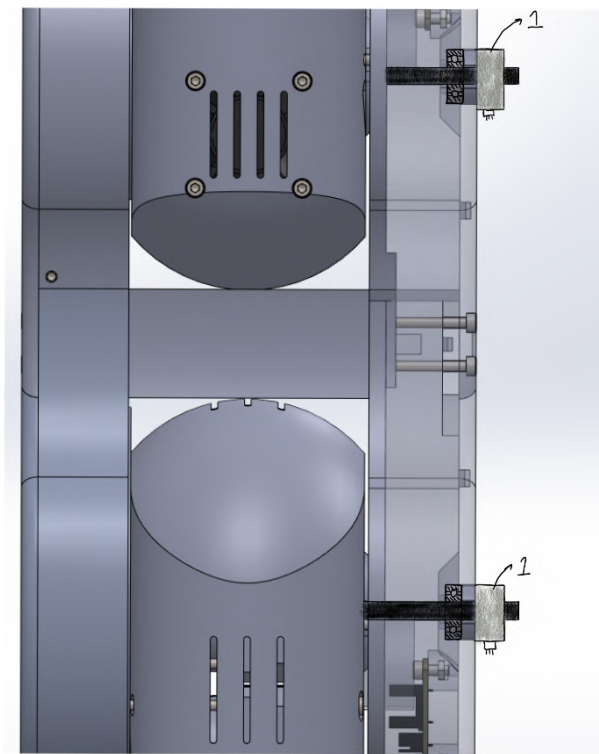


Figura A.36. Boceto de la articulación 3 y 2 del concepto G.

Concepto H

Sensor 5 y 6	Sensor 3 y 2	Sensor 4 y 1	Módulo de control
Potenciómetro en eje	Potenciómetro en eje	Potenciómetro unión engrane	Placa para ambos brazos
Encoder incremental en eje	Encoder incremental en eje	Encoder incremental unión engrane	Placa por cada brazo

Figura A.37. Matriz de combinación de fragmentos del concepto H.

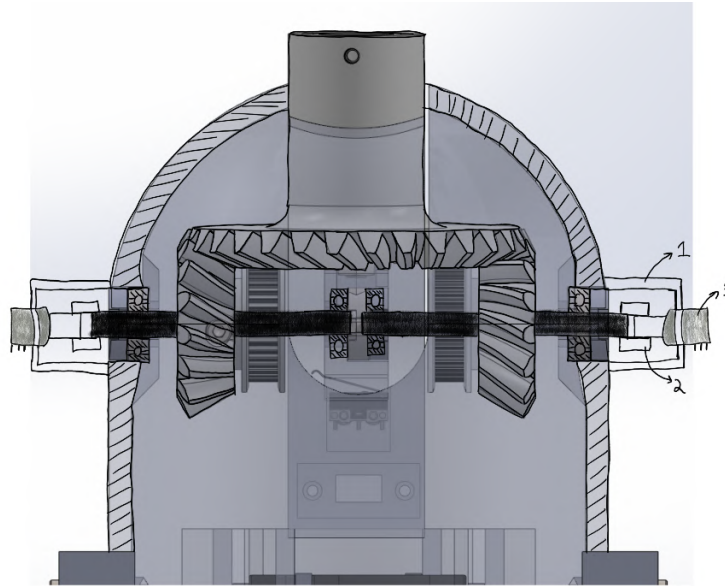


Figura A.38. Boceto de la articulación 5 y 6 del concepto H.

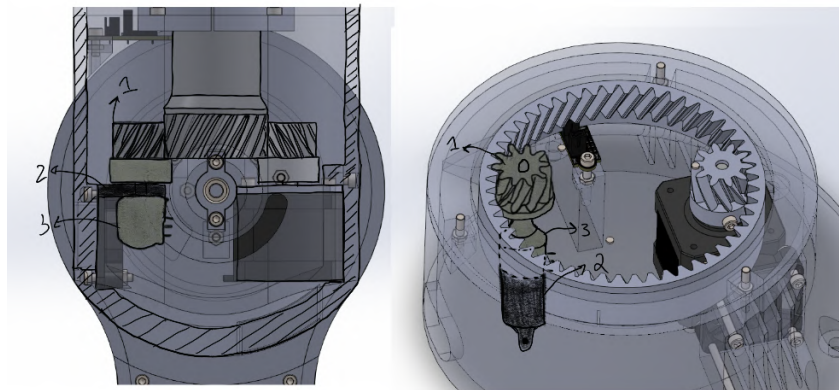


Figura A.39. Boceto de la articulación 4 y 1 del concepto H.

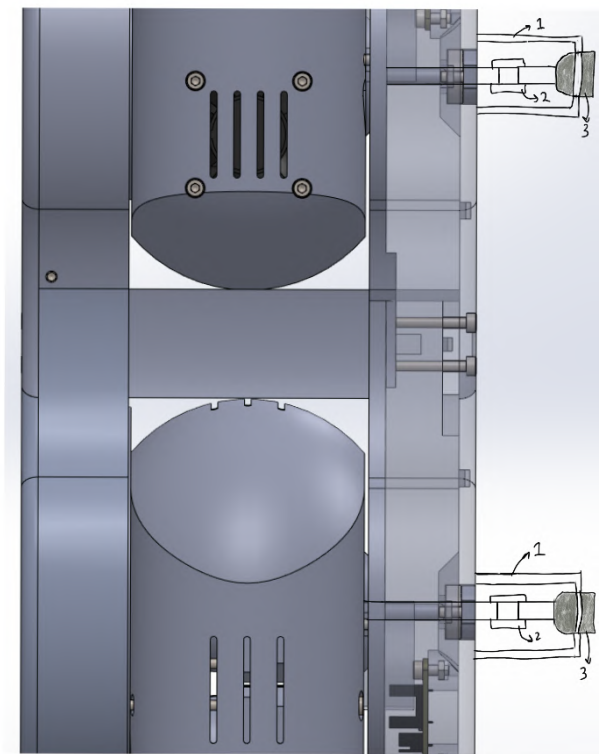


Figura A.40. Boceto de la articulación 3 y 2 del concepto H.

Concepto I

Sensor 5 y 6	Sensor 3 y 2	Sensor 4 y 1	Módulo de control
Potenciómetro en eje	Potenciómetro en eje	Potenciómetro unión engrane	Placa para ambos brazos
Encoder incremental en eje	Encoder incremental en eje	Encoder incremental unión engrane	Placa por cada brazo

Figura A.41. Matriz de combinación de fragmentos del concepto I.

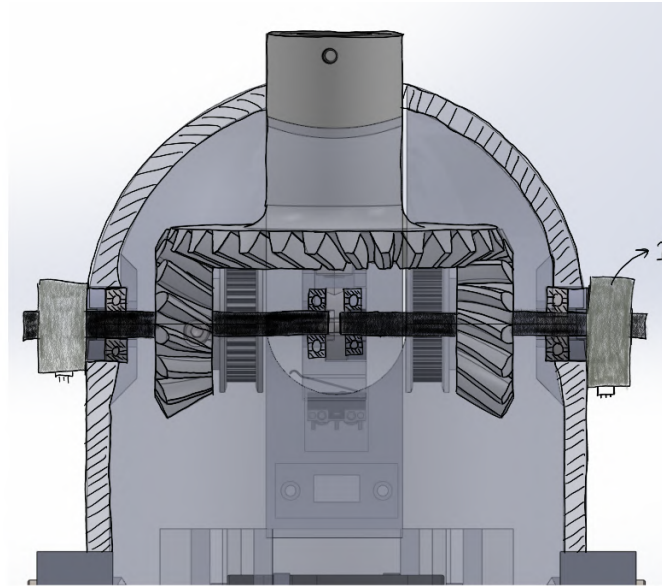


Figura A.42. Boceto de la articulación 5 y 6 del concepto I.

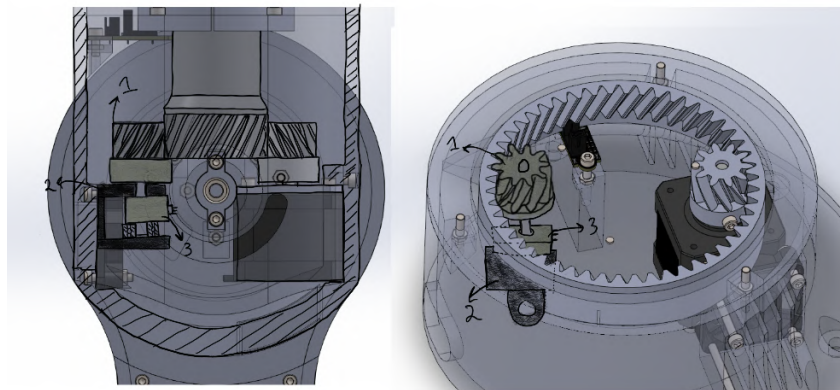


Figura A.43. Boceto de la articulación 4 y 1 del concepto I.

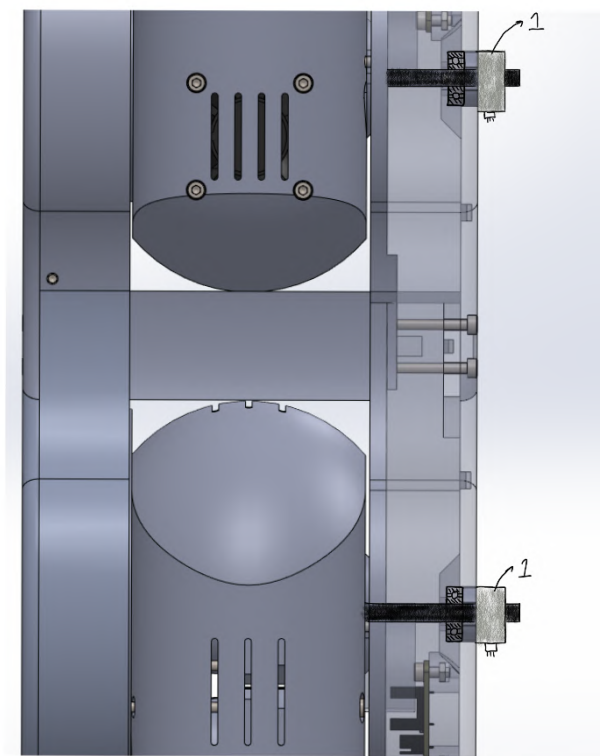


Figura A.44. Boceto de la articulación 3 y 2 del concepto I.

Concepto J

Sensor 5 y 6	Sensor 3 y 2	Sensor 4 y 1	Módulo de control
Potenciómetro en eje	Potenciómetro en eje	Potenciómetro unión engrane	Placa para ambos brazos
Encoder incremental en eje	Encoder incremental en eje	Encoder incremental unión engrane	Placa por cada brazo

Figura A.45. Matriz de combinación de fragmentos del concepto J.

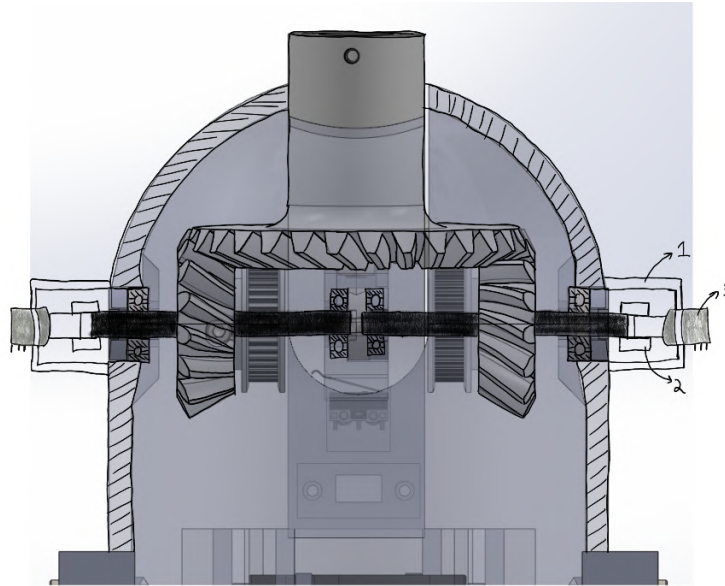


Figura A.46. Boceto de la articulación 5 y 6 del concepto J.

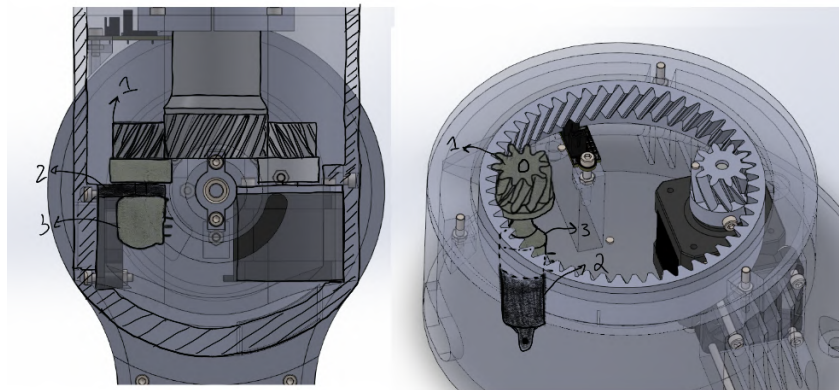


Figura A.47. Boceto de la articulación 4 y 1 del concepto J.

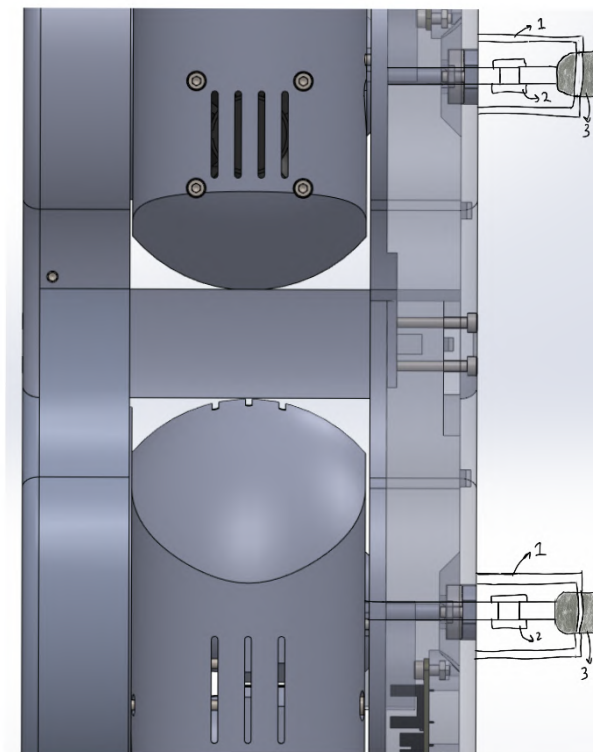


Figura A.48. Boceto de la articulación 3 y 2 del concepto J.

A.4.4. Plataforma robótica: Selección de conceptos

Los conceptos mostrados en la sección anterior para dotar de sensores al manipulador se filtraron como se muestra en la tabla A.13. De esta tabla se obtienen como finalistas los conceptos A, B, C y G donde el que se decide desarrollar es el concepto B como se muestra en la tabla A.14. Para el caso de los sensores a utilizar se muestra la tabla A.15 donde se tienen los codificadores y potenciómetros consultados que se tomaron en cuenta debido a su calidad, precio, facilidad de instalación y resolución. Mediante la tabla se realizó una evaluación de los codificadores según los criterios de facilidad de instalación, calidad, facilidad de reemplazo y resolución de la cual se decide usar los AMT10E2, estos cuentan con un kit de instalación, tiene una resolución variable mientras que para potenciómetro se decidió usar el Vishay que son de 10 vueltas, el eje es métrico por lo que permiten acoplarse mejor al sistema que los otros consultados.

Tabla A.13. Matriz de selección de conceptos

Criterios de selección	Conceptos									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Simplicidad de rediseño	0	+	-	-	-	-	+	-	-	-
Simplicidad de instalación	0	+	+	-	0	0	+	-	0	-
Simplicidad de mantenimiento	0	0	0	0	0	0	0	+	0	0
Capacidad de mejoras o reemplazos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Simplicidad de obtención de datos	0	+	+	0	-	0	+	-	0	-
Capacidad de modularidad	0	0	0	0	0	-	-	+	0	0
Suma +	0	3	2	0	0	0	3	2	0	0
Suma -	0	0	1	2	2	2	1	3	1	3
Suma 0	8	3	3	4	4	4	2	1	5	3
Evaluación neta	0	3	1	-2	-2	-2	2	-1	-1	-3
Lugar	4	1	3	6	6	6	2	5	5	7
¿Continuar?	si	si	si	no	no	no	si	no	no	no

Tabla A.14. Evaluación de conceptos

		Conceptos							
		A		B		C		G	
Criterio de selección	Peso	Cal.	Pond.	Cal.	Pond.	Cal.	Pond.	Cal.	Pond.
Simplicidad de rediseño	30 %	4	1,2	5	1,5	2	0,6	5	1,5
Simplicidad de instalación	25 %	4	1	5	1,25	3	0,75	5	1,25
Simplicidad de mantenimiento	5 %	3	0,15	3	0,15	3	0,15	3	0,15
Capacidad de mejoras o reemplazos	10 %	3	0,3	3	0,3	3	0,3	3	0,3
Simplicidad de obtención de datos	20 %	4	0,8	4	0,8	4	0,8	4	0,8
Capacidad de modularidad	10 %	3	0,3	3	0,3	3	0,3	2	0,2
Total de puntos		3,75		4,3		3,05		4,2	
Lugar		3		1		4		2	
¿Continuar?		No		Si		No		No	

Tabla A.15. Sensores consultados

No.	Nombre	Resolución(grados)	Tipo	Enlace
1	Ximark	3.6	Codificador	https://amzn.to/3ABMI1Z
2	MGT-42ST	0.36	Codificador	https://amzn.to/3QGEAGa
3	MGT-57ST	0.36	Codificador	https://amzn.to/3AB1P1v
4	CALT kit	0.36	Codificador	https://amzn.to/3Cn0LeM
5	Broadcom	0.72	Codificador	https://bit.ly/3Aboo94
6	AMT10E2	0.07	Codificador	https://bit.ly/3R0sTKg
7	Vishay	-	Potenciómetro	https://bit.ly/3AfwUUi
8	Uxcell	-	Potenciómetro	https://amzn.to/3R0tiwg
9	TWTADE	-	Potenciómetro	https://amzn.to/3KaXaEf

Tabla A.16. Codificadores seleccionados para evaluación

No.	Nombre	Resolución(grados)	Tipo	Enlace
1	MGT-42ST	0.36	Magnético	https://amzn.to/3QGEAGa
2	CALT kit	0.36	Óptico	https://amzn.to/3Cn0LeM
3	Broadcom	0.72	Óptico	https://bit.ly/3Aboo94
4	AMT10E2	0.07	Capacitivo	https://bit.ly/3R0sTKg

Tabla A.17. Selección de codificadores

		Codificadores							
		AMT10E2		MGT-42ST		CALT		Broadcom	
Criterio de selección	Peso	Cal.	Pond.	Cal.	Pond.	Cal.	Pond.	Cal.	Pond.
Resolución	50 %	5	2,5	4	2	3	1,5	4	2
Simplicidad de instalación	25 %	5	1,25	4	1	3	0,75	5	1,25
Calidad	10 %	3	0,3	2	0,2	2	0,2	3	0,3
Facilidad de remplazo	15 %	3	0,45	3	0,45	3	0,45	3	0,45
Total de puntos		4,5		3,65		2,9		4	
Lugar		1		3		4		2	
¿Continuar?		Si		No		No		No	

A.4.5. Plataforma robótica: desarrollo del circuito impreso

Para el circuito impreso se tomaron en cuenta los deseos del cliente sobre que sea inherente actualizable con componentes y mejoras, que pueda ser fácil de conectar/desconectar. Además se tomaron consideraciones de seguridad que pueda ser implementadas con facilidad.

Además se siguieron para el diseño del PCB los puntos mostrados a continuación, de esta forma se obtendrá un diseño robusto.

- Los componentes se pueda remplazar con facilidad es decir que el componente no se suelda directamente al PCB sino que lo que suelda son pines para permitir la conexión.
- Los drivers de los motores y los ventiladores trabajan a 12V por lo que se van a ubicar lo más lejos posible de los componentes que puedan sufrir interferencia.
- Todos los cables se van a conectar mediante conectores del tipo JST ya que son fáciles de conseguir y reemplazar en caso de necesitarse, también son fáciles de instalar y ofrecen la seguridad de solo tener un lado de conexión.
- Los drivers se van a agrupar de tal forma que luego puedan ser enfriados con uno o dos ventiladores, es decir que no van a estar dispersos por el PCB.
- El material fondo de la placa se va usar como parte del GND con tal de facilitar el diseño y aumentar la seguridad del PCB.
- El PCB va incluir un EMO para cortar la alimentación de los motores y ventiladores en caso de necesitarse a futuro, por ende dos pines con un jumper o un puente el cual se puede retirar para ubicar el EMO.
- El PCB estará dentro de un case para protegerlo y asegurarlo por lo que es necesario dejar los orificios
- El PCB debe tener serigrafía con el fin de aumentar la seguridad a la hora de manipular los componentes y facilite la conexión y ubicación del cableado.
- Finalmente como un interés adicional no importante, el PCB debe incluir el logotipo del laboratorio y seguir con los colores tema, es decir el azul.

Las siguientes tablas solo muestran la conexión de los componentes al microcontrolador, las cuales se deben implementar en el PCB.

Tabla A.18. Asignación de los pines de los drivers A4988 al microcontrolador.

Componente	Nombre de señal	Pin de conexión
Motor 6	Step	27
Motor 6	Dir	29
Motor 5	Step	31
Motor 5	Dir	33
Motor 4	Step	35
Motor 4	Dir	37
Motor 3	Step	39
Motor 3	Dir	41
Motor 2	Step	43
Motor 2	Dir	45
Motor 1	Step	47
Motor 1	Dir	49

Tabla A.19. Asignación de los pines de los codificadores al microcontrolador.

Componente	Nombre de señal	Pin de conexión
Codificador 6	Señal A	3
Codificador 6	Señal B	2
Codificador 5	Señal A	18
Codificador 5	Señal B	19
Codificador 3	Señal A	20
Codificador 3	Señal B	23
Codificador 2	Señal A	21
Codificador 2	Señal B	25

Tabla A.20. Asignación de los pines del efector y finales de carrera al microcontrolador.

Componente	Nombre de señal	Pin de conexión
Efector	PWM	8
Efector	Entrada Analógica	A0
Potenciómetro 4	Señal analógica	A2
Potenciómetro 1	Señal analógica	A4
Final de carrera 56	Señal digital	6
Final de carrera 2	Señal digital	14
Final de carrera 3	Señal digital	15

La figuraA.49 muestra la parte del frente del PCB es donde se colocan los conectores y los pines para conectar los drivers de los motores, el PCB se desarrolló con las condiciones

anteriores donde una vez ubicados los componentes se realizó la conexión de las pistas, estas no se hicieron de manera automática debido a que eran pocas y para tener un mayor control. El diagrama eléctrico del PCB se puede encontrar en los planos de OSCAR.

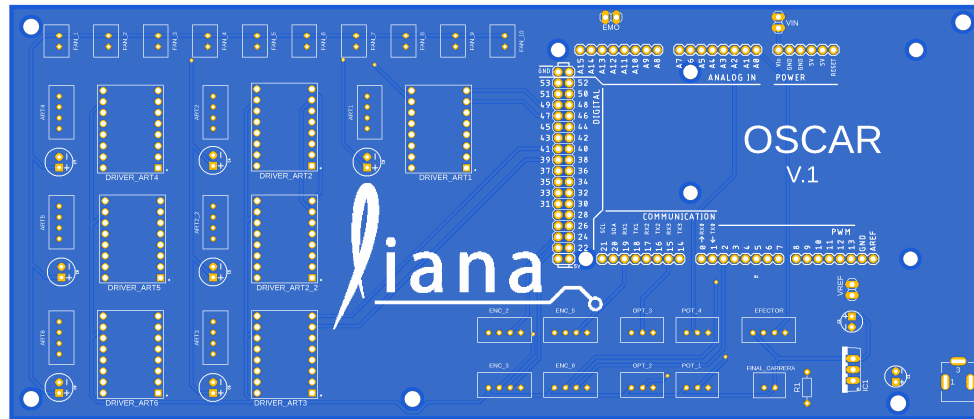


Figura A.49. Vista superior del PCB diseñado.

La figura A.49 muestra la parte trasera del PCB se colocan los pines donde va ir ubicado el arduino mega que se encarga de controlar el brazo Thor.

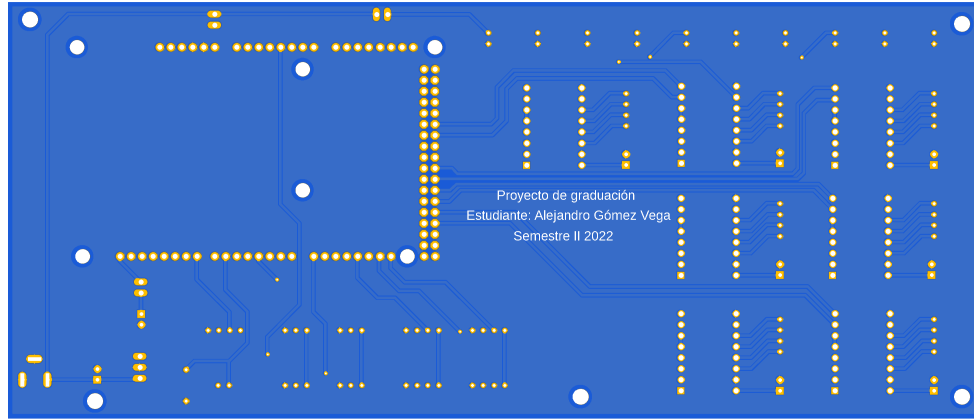


Figura A.50. Vista inferior del PCB diseñado..

Para la fabricación del PCB se tomaron en cuenta las casas de manufactura mostradas en la tabla de evaluación A.21 donde se escogió JLCPCB por ser económicos y por tener un tiempo de envío más rápido que las otras opciones.

Tabla A.21. Casas de manufactura del PCB

		Compañías							
		JLCPCB		PCBWAY		ZXHPCB		ALLPCB	
Criterio de selección	Peso	Cal.	Pond.	Cal.	Pond.	Cal.	Pond.	Cal.	Pond.
Velocidad de fabricación	50 %	5	2,5	5	2.5	5	2.5	5	2.5
Velocidad de envío	25 %	5	1,25	4	1	4	1	4	1
Personalización	10 %	5	0,5	5	0,5	5	0,5	5	0,5
Precio	15 %	5	0,75	5	0,75	2	0,3	5	0,75
Total de puntos		5		4.75		4.3		4.75	
Lugar		1		2		3		2	
¿Continuar?		Si		No		No		No	

A.4.6. Plataforma robótica: Tablas de materiales

A continuación se muestran las tablas que componen los materiales de cada parte del manipulador THOR.

Tabla A.22. Materiales Gripper.

Componente	Cantidad
Tuerca M3	13
M3x12	9
M3x20	4

Tabla A.23. Materiales articulación 56.

Componente	Cantidad
Tuerca M3	37
Tuerca M5 seguridad	1
M3x10	4
M3x12	4
M3x16	4
M3x20	10
M3x25	8
M3x35	4
M3x10 cabeza plana	6

Tabla A.24. Materiales articulación 34.

Componente	Cantidad
Tuerca M3	18
M3x10	14
M3x16	3
M3x20	2
M3x25	3

Tabla A.25. Materiales articulación 1.

Componente	Cantidad
Tuerca M3	6
M3x10	6
M3x20	8
M3x40	10

Tabla A.26. Materiales articulación 2 lado A.

Componente	Cantidad
Tuerca M3	10
M3x10	4
M3x12	4
M3x25	2

Tabla A.27. Materiales articulación lado B.

Componente	Cantidad
Tuerca M3	22
M3x10	8
M3x10 cabeza plana	4
M3x12	2
M3x45	4

Tabla A.28. Materiales de la base.

Componente	Cantidad
Tuerca M3	21
M3x10	2
M3x12	1
M3x16	2
M3x20	4
M3x30	3
M3x40	9

Tabla A.29. Materiales del case.

Componente	Cantidad
Tuerca M3	26
M3x10	10
M3x20	16
Tuerca M5	4
M5x25	4

Tabla A.30. Materiales de las uniones.

Componente	Cantidad
Unión superior	
M3x12	3
M3x20	4
Unión media	
M3x45	4
Unión media	
M3x16	4

Tabla A.31. Materiales del PCB.

Componente	Cantidad
JST 2 pines	11
JST 3 pines	4
JST 4 pines	12
Capacitor 100uF/35V	7
Capacitor 10uF/10V	1
Capacitor 0.1uF/50V	1
Regulador LM7805	1
Resistencia 10K	1
8xPines hembra	14
40xPines macho	5
Conector DC barrel	1
Driver A4988	7
Arduino Mega	1

A.4.7. Sistema operativo robótico

A partir de la descomposición de los subproblemas mostrados en A.1 se realizó una descomposición mayor detalle del problema de Sistema operativo robótico mostrado en la figura A.51 donde a partir de ahora cada subproblema se va a tratar como un nodo que se va encargar de realizar una función en específico, donde el nodo rviz es un visualizador gráfico que suministra ROS y permite enviar y recibir información, para este caso solo se va centrar en poder enviarle poses deseadas al nodo move_group, este nodo se genera gracias al paquete moveit y se encarga de realizar el planeamiento y cinemática inversa necesaria,

este recibe ya sea una pose para el efector final alcanzar o el conjunto de posiciones de las articulaciones. El nodo OSCAR_cmd se encarga de enviarle una pose para que sea ejecutada por move_group, este nodo se va dejar como la entrada del sistema, eso quiere decir que aquí es donde se conectara el sistema de visión o cualquier sistema que le envíe ubicaciones a OSCAR para moverse esto permite a la herramienta ser utilizada con facilidad. Finalmente el nodo arduino_interface se encarga de transformar las posiciones de las articulaciones de radianes como lo brinda moviet a pasos que es como lo requiere el arduino.

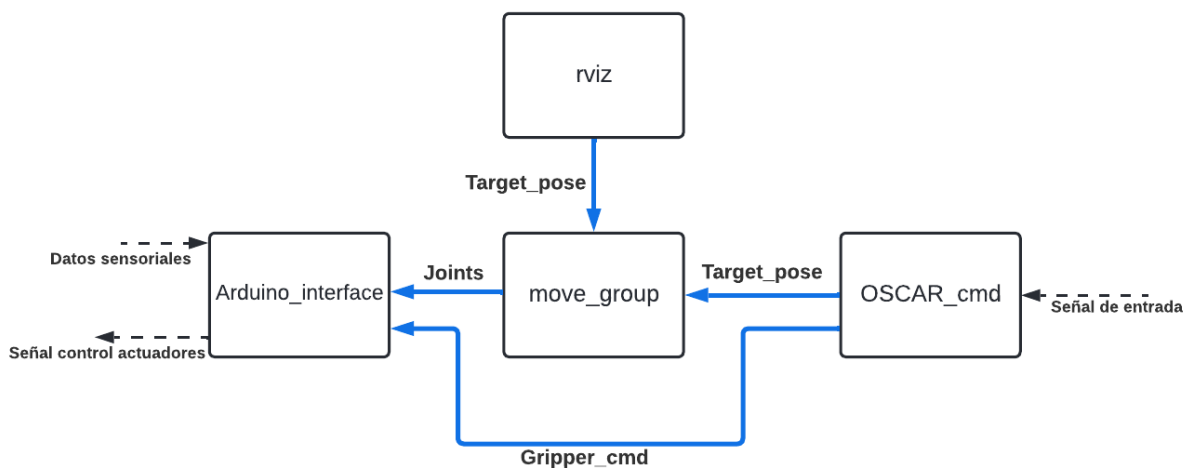


Figura A.51. Descomposición del sistema operativo robótico.

En la figura A.52 se muestra que el nodo mejor se va a fragmentar en 2 nodos con el fin de simplificar las funciones donde el nodo joint_steps se encarga de la transformación, el nodo sensor_joints se encarga de recibir la información sin procesar de los sensores y la transforma a grados. En la figura A.53 se muestra el arduino como un nodo que lo único que hace es leer la información de los sensores y indicarle a los drivers cuantos pasos deben dar a cada motor, de esta manera el arduino no debe procesar tanta información y todo recae en el ordenador externo.

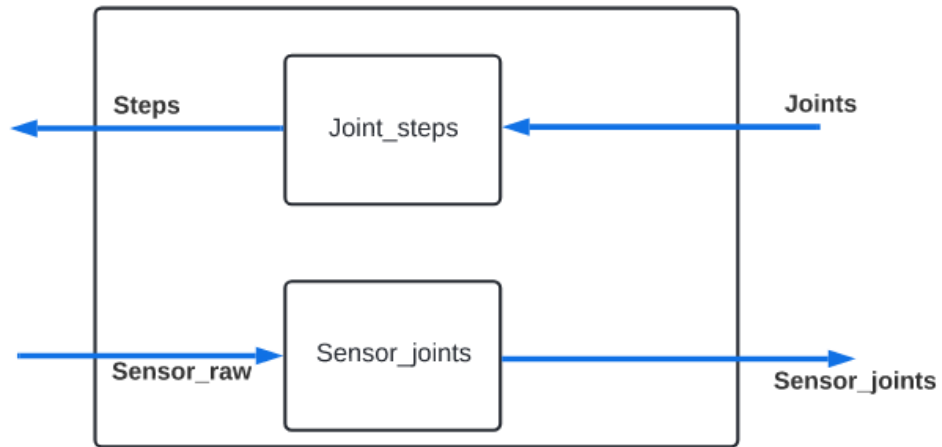


Figura A.52. Descomposición de `arduino_interface`.

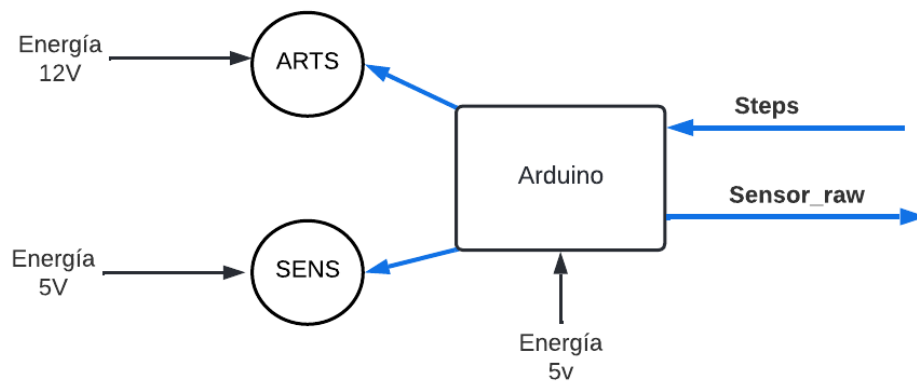


Figura A.53. Representación `arduino` como nodo.

Para cada nodo se planteo un diagrama que guié su implementación donde la figura A.54 muestra la función general para transformar los grados a pasos y la figura A.55 muestra la función general para procesar la información de los sensores.

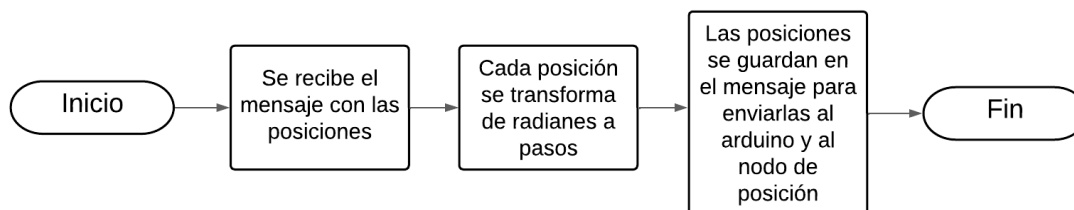


Figura A.54. Función para obtener pasos a motores.



Figura A.55. Función para obtener la información de sensores.

A.5. Estudio económico

En esta sección se van a presentar materiales adicionales al análisis realizado en el capítulo del documento principal. En la tabla A.32 muestra un resumen con los costos totales del proyecto en términos monetarios. El rubro respecto a los materiales se detalla donde la tabla A.35 muestra el precio de los tornillos utilizados, estos fueron adquiridos en la ferretería Toyman ubicada en Cartago, la tabla A.36 detalla el precio de los componentes principales para el desarrollo del proyecto debido a que estos se adquirieron fuera del país, la tabla A.37 detalla los componentes de reemplazo que fueron adquiridos erróneamente en el laboratorio y finalmente la tabla A.38 detalla los componentes adquiridos de ultimo. Para el costo de desarrollo se calculó mediante el esquema de pagos de las asistencias estudiantiles del Instituto Tecnológico de Costa Rica para el total de horas que se invirtieron en el proyecto.

Tabla A.32. . (En colones)

Descripción	Costo
Depreciación de los equipos	60 583
Licencia de software	61 875
Materiales	923 763
Desarrollo	460 800
Total	1 507 021

Para calcular la depreciación de los equipos se muestra en la tabla A.33, los datos a usar para determinar que con el uso durante este proyecto la computadora personal se depreció 48 000 colones mientras que la computadora portátil se depreció 12 583 colones, los valores para realizar este cálculo se obtuvieron de la ecuación A.1 que permite obtener el valor residual y de la ecuación A.2 que permite obtener la depreciación al año del equipo.

Tabla A.33. Valores de depreciación del equipo de cómputo usado. (En colones)

Activo	Valor de compra	Valor residual	Vida útil	Depreciación
Portátil HP	755 000	151 000	5 años	12 583
Computadora personal	1 200 000	192 000	5 años	48 000

$$ValorResidual = \frac{ValorInicial}{VidaUtil} \quad (A.1)$$

$$Depreciacion = \frac{ValorInicial - Valorresidual}{VidaUtil} \quad (A.2)$$

Tabla A.34. Inventario de componentes adquiridos.(En colones)

Descripción	Cantidad	Subtotal
Kit raspberry 4GB	1	87 886
Kit capacitores	1	6 096
Capacitor 100uF	10	2 516
Fusible reiniciable	3	1 677
Diodo 1N4005	5	419
Kit resistencia	1	5 565
LED rojo 5mm	10	894
LED verde 5mm	10	894
LED azul 5mm	10	894
40 female pin	5	1 957
40 male pin	5	1 258
Terminal 3polos 3,5mm	5	1 398
Terminal 2polo 5mm	5	1 398
Cable 22AWG rollo5m	1	1 649
Driver A4988	16	36 902
Stepmotor Nema17 42-34	1	16 089
Stepmotor Nema17 42-40	1	18 311
625zz rodamiento	22	59 909
Arduino mega2560r3	2	53 882
F40M fan 40mm 12VDC	18	75 027
Limit switch KW12-3	2	1 500
Polea GT2 20 dientes	6	17 339
Total		393 460

Tabla A.35. Tornillos adquiridos para el proyecto.(En colones)

Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Subtotal
M3x8	30	25.72	771.60
M3x10	100	42.69	4 269.00
M3x12	50	24.90	1 245.00
M3x16	30	28.34	850.20
M3x20	70	30.74	2 151.80
M3x25	30	56.21	1 686.30
M3x30	30	85.88	2 576.40
M3x35	10	212.41	2 124.10
M3x40	50	364.00	18 200.00
M3x45	20	540.24	10 804.80
M3x10 Cabeza plana	20	206.69	4 133.80
M3 Tuerca	300	4.42	1 326.00
M5x16	2	42.84	85.68
M5x25	10	52.99	529.90
M5 Tuerca	10	8.85	88.50
M5 Tuerca seguridad	2	35.37	70.74
Impuesto de venta			6 465.27
Total			57 379

Tabla A.36. Componentes adquiridos para el proyecto.(En dolares)

Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Subtotal
PLA Max 1kg	7	31.95	223.65
NEMA17 40	1	16.95	16.95
NEMA17 34	5	21.95	109.75
NEMA17 5:1	6	29.88	179.28
GT2 faja cerrada	4	4.6	18.4
GT2 faja abierta	2	10.95	21.9
GT2 polea 40 dientes(4ud)	1	11.98	11.98
Encoder	8	23.46	187.68
Potenciometro	4	34.38	137.52
Rodamiento 16014zz	2	19.99	39.98
Rodamiento MF84ZZ(5ud)	1	6.99	6.99
Metal balls 6mm(100ud)	1	8.99	8.99
Optical endstop(6ud)	1	9.99	9.99
Ejes 4mm (10ud)	1	6.99	6.99
Ejes 5mm (4ud)	1	11.99	11.99
Caja conectores	2	11	22
Caja cables	1	16	16
Impuesto de venta y envío			107.24
Total			1137.28

De la tabla A.36 se obtiene el total en colones **769 220** utilizando el tipo de cambio de 673.63 al momento de la compra 5 de agosto 2022.

Tabla A.37. Componentes de reemplazo adquiridos para el proyecto.(En dolares)

Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Subtotal
Ventiladores 4010	8	4.95	39.60
Regulador de voltaje	3	1.25	3.75
Conector power/jack barrel	2	1.25	2.5
Adaptador macho barrel	2	0.95	1.90
Impuesto de venta y envío			13
Total			60.75

De la tabla A.37 se obtiene el total en colones **41 090** utilizando el tipo de cambio de 640.01 al momento de la compra 13 de septiembre 2022.

Tabla A.38. Componentes varios adquiridos para el proyecto.(En colones)

Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Subtotal
PCB	1	15 764	15 764
Cable 28AWG	2	1 660.35	3 752.40
Poleas GT2 16 dientes	2	2 482.61	17 260.34
Servomotor MG996	2	8 538.51	19 297.03
Total			56 073.77

A.6. Especificaciones finales

En la tabla A.39 se muestran las especificaciones finales de la plataforma al terminar el desarrollo. Los valores finales se basaron en los experimentos realizados y en el análisis de la plataforma mientras se fue desarrollando.

Tabla A.39. Especificaciones finales de la plataforma física.

No.	Métrica	Imp.	Unidad	Valor Final
1	Grados de libertad del manipulador.	5	Cantidad	6
2	Costo del robot.	3	USD	2500
3	Puntuación del nivel de desarrollo abierto del robot.	4	Evaluación	
4	Dimensiones máximas del objeto	5	mm	60
5	Peso máximo del objeto.	5	g	
6	Velocidad máxima con la que mueve un objeto.	5	m/s	
7	Campo de visión.	5	mm	
8	Resolución del sistema de visión.	5	mm	
9	Sensores usados en las articulaciones.	5	Lista	Codificador Potenciómetro
10	Resolución de sensores de posición de las articulaciones.	5	grados	1.6
11	Puntuación por facilidad en la conexión de actuadores y sensores	3	Evaluación	4
12	Puntuación por usar materiales con poco impacto ambiental	3	Evaluación	5
13	Uso de componentes del laboratorio	3	%usados/total	90
14	Confiabilidad en la comunicación de datos	3	%recibidos/enviados	100
15	Uso de la plataforma ROS	3	Binario	Pasa
16	Uso del manipulador THOR	3	Binario	Pasa
17	Composición detallada de la documentación del robot	4	Lista	Se cumplió la tabla A.10

Parte II

Anexos



Códigos

En este capítulo se presentan los códigos implementados en el proyecto mediante el uso de ROS, son en el lenguaje python. En los códigos no se usaron tildes porque al compilar el archivo daba error.

B.1. Nodos de interfase:Joint_steps

B.1.1. joints_step_node_thor1

```
#!/usr/bin/env python3
```

```
import math
import time
import rospy
from control_msgs.msg import GripperCommand
from arduino_Thor.msg import joints_steps
from sensor_msgs.msg import JointState
```

```
=====
===== DEFINICION DE VARIABLES =====
=====
```

```
# constntantes de la relacion de engranes y pasos del motor
```


#permite la coneversion de grados a pasos

a1= 2.78

a2=17.14

a3=22.11

a4=1.11

a5=1.39

a6=2.78

#variables para hacer globlaes la posicion de los motores 5 y 6

Motor5=0

Motor6=0

#variables auxiliares para hacer la conversion de radianes a pasos

ART1=0

ART2=0

ART3=0

ART4=0

ART5=0

ART6=0

ART5_anterior = 0 *# variables para hacer la diferencia de pasos*

ART6_anterior = 0

se establecen los mensajes

joint = joints_steps()

gripper= GripperCommand()

=====

===== *FUNCIONES PARA LAS ARTICULACIONES 5 Y 6* =====

=====

#funciones para obtener los pasos necesarios de la posicion actual

a la deseada para la articualcion 5

```
def ART5_motor(j5):
    M=(j5-ART5_anterior)*a5

    M=int(round(M,0))
    return M
```

*#funciones para obtener los pasos necesarios de la posicion actual
a la deseada para la articualcion 6*

```
def ART6_motor(j6):
    M=-(j6-ART6_anterior)*a6

    M=int(round(M,0))
    return M
```

```
=====
#===== FUNCION ENVIO DE PASOS AL ARDUINO =====
#=====
```

```
def get_joints(data):
#funcion que se ejecuta cuando recibe la posicion de las articulaciones  
#en radiades
```

#variables globales que se modifican en esta funcion

```
global Motor5
global Motor6
global ART5_anterior
global ART6_anterior
```

#verifica que el mensaje tenga informacion

```

if len(data.position)==0:
    return
if data.name!=['Thor1_Joint1','Thor1_Joint2','Thor1_Joint3',
                'Thor1_Joint4','Thor1_Joint5','Thor1_Joint6']:
    return

#toma la informacion del mensaje, lo asigna a sus respectiva
# articulacion luego lo pasa a grados y lo multiplica por la
# constante que pasa de grados a pasos

ART1=math.degrees(data.position[0])*a1
ART2=math.degrees(data.position[1])*-a2
ART3=math.degrees(data.position[2])*-a3
ART4=math.degrees(data.position[3])*-a4
ART5=math.degrees(data.position[4])
ART6=math.degrees(data.position[5])

# cada articulacion en pasos se redondea y se vuelve un entero,
#luego se asigna al menssaje joint para ser puplicado al arduino,
#ademas se debe tomar en cuenta el comportamiento del sistema
# diferencial de la articualcion 5 y 6, como du movmiento depende
# de dos motores se hace de la forma mostrada, primero el movimiento
#del 5 y luego del 6, ya que si se hace simultaneo no funciona

joint.joint_1 = int(round(ART1,0))
joint.joint_2 = int(round(ART2,0))
joint.joint_3 = int(round(ART3,0))
joint.joint_4 = int(round(ART4,0))

# como el movimiento depende de los mismos dos motores se trabaja con
#dos variables globales y simplimente se suma o resta los pasos que
#correspondan

# Primero se ejecuta para la articulacion 5

```

```
Motor5=Motor5 + ART5_motor(ART5)
Motor6=Motor6 - ART5_motor(ART5)
joint.joint_5 = Motor5
joint.joint_6 = Motor6
ART5_anterior=ART5
```

```
#se vuleve a ejecutar para la articulacion 6
Motor5=Motor5 + ART6_motor(ART6)
Motor6=Motor6 + ART6_motor(ART6)
joint.joint_5post = Motor5
joint.joint_6post = Motor6
ART6_anterior=ART6
```

```
# Finalmente se publica el mensaje con todos los pasos para
# que el arduino los ejecute
jointStep.publish(joint)
rospy.loginfo( 'Pasos_enviados_al_thor1_con_exito' )
```

```
=====
#----- Funcion principal -----
#=====
```

```
if __name__ == '__main__':
```

```
# se inicia el nodo llamado Thor_arduino_actuadores
rospy.init_node('Thor1_arduino_actuadores', anonymous=True)

# se define jointStep para publicar en el topic joints_steps
```

```

jointStep = rospy.Publisher('joints_steps_thor1',joints_steps ,
                             queue_size=500)

# se define grippercmd para publicar en el topic gripper
grippercmd = rospy.Publisher('gripper_thor1',GripperCommand,
                             queue_size=100)

# se define el subscriptor donde se obtienen las posiciones de las
# articualciones del topic /move_group/fake_controller_joint_states
# el cual ofrece moveit

rospy.Subscriber('/move_group/fake_controller_joint_states',
                 JointState, get_joints )

#para que el nodo se mantenga ejecutandose constnatemente
rospy.spin()

```

B.1.2. joints_step_node_thor2

```

#!/usr/bin/env python3

import math
import time
import rospy
from control_msgs.msg import GripperCommand
from arduino_Thor.msg import joints_steps
from sensor_msgs.msg import JointState

=====
===== DEFINICION DE VARIABLES =====
=====

# consntantes de la relacion de engranes y pasos del motor
#permite la coneversion de grados a pasos

```

a1= 2.78

a2=17.14

a3=22.11

a4=1.11

a5=1.39

a6=2.78

#variables para hacer globlaes la posicion de los motores 5 y 6

Motor5=0

Motor6=0

#variables auxiliares para hacer la conversion de radianes a pasos

ART1=0

ART2=0

ART3=0

ART4=0

ART5=0

ART6=0

ART5_anterior = 0 *# variables para hacer la diferencia de pasos*

ART6_anterior = 0

se establecen los mensajes

joint = joints_steps()

gripper= GripperCommand()

=====

===== FUNCIONES PARA LAS ARTICULACIONES 5 Y 6 =====

=====

#funciones para obtener los pasos necesarios de la posicion actual

a la deseada para la articualcion 5

def ART5_motor(j5):

```
M=(j5-ART5_anterior)*a5
```

```
M=int(round(M,0))
```

```
return M
```

```
#funciones para obtener los pasos necesarios de la posicion actual  
# a la deseada para la articualcion 6
```

```
def ART6_motor(j6):
```

```
M=-(j6-ART6_anterior)*a6
```

```
M=int(round(M,0))
```

```
return M
```

```
=====
```

```
===== FUNCION ENVIO DE PASOS AL ARDUINO =====
```

```
=====
```

```
def get_joints(data):
```

```
#funcion que se ejecuta cuando recibe la posicion de las  
#articulaciones en radiades
```

```
#variables globales que se modifican en esta funcion
```

```
global Motor5
```

```
global Motor6
```

```
global ART5_anterior
```

```
global ART6_anterior
```

```
#verifica que el mensaje tenga informacion
```

```
if len(data.position)==0:
```

```

return

#verifica que la informacion enviada sea para este brazo
if data.name!=['Thor2_Joint1','Thor2_Joint2','Thor2_Joint3',
                'Thor2_Joint4','Thor2_Joint5','Thor2_Joint6']:

    return

# toma la informacion del mensaje, lo asigna a sus respectiva
# articulacion luego lo pasa a grados y lo multiplica por la
# constante que pasa de grados a pasos

ART1=math.degrees(data.position[0])*-a1
ART2=math.degrees(data.position[1])*-a2
ART3=math.degrees(data.position[2])*-a3
ART4=math.degrees(data.position[3])*-a4
ART5=math.degrees(data.position[4])
ART6=math.degrees(data.position[5])

# cada articulacion en pasos se redondea y se vuelve un entero,
# luego se asigna al menssaje joint para ser puplicado al arduino,
# ademas se debe tomar en cuenta el comportamiento del sistema
# diferencial de la articualcion 5 y 6, como du movmiento depende
# de dos motores se hace de la forma mostrada, primero el movimiento
# del 5 y luego del 6, ya que si se hace simultaneo no funciona

joint.joint_1 = int(round(ART1,0))
joint.joint_2 = int(round(ART2,0))
joint.joint_3 = int(round(ART3,0))
joint.joint_4 = int(round(ART4,0))

# como el movimiento depende de los mismos dos motores se trabaja con
# dos variables globales y simplimente se suma o resta los pasos
# que correspondan

```



```

# Primero se ejecuta para la articulacion 5
Motor5=Motor5 + ART5_motor(ART5)
Motor6=Motor6 - ART5_motor(ART5)
joint.joint_5 = Motor5
joint.joint_6 = Motor6
ART5_anterior=ART5

#se vuleve a ejecutar para la articulacion 6
Motor5=Motor5 + ART6_motor(ART6)
Motor6=Motor6 + ART6_motor(ART6)
joint.joint_5post = Motor5
joint.joint_6post = Motor6
ART6_anterior=ART6

# Finalmente se publica el mensaje con todos los pasos para que
# el arduino los ejecute
jointStep.publish(joint)
jointStep_ref.publish(joint)
#rospy.loginfo( [joint.joint_5, joint.joint_6] )
rospy.loginfo( 'Pasos_enviados_al_thor2_con_exito' )

#=====
#===== Funcion principal =====
#=====

if __name__ == '__main__':

    # se inicia el nodo llamado Thor_arduino_actuadores
    rospy.init_node('Thor2_arduino_actuadores', anonymous=True)

```

```
# se define jointStep para publicar en el topic joints_steps
jointStep = rospy.Publisher('joints_steps_thor2',joints_steps ,
                             queue_size=500)

jointStep_ref = rospy.Publisher('steps_thor2_ref',joints_steps ,
                                queue_size=500)

# se define gripperCmd para publicar en el topic gripper
gripperCmd = rospy.Publisher('gripper_thor2',GripperCommand,
                              queue_size=100)

#se define el subscriptor donde se obtienen las posiciones de las
#articulaciones del topic /move_group/fake_controller_joint_states
# el cual ofrece moveit
rospy.Subscriber('/move_group/fake_controller_joint_states',
                  JointState, get_joints )

#para que el nodo se mantenga ejecutandose constnatemente
rospy.spin()
```

B.2. Nodos de interfase:Sensor_joints

B.2.1. joints_step_node_thor1

```
#!/usr/bin/env python3
```

```
import math
import time
import rospy
from arduino_Thor.msg import sensors_raw
from sensor_msgs.msg import JointState
```

```
=====
===== DEFINICION DE VARIABLES =====
```

```
#=====

# constantes de la relacion entre lectura y grados
#permite la coneversion a grados
enc=0.18
enc_art56=0.09
pot1=0.704
pot4=1.76

pot1_or=514
pot4_or=750 #750
#variables para hacer globlaes la posicion de los motores 5 y 6
Motor5=0
Motor6=0
Motor5_anterior = 0 # variables para hacer la diferencia de pasos
Motor6_anterior = 0

#variables auxiliares para hacer la conversion de radianes a pasos
ART1=0
ART2=0
ART3=0
ART4=0
ART5=0
ART6=0

# se establecen los mensajes
joints = JointState()

#===== FUNCIONES PARA LAS ARTICULACIONES 5 Y 6 =====
#=====

#funciones para obtener de la lectura global del enc5 y enc6
```

*# el desplazamiento entre la lectura actual y la anterior para obtenerla
en grados y acumularla para la articualcion 5*

```
def ART5_position(M5,M6):
    M=(M5-Motor5_anterior)
    N=(M6-Motor6_anterior)
    if M > 0 and N < 0:
        A5=-(abs(M)+abs(N))*enc/2
        return A5

    if M < 0 and N >0:
        A5=(abs(M)+abs(N))*enc/2
        return A5
    return 0
```

*#funciones para obtener de la lectura global del enc5 y enc6
el desplazamiento entre la lectura actual y la anterior para obtenerla
en grados y acumularla para la articualcion 6*

```
def ART6_position(M5,M6):
    M=(M5-Motor5_anterior)
    N=(M6-Motor6_anterior)

    if M > 0 and N > 0:
        A6=(abs(M)+abs(N))*enc_art56/2
        return A6
    if M < 0 and N < 0:
        A6=-(abs(M)+abs(N))*enc_art56/2
        return A6
    return 0
```

#

```

#===== FUNCION publica las lecturas procesadas =====
#=====

def sensor_joints(data):
    #funcion que se ejecuta cuando recibe la posicion de las
    #articulaciones en radiades

    #variables globales que se modifican en esta funcion
    global Motor5
    global Motor6
    global Motor5_anterior
    global Motor6_anterior
    global ART5
    global ART6
    # toma la informacion del mensaje, lo asigna a sus respectiva
    # articulacion luego lo pasa a grados y lo multiplica por la
    # constante que pasa de grados a pasos
    joints.name=[6]
    joints.position=[6]

    ART1=(data.joint_1-pot1_or)*-pot1
    ART2=data.joint_2*-enc
    ART3=data.joint_3*enc
    ART4=(data.joint_4-pot4_or)*pot4

    Motor5=data.joint_5
    Motor6=data.joint_6

    ART5= ART5 + ART5_position(Motor5, Motor6)
    ART6= ART6 + ART6_position(Motor5, Motor6)

    Motor5_anterior= Motor5
    Motor6_anterior= Motor6

```

```

joints.name=['joint1 ','joint2 ','joint3 ','joint4 ','joint5 ','joint6 ']

joints.position=[ART1, ART2, ART3, ART4, ART5, ART6]

# Finalmente se publica el mensaje con todas las lecturas de
# los sensores.

SensorJoint.publish(joints)
#rospy.loginfo( [joint.joint_5, joint.joint_6] )

=====
# Funcion principal
=====

if __name__ == '__main__':

    # se inicia el nodo llamado Thor_arduino_sensores
    rospy.init_node('Thor2_arduino_sensores', anonymous=True)

    # se define jointStep para publicar en el topic joints_steps
    SensorJoint = rospy.Publisher('Sensor_joints_thor1', JointState,
                                   queue_size=500)

    # se define el subscriber donde se obtienen las lecturas sin procesar
    # directamente del arduino del topic 'sensor_raw_Thor1' el cual ofrece
    # moveit
    rospy.Subscriber('sensor_raw_Thor1', sensors_raw, sensor_joints )

```

```
#para que el nodo se mantenga ejecutandose constnatamente
rospy.spin()
```

B.2.2. joints_step_node_thor2

```
#!/usr/bin/env python3
```

```
import math
import time
import rospy
```

```
from arduino_Thor.msg import sensors_raw
from sensor_msgs.msg import JointState
```

```
#=====
#===== DEFINICION DE VARIABLES =====
#=====
```

```
# constntantes de la relacion entre lectura y grados
#permite la coneversion a grados
```

```
enc=0.18
enc_art56=0.09
pot1=0.704
pot4=1.76
```

```
pot1_or=500
pot4_or=680
```

```
#variables para hacer globlaes la posicion de los motores 5 y 6
```

```
Motor5=0
Motor6=0
```

```
Motor5_anterior = 0 # variables para hacer la diferencia de pasos
Motor6_anterior = 0
```

```
#variables auxiliares para hacer la conversion de radianes a pasos
ART1=0
```

ART2=0

ART3=0

ART4=0

ART5=0

ART6=0

se establecen los mensajes

joints = JointState()

#=====

#===== FUNCIONES PARA LAS ARTICULACIONES 5 Y 6 =====

#=====

#funciones para obtener de la lectura global del enc5 y enc6

el desplazamiento entre la lectura actual y la anterior para obtenerla

en grados y acumularla para la articualcion 5

def ART5_position(M5,M6):

 M=(M5-Motor5_anterior)

 N=(M6-Motor6_anterior)

if M > 0 **and** N < 0:

 A5=-(abs(M)+abs(N))*enc/2

return A5

if M < 0 **and** N >0:

 A5=(abs(M)+abs(N))*enc/2

return A5

return 0

#funciones para obtener de la lectura global del enc5 y enc6

el desplazamiento entre la lectura actual y la anterior para obtenerla

en grados y acumularla para la articualcion 6

def ART6_position(M5,M6):


```

M=(M5-Motor5_anterior)
N=(M6-Motor6_anterior)

if M > 0 and N > 0:
    A6=(abs(M)+abs(N))*enc_art56/2
    return A6
if M < 0 and N < 0:
    A6=-(abs(M)+abs(N))*enc_art56/2
    return A6
return 0

```

```

#=====
#===== FUNCION publica las lecturas procesadas =====
#=====

```

```

def sensor_joints(data):
    #funcion que se ejecuta cuando recibe la posicion de las
    # articulaciones en radiades

    #variables globales que se modifican en esta funcion
    global Motor5
    global Motor6
    global Motor5_anterior
    global Motor6_anterior
    global ART5
    global ART6
    # toma la informacion del mensaje, lo asigna a sus respectiva
    # articulacion luego lo pasa a grados y lo multiplica por la
    # constante que pasa de grados a pasos
    joints.name=[6]
    joints.position=[6]

```

```
ART1=(data.joint_1-pot1_or)*-pot1
ART2=data.joint_2*-enc
ART3=data.joint_3*enc
ART4=(data.joint_4-pot4_or)*pot4
```

```
Motor5=data.joint_5
Motor6=data.joint_6
```

```
ART5= ART5 + ART5_position(Motor5,Motor6)
ART6= ART6 + ART6_position(Motor5,Motor6)
```

```
Motor5_anterior= Motor5
Motor6_anterior= Motor6
```

```
joints.name=['joint1 ','joint2 ','joint3 ','joint4 ','joint5 ','joint6 ']
```

```
joints.position=[ART1, ART2, ART3, ART4, ART5, ART6]
```

```
# Finalmente se publica el mensaje con todas las lecturas de
# los sensores
```

```
SensorJoint.publish(joints)
#rospy.loginfo( [joint.joint_5, joint.joint_6] )
```

```
=====
# Funcion principal
=====
```

```

if __name__ == '__main__':

    # se inicia el nodo llamado Thor_arduino_sensores
    rospy.init_node('Thor2_arduino_sensores', anonymous=True)

    # se define jointStep para publicar en el topic joints_steps
    SensorJoint = rospy.Publisher('Sensor_joints_thor2', JointState,
                                   queue_size=500)

    # se define el subscriber donde se obtienen las lecturas sin procesar
    # directamente del arduino del topic 'sensor_raw_Thor1' el cual ofrece
    # moveit
    rospy.Subscriber('sensor_raw_Thor2', sensors_raw, sensor_joints )

    #para que el nodo se mantenga ejecutandose constnatamente
    rospy.spin()

```

B.3. Sistema Visión

```

#!/usr/bin/env python3
import rospy
import cv2 as cv
import numpy as np
import time

import tf2_ros
import tf2_geometry_msgs

from cv_bridge import CvBridge, CvBridgeError

from sensor_msgs.msg import Image
from geometry_msgs.msg import Pose, Point, PointStamped
from tf.transformations import quaternion_from_euler

```

```

pose_obj= Pose()
bridge=CvBridge()
imagenPros=Image()
listo=False
rx= 0.4167      #0.440
ry= 0.4167      #0.587

def Processing(img):
    global listo
    img= bridge.imgmsg_to_cv2(img)
    img2=np.copy(img)

    height , width , f = img.shape
    ox=int(width/2)
    oy=int(height/2)

    eje(img2,ox,oy)
    # Se realiza un filtrado media con un kernel de 5x5
    frame = cv.blur(img, (5,5))

    # Se realiza la segmentacion por color de las imagenes
    mask = segHSV(frame)

    # Se calcula el centro de los bloques y la rotacion
    box = calCentro(mask,img2)

    if listo:
        cent=box[0]
        #la rotacion de la caja va 0 a -90 la cual seria el yaw
        rotacion=-box[2]
        cx=int(round(cent[0],2))
        cy=int(round(cent[1],2))
        rospy.loginfo( box[1] )

```

```

    #a mm
    objx=(cx-ox)*rx
    objy=(cy-oy)*ry

    world_pointx=(550-objy)/1000
    world_pointy=(-objx)/1000
    quaternion=quaternion_from_euler(0,0,rotacion) #roll pitch yaw
    pose_obj.orientation.w= quaternion[3]
    pose_obj.orientation.x= quaternion[0]
    pose_obj.orientation.y= quaternion[1]
    pose_obj.orientation.z= quaternion[2]
    pose_obj.position.x= world_pointx #world_point[0]
    pose_obj.position.y= world_pointy #world_point[1]
    pose_obj.position.z= rotacion

    coordPub.publish(pose_obj)
    coords(cx,cy ,objx , objy , img2)

    imagenPros=bridge.cv2_to_imgmsg(img2)
    imgPub.publish(imagenPros)
    listo=False
else:
    return None

# Funcion para realizar la segmentacion por medio de HSV
# devuelve las mascaras de los colores segmentados
def segHSV(img):

    HSV = cv.cvtColor(img, cv.COLOR_BGR2HSV)

    # Se define el rango de azul a segmentar
    lower_blue = np.array([90, 60, 30])

```

```

upper_blue = np.array([120, 255, 255])

# Se define el rango de rojo a segmentar
lower_red = np.array([0, 150, 70])
upper_red = np.array([20, 255, 255])

lower_red2 = np.array([170, 150, 70])
upper_red2 = np.array([180, 255, 255])

# Se define el rango de amarillo a segmentar
lower_yellow = np.array([10, 140, 50])
upper_yellow = np.array([35, 255, 255])

# Se obtienen las mascaras de cada bloque
red1= cv.inRange(HSV, lower_red, upper_red)
red2= cv.inRange(HSV, lower_red2, upper_red2)
mask1 = cv.inRange(HSV, lower_blue, upper_blue)
mask2 = cv.add(red1, red2)
mask3 = cv.inRange(HSV, lower_yellow, upper_yellow)

return mask3+mask1

def calCentro(mask, img):
    # funcion para determinar el centro del objeto en una mascara
    global listo
    #se buscan los contornos, se espera que solo sea uno
    cnts, hier = cv.findContours(mask, cv.RETR_CCOMP,
                                cv.CHAIN_APPROX_SIMPLE)

    if len(cnts)!=0:
        #se encierra el contorno en una caja
        rect=cv.minAreaRect(cnts[0])
        #se dibuja la caja para identificar el obajeto
        box= cv.boxPoints(rect)

```

```

        box=np.int0(box)
        cv.drawContours(img,[box],0,(0,255,0),2)

        #se devuelve la variable rect tal que
        #[(centrox,centroy),(ancho,alto),rotacion]
        listo=True
        return rect
    else:
        return None

def eje(img,ox,oy): #funcion que dibuja ejes

    #se dibuja el eje x
    cv.line(img,(ox,oy),(ox+100,oy),(0,0,255),4)
    #se dibuja el eje y
    cv.line(img,(ox,oy),(ox,oy+100),(0,255,0),4)
    return None

def coords( x, y, objx, objy ,img ):
    #funcion que muestra las coordenadas en la imagen

    # Se imprimen las coordenadas del objeto en la imagen
    #se tienen los parametros para el texto
    font = cv.FONT_HERSHEY_SIMPLEX # tipo de letra para impirmi
    xy=(x,y) # ubiacion coordenadas inferior izquierdas de las letras
    fontScale = 0.5 # escala de las letras
    color = (255, 0, 0) # color en BGR de las letras
    thickness = 1 # Anchura de las letras en pixeles
    cv.putText(img, str((round(objx,2),round(objy,2))), xy, font,
                fontScale, color, thickness, cv.LINE_AA)
    return None

```

```
if __name__ == '__main__':

    rospy.init_node('Thor_arduino', anonymous=True)

    #objt= rospy.Publisher('object_pose',joints_steps, queue_size=10)
    imgPub = rospy.Publisher('/camara/img_procesada',Image, queue_size=10)
    coordPub= rospy.Publisher('pose_objeto',Pose, queue_size=10)
    rospy.Subscriber('/camara/image_raw', Image ,Processing)
    rospy.spin()

rospy.Subscriber('/camara/image_raw', Image ,Processing)
```




Instrucciones de ensamble.

Este anexo incluye las instrucciones de ensamble que se deben de leer para comprender el proceso de armado de un brazo THOR, además incluye información de la cantidad de materiales y las conexiones eléctricas.

INSTRUCCIONES DE ENSAMBLE

OSCAR

II Semestre 2022



Tabla de contenido

Descripción	1
Gripper.....	3
Articulación 5 & 6	7
Articulación 3& 4	15
Unión Superior	21
Articulación 1	22
Articulación 2 ladoA	26
Articulación 2 ladoB	30
Unión media.....	33
Base.....	35
Unión inferior.....	42
Unión Base-Case	43
Conexión eléctrica	46

DESCRIPCIÓN

Este documento se encuentra la información necesaria para montar y desmontar el brazo THOR utilizado como un componente de OSCAR, proyecto desarrollado en el Laboratorio de inteligencia Artificial para las ciencias naturales LIANA del área académica de mecatrónica en el instituto tecnológico de Costa Rica. El montaje y desmontaje del brazo es un proceso bastante largo y se debe de tener cuidado especialmente con cables y piezas frágiles, además el orden es imprescindible para pasar los cables a través de las piezas. Cada articulación se explica como un pequeño ensamble, así se pueden armar las partes con más detalle. En este documento también se incluye todo el armado eléctrico, eso quiere decir que se incluye la codificación de colores de los cables, el nombre de cada cable a cada componente y la conexión al PCB.

Este instructivo se desarrolló con el propósito de ser usado en laboratorio para ayudar a entender como esta armado el brazo en caso de dar algún mantenimiento o la construcción de otro brazo, además este documento se puede modificar según las necesidades del LAIANA.

Herramientas necesarias para el armado:

- Alicata de puntas
- Llave Allen para tornillos M3 y M5
- Adhesivo liquido

Herramientas necesarias para el PCB y la conexión de cables:

- Cautín y soldadura
- Cuchilla o cortadora para pelar cable

Lista de materiales para cada brazo THOR

Componente	Cantidad
Gripper	
Tuerca M3	13
M3x12	9
M3x20	4
Articulación 56	
Tuerca M3	37
Tuerca M5seguridad	1
M3x25	8
M3x20	10
M3x10	4
M3x16	4
M3x10 cabeza plana	6
M3x12	4
M3x35	4
Articulación 34	
Tuerca M3	18
M3x10	14
M3x16	3
M3x20	2
M3x25	3
Articulación 1	
Tuerca M3	6
M3x10	6
M3x20	8
M3x40	10
Articulación 2 lado A	
Tuerca M3	10
M3x10	4
M3x12	4
M3x25	2
Articulación 2 lado B	
Tuerca M3	22
M3x10	8
M3x10 cabeza plana	4
M3x12	2
M3x45	4

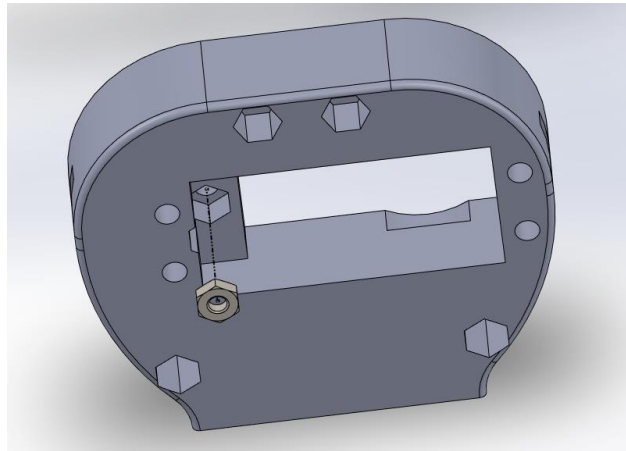
Componente	Cantidad
Base	
Tuerca M3	21
M3x10	2
M3x12	1
M3x16	2
M3x20	4
M3x30	3
M3x40	9
Case	
Tuerca M3	26
M3x10	10
M3x20	16
Tuerca M5	4
M5x25	4
Unión superior	
M3x12	3
M3x20	4
Unión media	
Mx45	4
Unión inferior	
M3x16	4

Componente	Cantidad
PCB	
JST 2 pines	11
JST 3 pines	4
JST 4 pines	12
Capacitor 100uF/35V	7
Capacitor 10uF/100V	1
Capacitor 0.1uF/50V	1
Regulador LM7805	1
Resistencia 10K	1
8xPines hembra	14
40Pines machos	5
Conector DC barrel	1
Driver A4988	7
Arduino Mega	1

GRIPPER

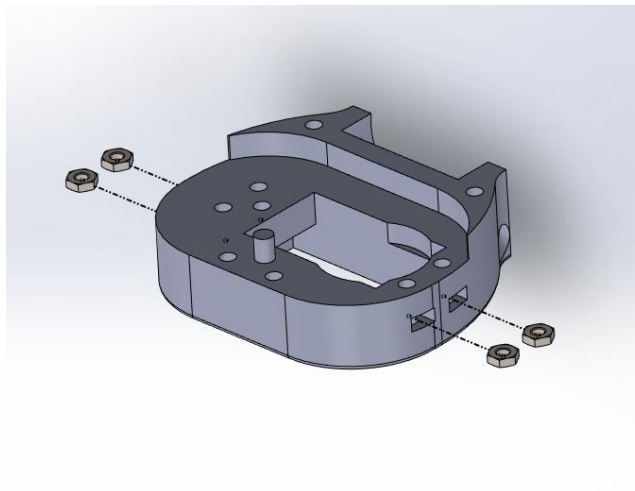
Paso 1

Colocar una tuerca M3 en el orificio mostrado de la pieza GripperBot. Se puede poner una gotita de algún adhesivo para dejar la tuerca en su lugar de ser necesario.



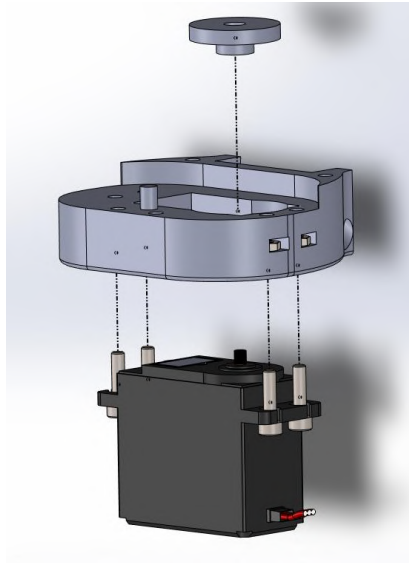
Paso 2

Colocar 4 tuercas M3 en los orificios laterales de la pieza GripperBot.



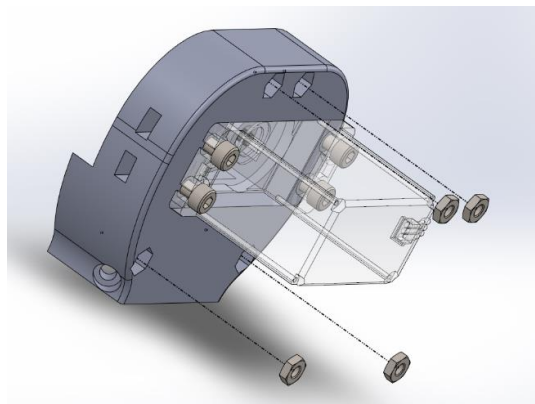
Paso 3

Con 4 tornillos M3x12 se debe asegurar el servo MG996 a la pieza GripperBot, luego se debe colocar el acople que incluye el servo



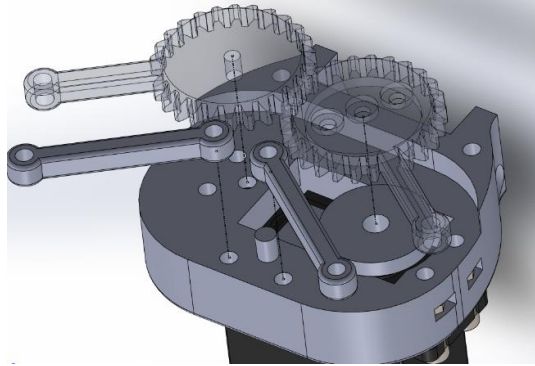
Paso 4

Se colocan 4 tuercas M3 en los orificios indicados de la pieza GripperBot. En caso de ser necesario las tuercas se pueden asegurar en su lugar con algún adhesivo.



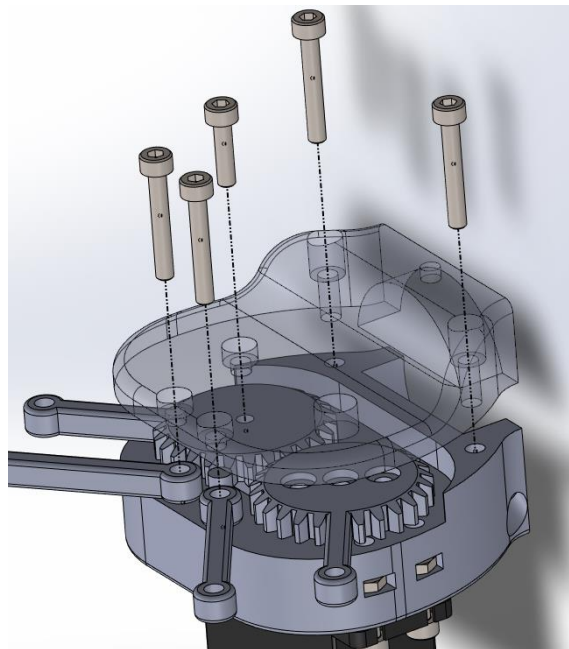
Paso 5

Se deben colocar las piezas tal que los GripperArm van en los agujeros del frente, el GripperPassiveArm va atrás junto con el GripperActiveArm que se sujeta al acople del motor mediante dos tornillos en los agujeros de los extremos de la piza.



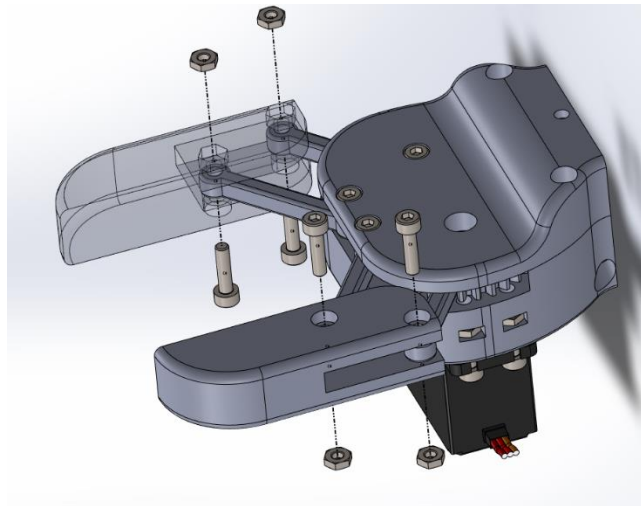
Paso 6

Se colocan los tornillos M3x20 en los orificios de la pieza GripperTop para sujetar los GripperArm y el GripperPassiveArm, para el caso del GripperActiveArm se termina de sujetar con el acople al servo mediante los tornillos que se incluyen con el servo.



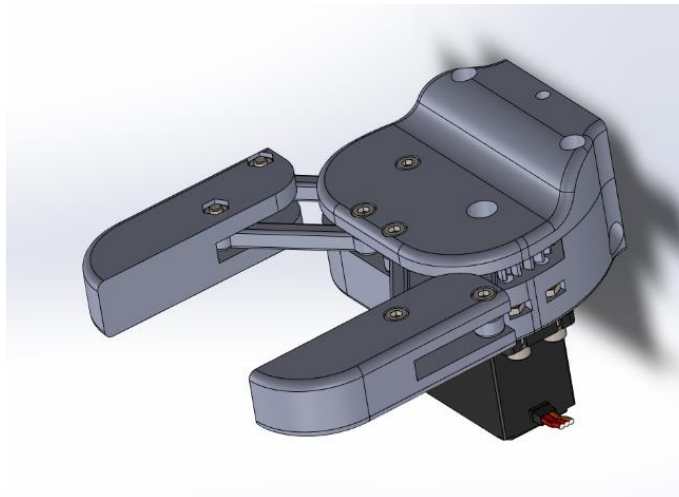
Paso 7

Mediante tornillos M3x12 con sus respectivas tuercas se unen los GripperFinger a los GripperArm tal como se muestra.



Paso 8

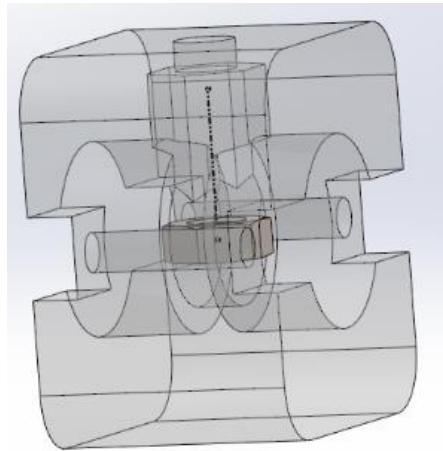
El gripper final se debería ver de la siguiente forma, se debe tener cuidado con no presionar los tornillos de la pinza a punto de que estos no se puedan rotar para abrir y cerrar la pinza.



ARTICULACIÓN 5 & 6

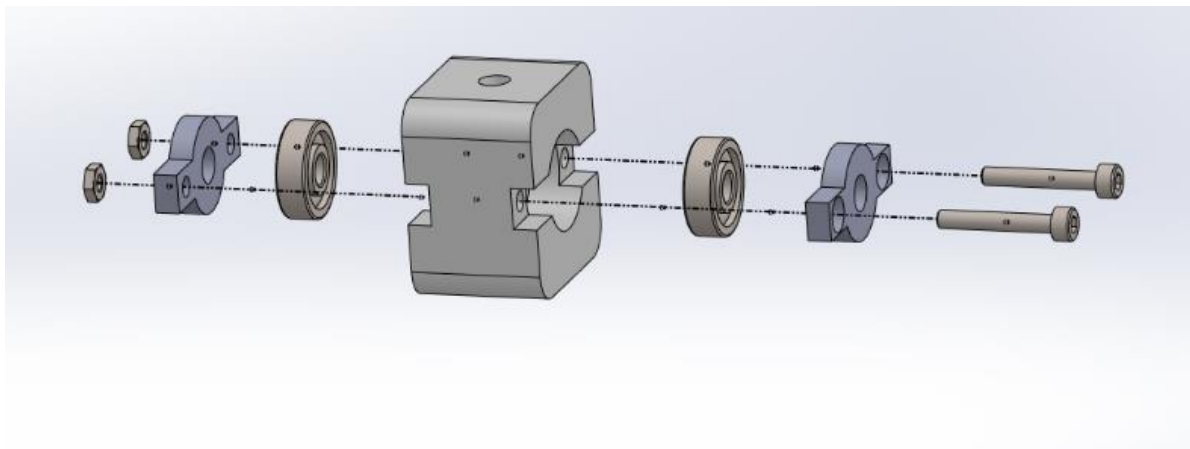
Paso 1

Colocar la tuerca de seguridad M5 en la pieza Art56MotorCoverRing tal como se muestra, la tuerca se introduce por los costados y se coloca en la ranura, se debe colocar algún adhesivo para mantener la tuerca en su lugar y sea más fácil su manipulación.



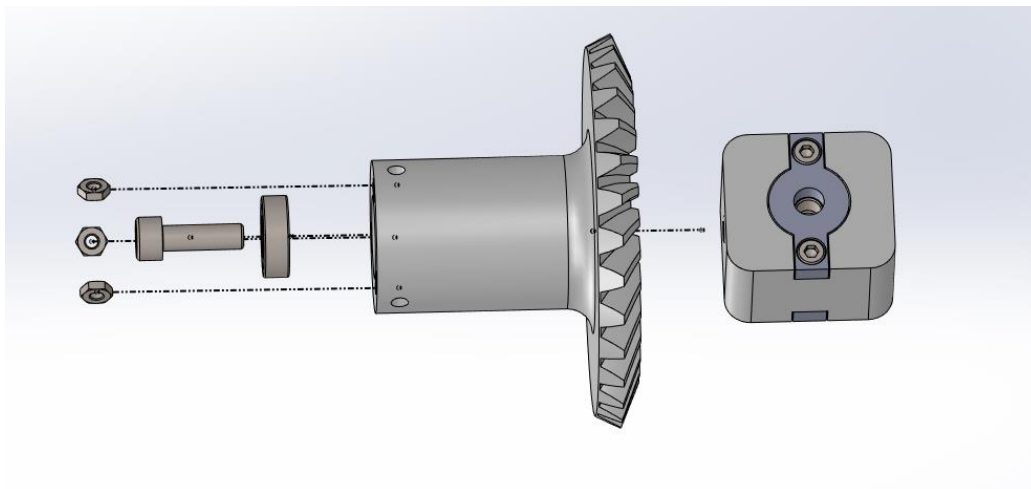
Paso 2

A la pieza Art56MotorCoverRing se le introducen los rodamientos 625 seguido de las piezas CoverRingBolt y CoverRingNut para mantenerlos en su lugar, luego a estas se le colocan dos tornillos M3x20 con sus respectivas tuercas M3.



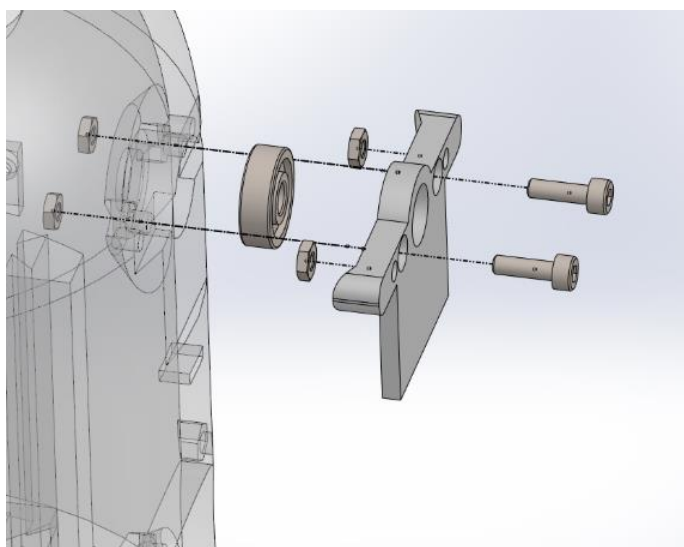
Paso 3

Se introduce el rodamiento 625 en la pieza Art56GearPlate, seguido va el tornillo M5x16 que asegura el conjunto a la pieza Art56MotorCoverRing permitiendo rotar la estructura. Por ultimo se colocan 3 tuercas M3 en las ranuras superiores del Art56GearPlate.



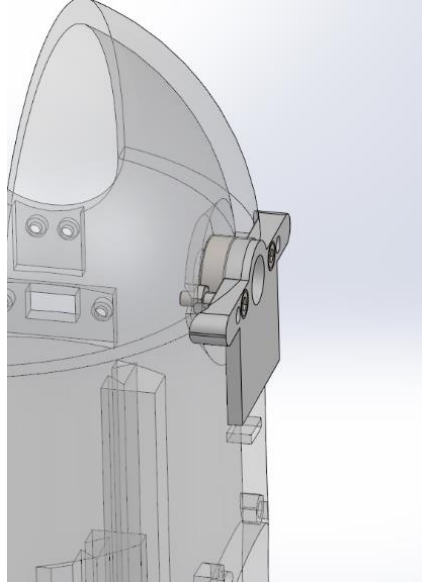
Paso 4

Colocar dos tuercas M3 en las ranuras interiores de la pieza Art4Body, seguido de un rodamiento 625 en el orificio externo, a la pieza EncoderMount se le colocan 2 tuercas M3 y se asegura a la pieza Art4Body mediante 2 tornillos M3x10.



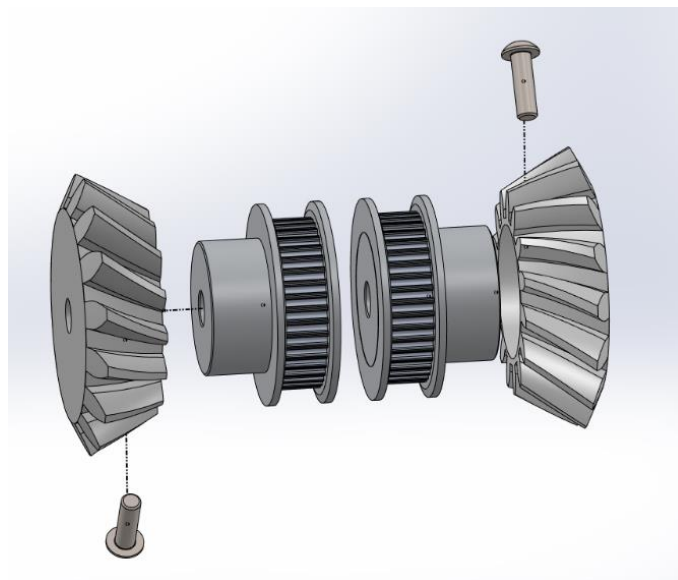
Paso 5

El paso 4 se debe repetir para el lado opuesto ya que estos rodamientos sirven como soporte de los ejes de las poleas.



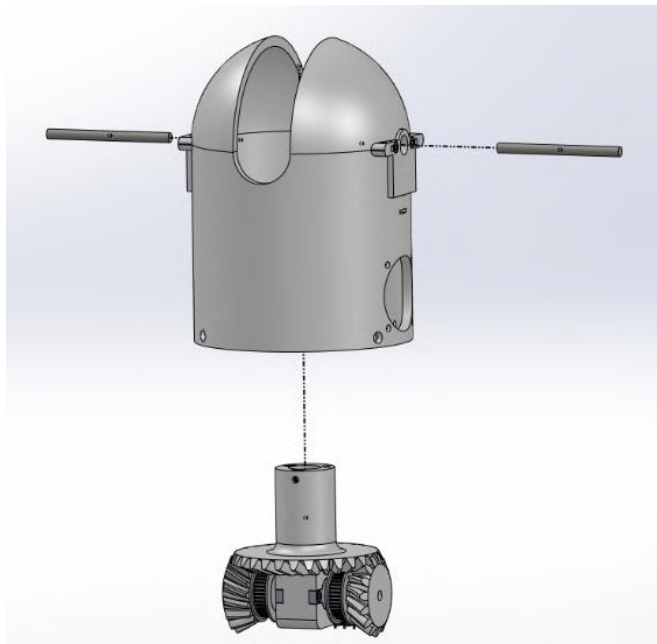
Paso 6

Las piezas Art56SmallGear se colocan a las poleas de GT2 de 20 dientes, luego se colocan los tornillos M3x10 de cabeza plana pero no se introducen por completo, primero se deben de poner en posición.



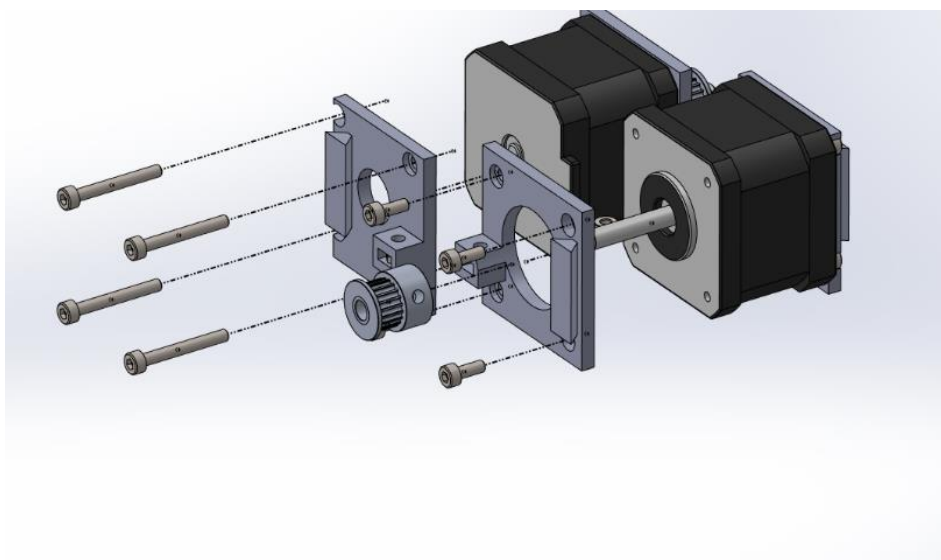
Paso 7

Se introducen las partes previamente ensambladas como se muestra, los ejes de 66x5mm se colocan de forma que la polea este soportada en el eje entre los rodamientos de las piezas Art4Body y Art56MotorCoverRing. No se debe olvidar introducir las fajas de 200mm que están en las poleas.



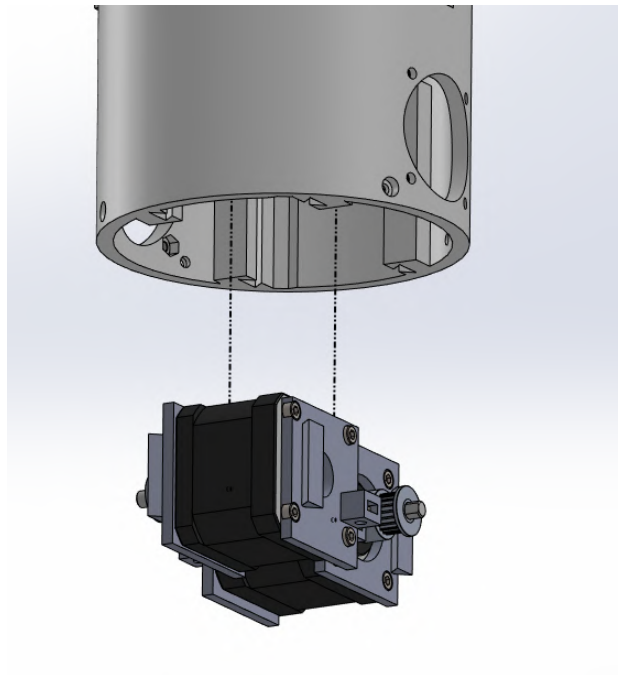
Paso 8

A los motores a pasos Nema17-34 se les debe colocar la pieza Art56MotorHolderA al frente y se sujeta mediante tornillos M3x8 y la pieza Art56MotorHolderB por detrás mediante tornillos M3x25. Los triángulos salidos deben estar del mismo lado ya que estos se insertan en la pieza Art4Body. Finalmente se colocan las poleas de los motores. Se colocan tuercas M3 en las ranuras salidas que tiene las piezas, ya que luego sirve para tensar la faja.



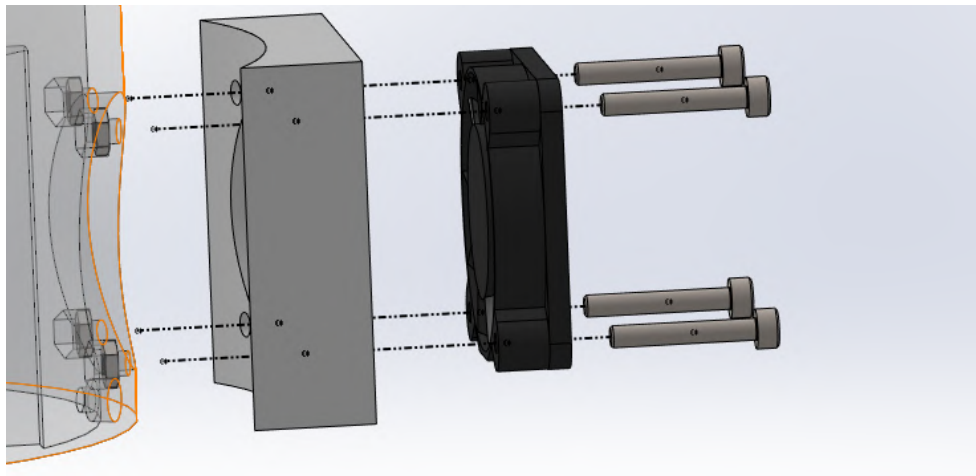
Paso 9

Se introducen los motores en los rieles tal como se muestra, se debe tener cuidado con las tuercas, de ser necesario se puede usar un poco de adhesivo para mantenerla en su lugar. La faja se debe montar en la polea del motor para conectar el Art56SmallGear con el motor a pasos.



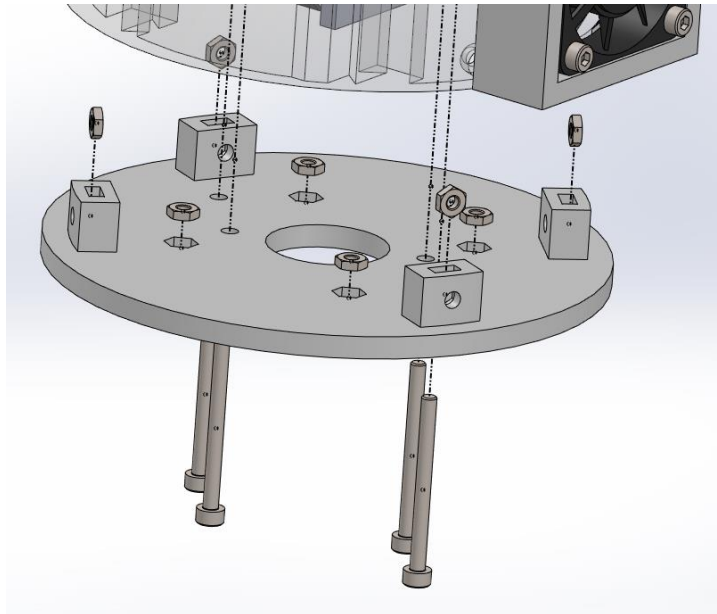
Paso 10

Se colocan tuercas M3 en el interior de la pieza Art4Body como se muestra, se pasa el cable del ventilador por dentro de la pieza Art4BodyFan como se muestra. Aun no se debe asegurar las piezas con tornillos M3x20 antes se debe verificar el motor a pasos tenga la faja bien colocada y que la pieza Art4BodyBot este en su lugar, vea el siguiente paso.



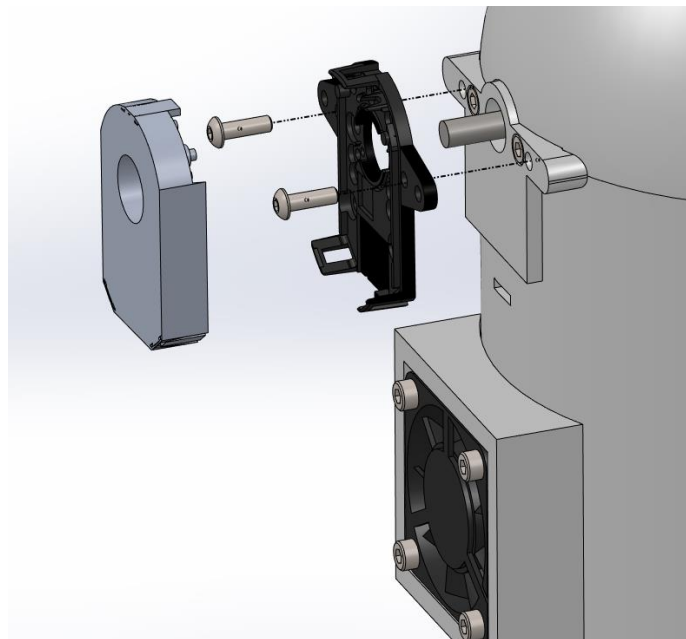
Paso 11

Se colocan las 8 tuercas M3 en la pieza Art4BodyBot, primero se usan los tornillos M3x12 para asegurarla a la pieza Art4Body en los 4 laterales, luego se usan los tornillos M3x35 para asegurar y tensar los motores. Finalmente se termina se asegurar los ventiladores del paso 10. No olvidar pasar todos lo cables de los motores y sensores.



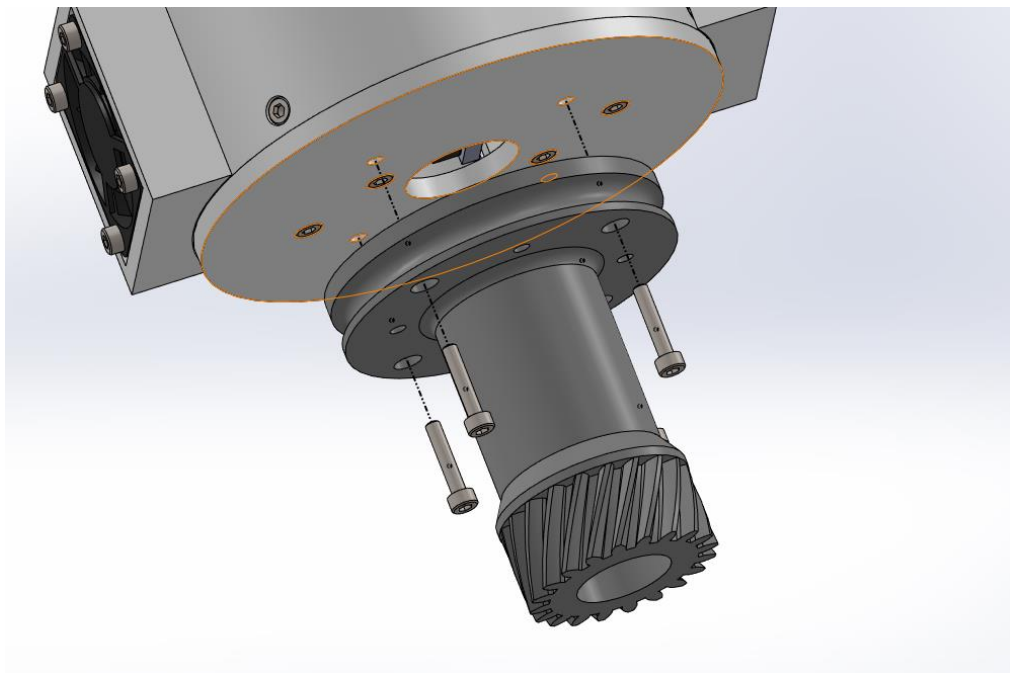
Paso 12

Se instala el encoder siguiendo las instrucciones que se incluyen, recordar haber pasado el cable antes. Primero se coloca el adaptador al eje, luego la base y de ultimo el encoder.



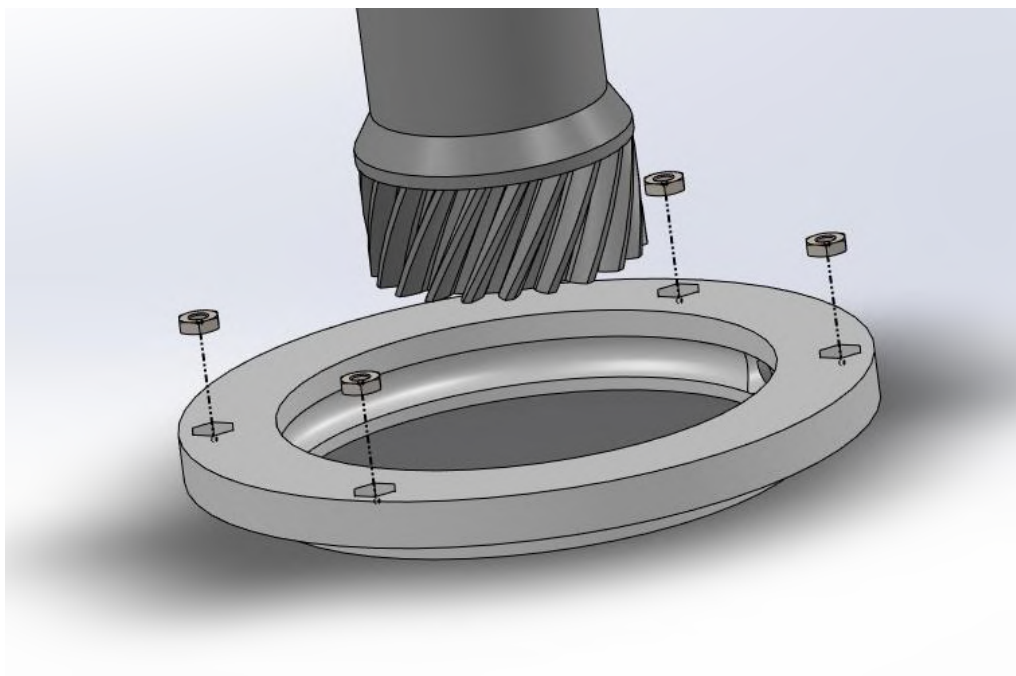
Paso 13

La pieza Art4TransmissionColumn se une a la pieza Art4BodyBot mediante 4 tornillos M3x16. Los cables se pasan por el orificio.



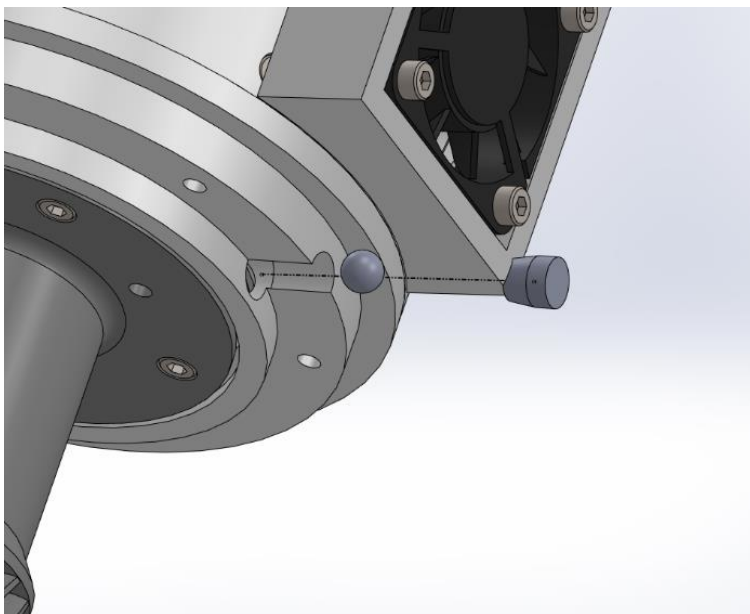
Paso 14

A la pieza Art4BearingRing se le colocan 4 tuercas M3 en los orificios correspondientes, este conjunto es un rodamiento que permite rotar en la articulación 4.



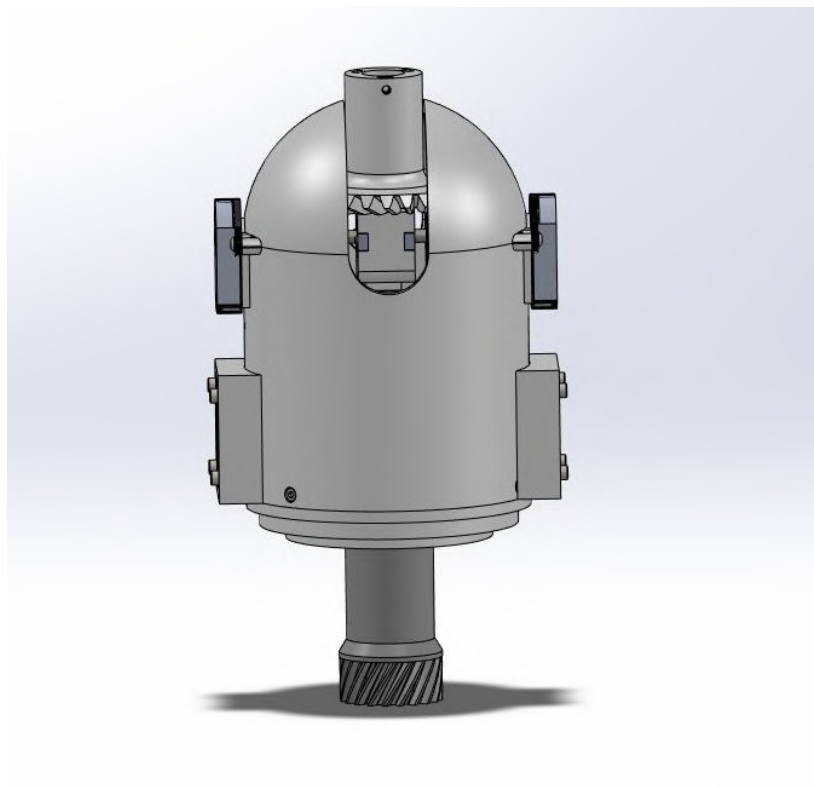
Paso 15

Se introducen de aproximadamente 40 bolas de 6mm que para mantener la pieza en su lugar y se sella con el Art4BearingPlug para las bolas no se salgan, se puede añadir cinta para asegurar el cierre.



Paso 16

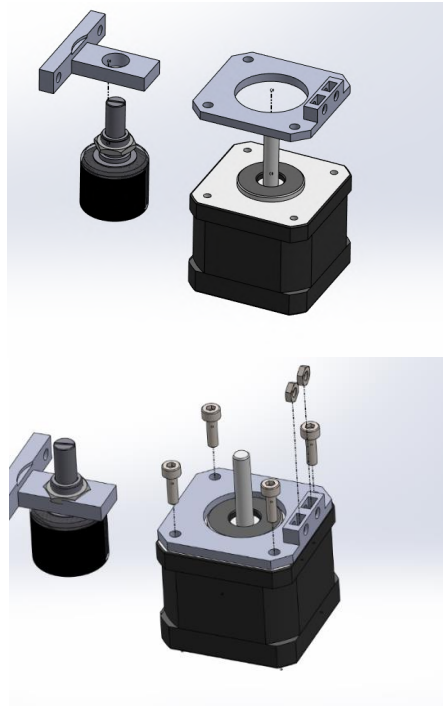
Al finalizar se debe asegurar que las piezas de la articulación 4 y la articulación 56 roten con facilidad.



ARTICULACIÓN 3 & 4

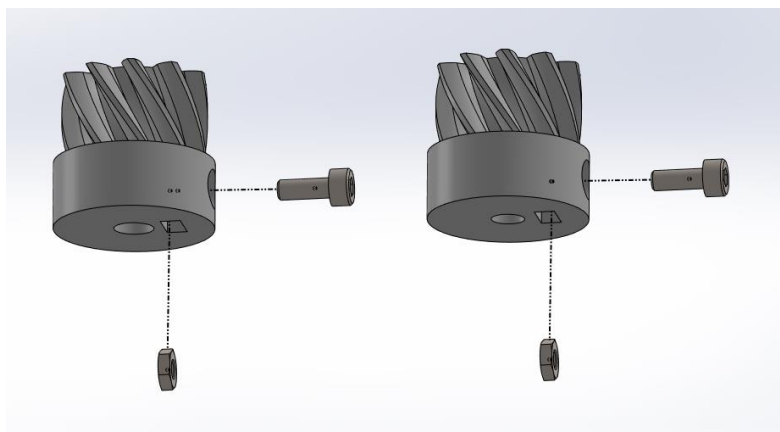
Paso 1

Primero se deben colocar la pieza Art4MotorFix al motor a pasos nema17-34 mediante 4 tornillos M3x8 y la pieza Art4PotMount se debe colocar al potenciómetro y se asegura mediante la tuerca que este incluye. A la pieza Art4MotorFix se deben agregar 2 tuercas M3 en las ranuras superiores.



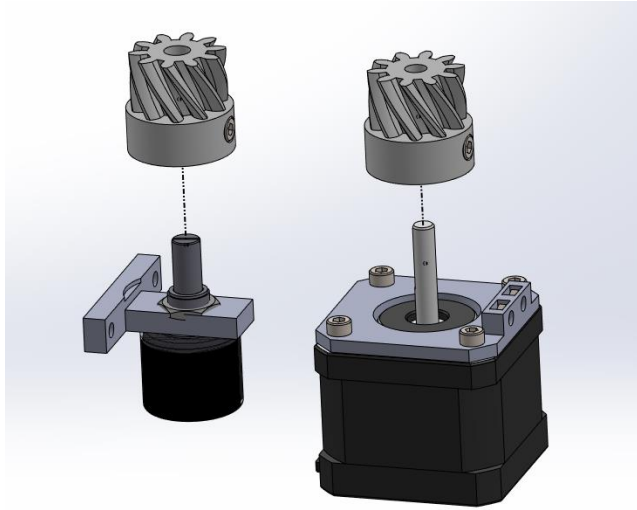
Paso 3

Se deben agregar una tuerca M3 y un tornillo M3x 10 a las piezas Art4MotorGear y Art4PotGear.



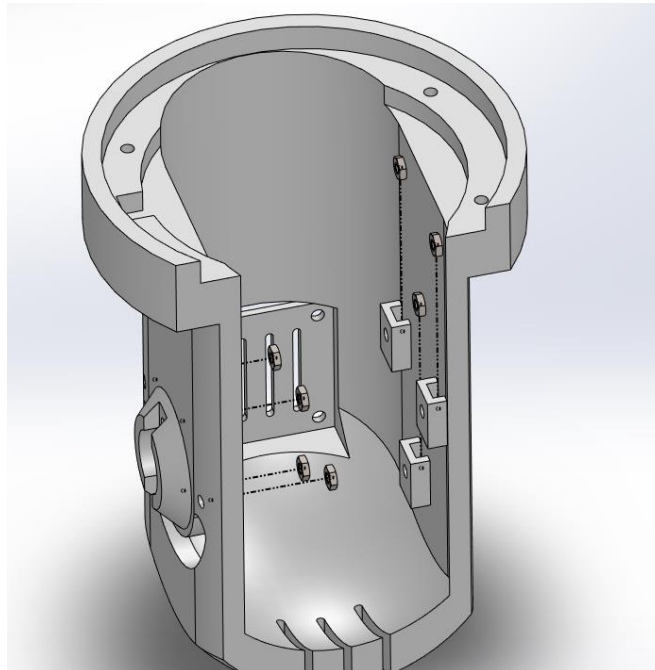
Paso 4

Las piezas Art4MotorGear y Art4PotGear se colocan al motor y al potenciómetro respectivamente, tener cuidado que los diámetros de los ejes de estos.



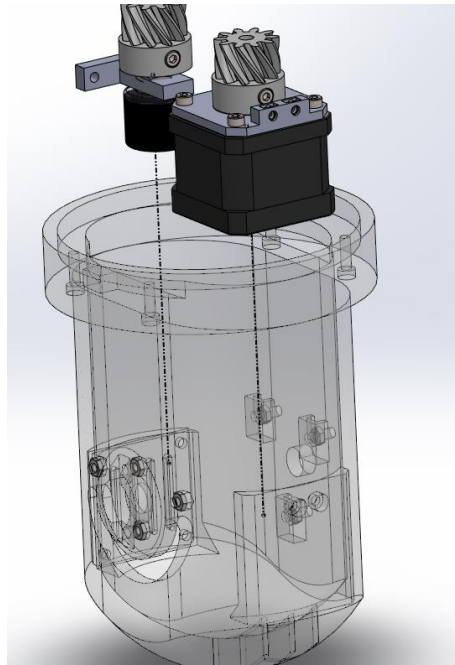
Paso 5

Colocar 7 tuercas M3 en las ranuras interiores de la pieza Art3Body, de ser necesario se puede añadir adhesivo para mantener la tuerca en su lugar correcto.



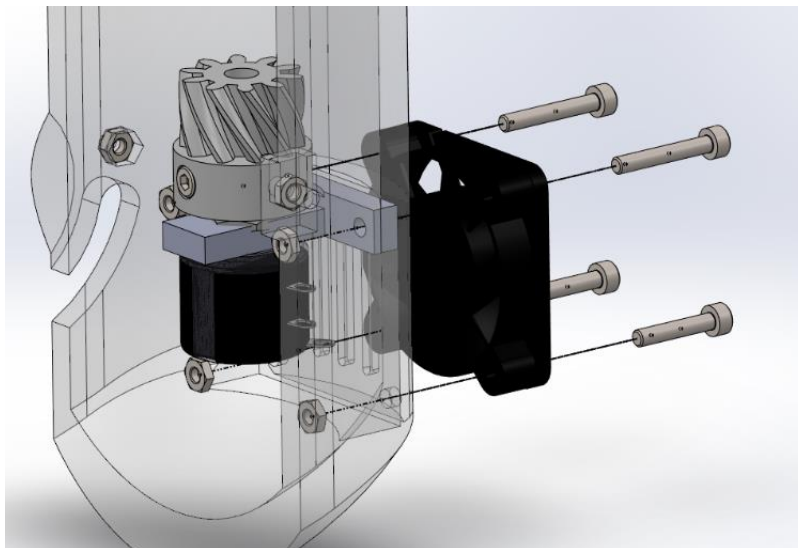
Paso 6

Colocar los conjuntos previos del motor y el potenciómetro dentro de la pieza Art3Body como se muestra, se debe tener cuidado con el lado de los cables y conectores.



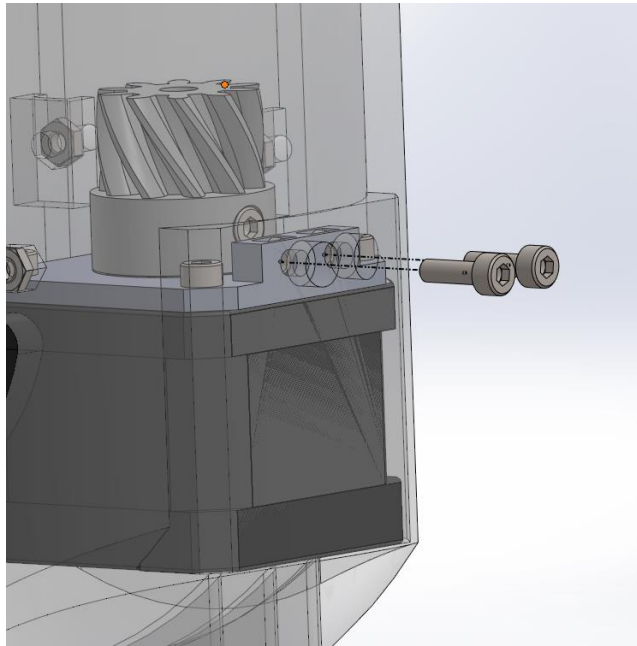
Paso 7

El ventilador de 40x10mm se coloca en el exterior, teniendo cuidado con el flujo de aire. En la parte superior se colocan 2 tornillos M3x20 que también se encargan de asegurar el potenciómetro y 2 tornillos M3x16 en la parte inferior que solo sujetan el ventilador, se agregan sus tuercas M3 respectivas.



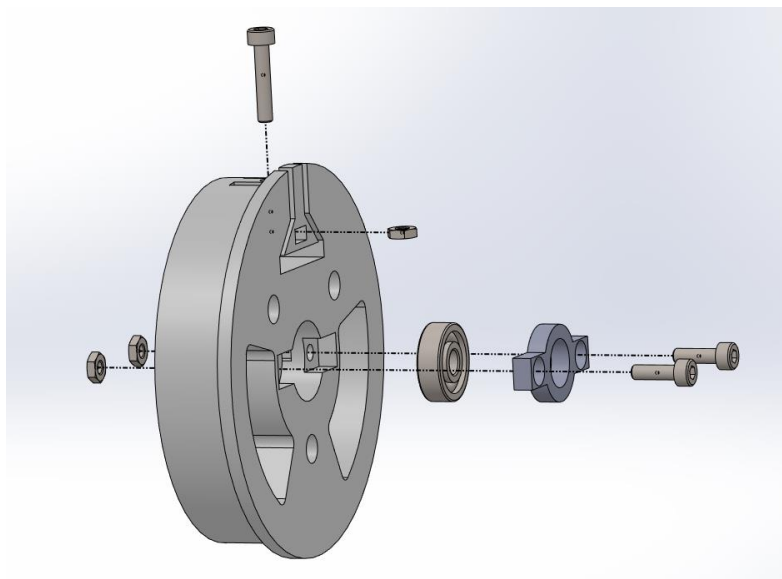
Paso 8

El motor se sujeta a la pieza Art3Body mediante 2 tornillos M3x10, el motor se monta en el escalón que tiene la pieza en su interior.



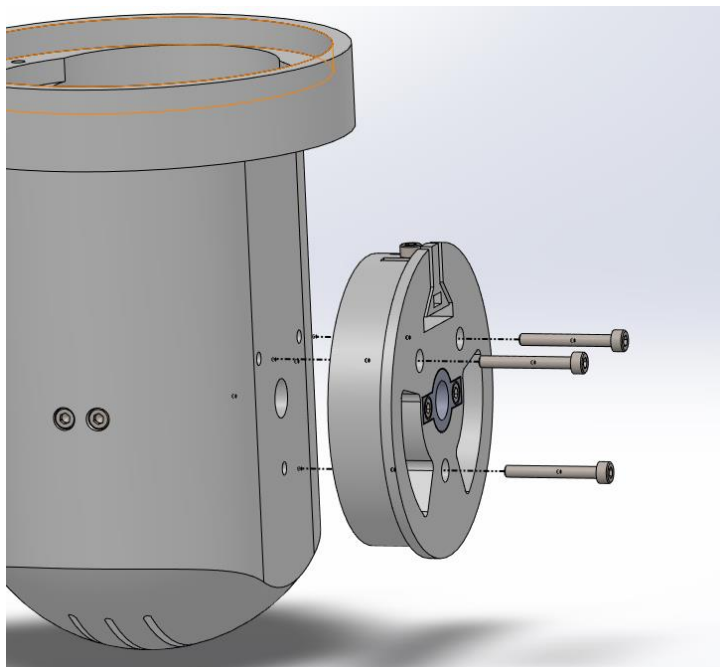
Paso 9

Para la polea en la parte superior se introduce un tornillo M3x16 con tuerca que sirve para sujetar la correa, en los laterales se deben introducir 2 tuercas M3 y en el lateral con la ranura más grande se inserta un rodamiento 625 seguido de la pieza CommonBearingFixThrough y se asegura con dos tornillos M3x10.



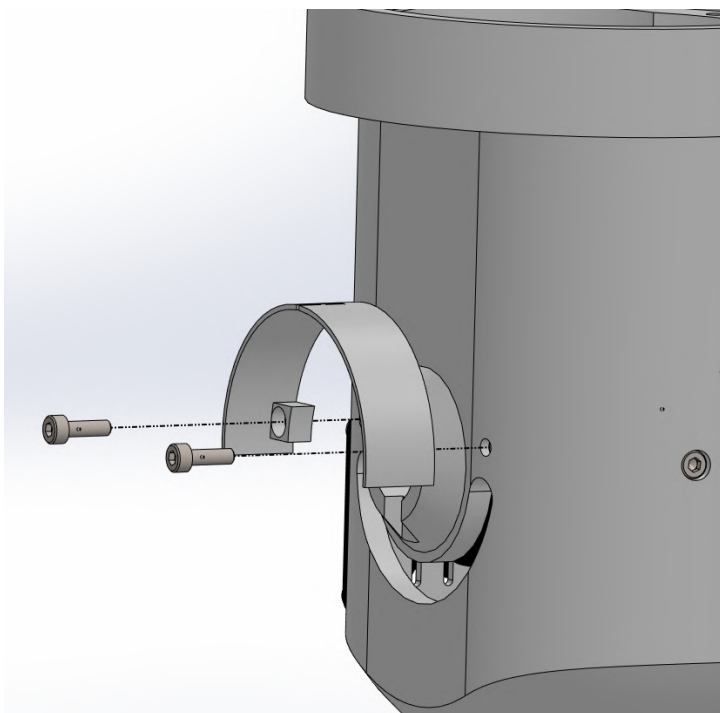
Paso 10

La polea se asegura a la pieza Art3Body mediante 3 tornillos M3x25



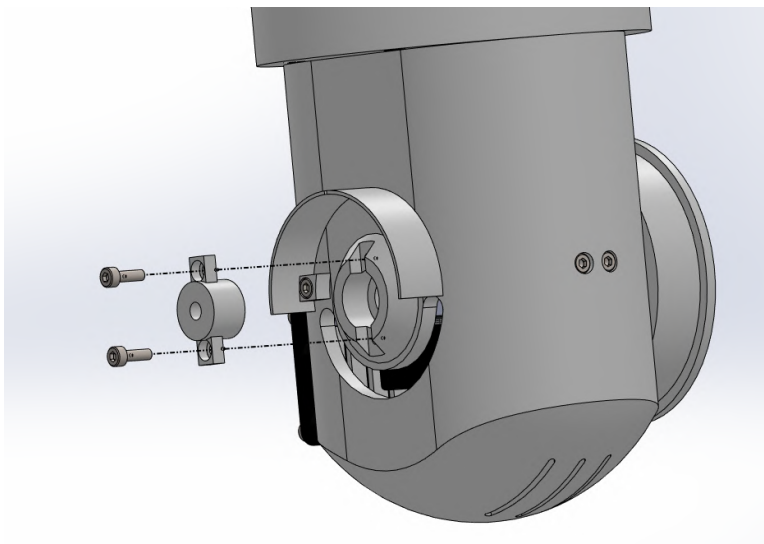
Paso 11

En el otro lateral de Art3body se asegura la pieza Art23Optodisk mediante 2 tornillos M3x10.



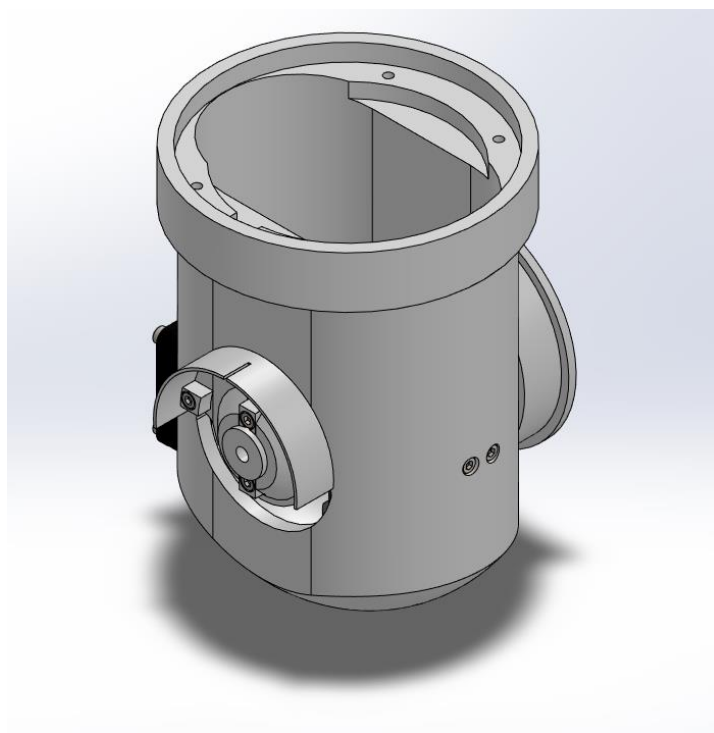
Paso 12

Se coloca la pieza AxisFix mediante 2 tornillos M3x10, se recomienda primero colocar y medir el eje para asegurarlo a esta pieza mediante un adhesivo fuerte, ya que el eje debe de rotar con toda la Art3Body.



Paso 13

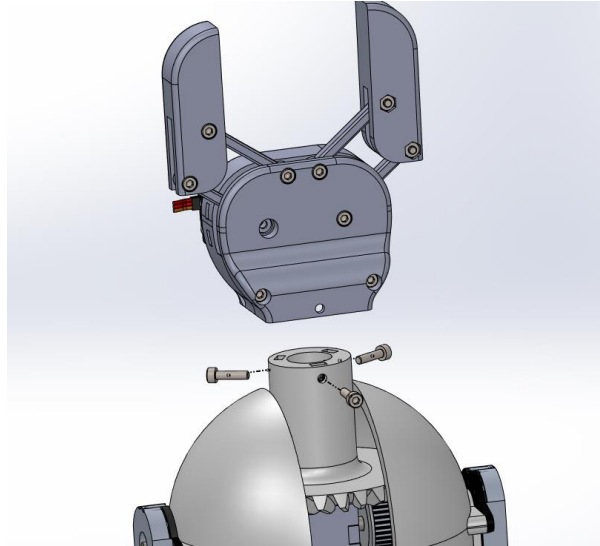
Al finalizar se debe asegurar que las piezas de la articulación 34 estén bien aseguradas y que los cables estén bien conectados y no se enreden entre ellos o con alguna pieza que se mueva.



UNIÓN SUPERIOR

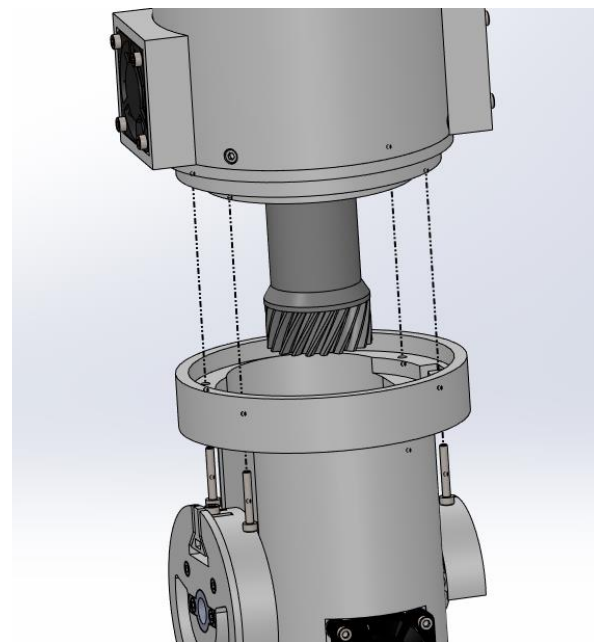
Paso 1

El gripper o la pinza se asegura mediante 3 tornillos M3x12, recordar que se pueden colocar otro tipo de efectores que se adecuen a la forma de conectar con los tornillos.



Paso 2

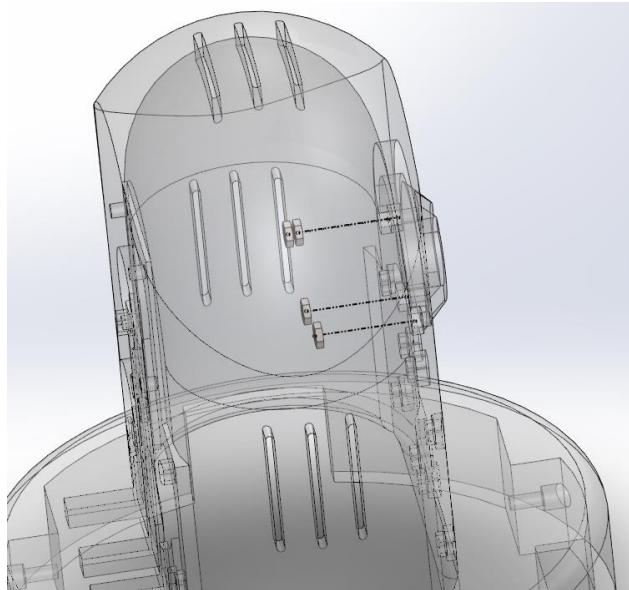
La articulación 56 se asegura con la articulación 34 mediante 4 tornillos M3x20, se debe tener cuidado de que los engranes estén bien puestos.



ARTICULACIÓN 1

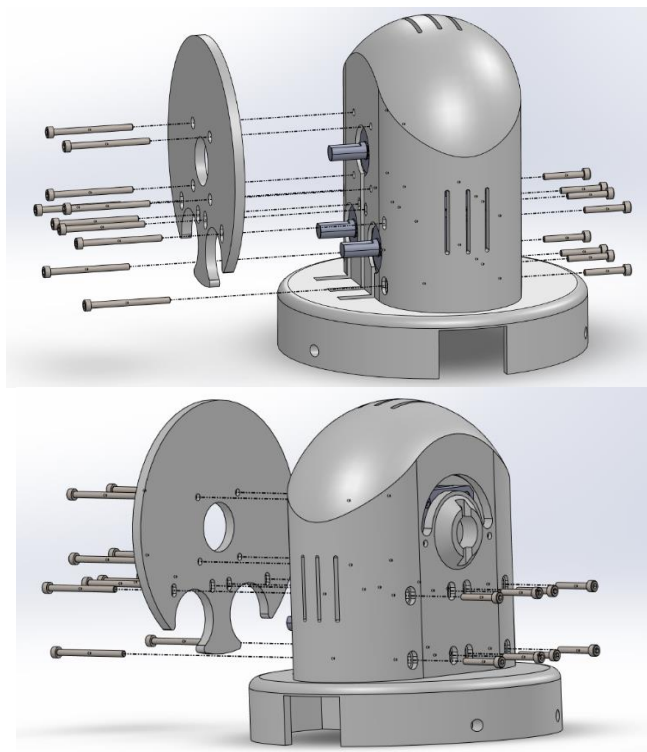
Paso 1

Se deben colocar 4 tuercas M3 en las ranuras interiores de la pieza Art1Body.



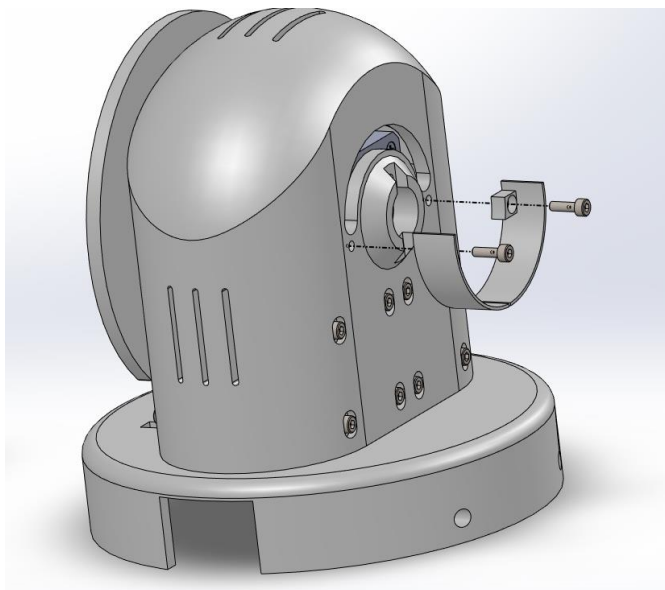
Paso 2

Se deben introducir los 3 motores nema17 con reducción 5:1 dentro de la pieza Art1Body, esta en la parte trasera se aseguran mediante 8 tornillos M3x20 y en la parte del frente se coloca primero Art2BodyACover1 seguido de los 10 tornillos M3x40.



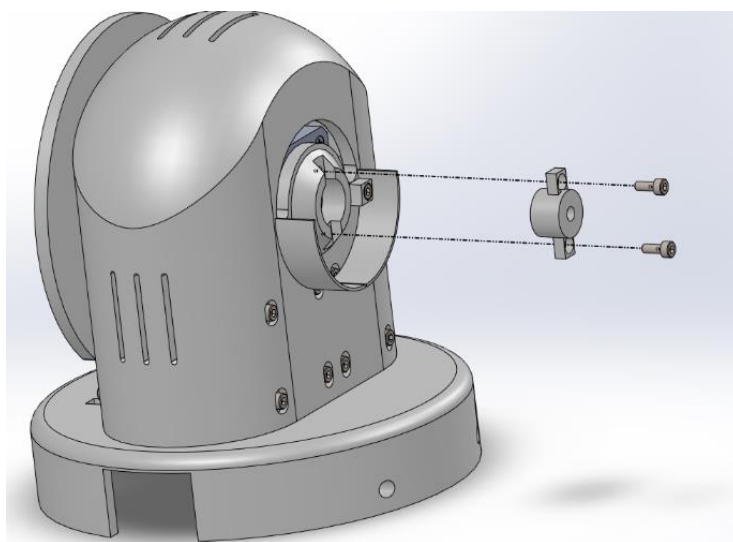
Paso 3

En el otro lateral de Art1body se asegura la pieza Art23Optodisk mediante 2 tornillos M3x10.



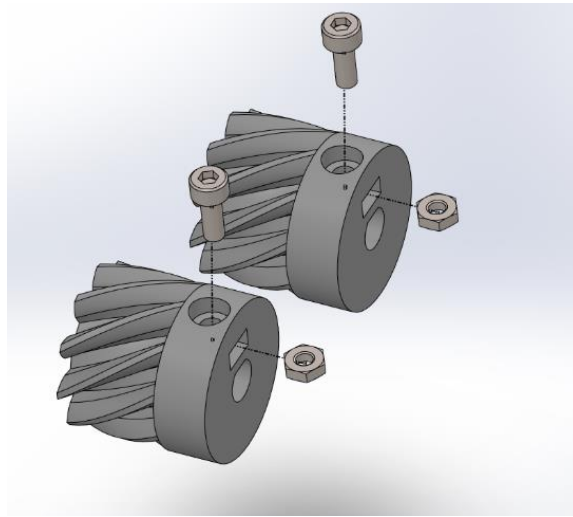
Paso 4

Se coloca la pieza AxisFix mediante 2 tornillos M3x10, se recomienda primero colocar y medir el eje para asegurarlo a esta pieza mediante un adhesivo fuerte, ya que el eje debe de estar fijo con la pieza Art1Body.



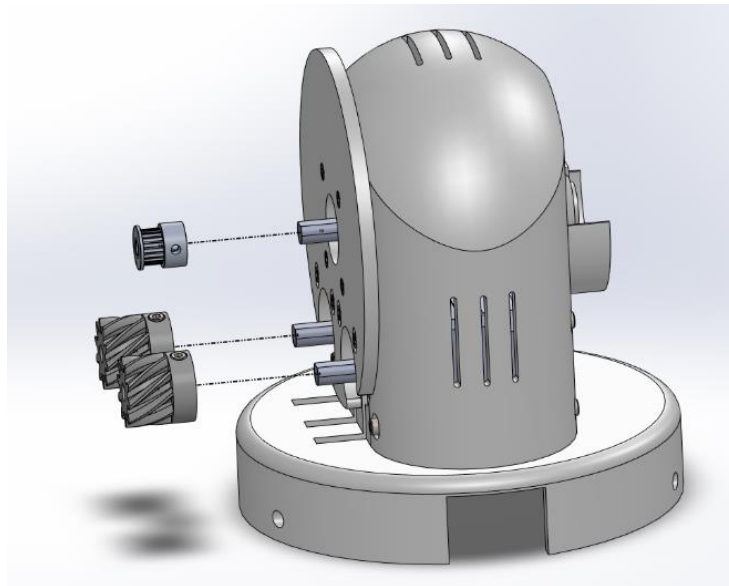
Paso 5

A las piezas Art2MotorGear se les debe agregar un tornillo M3x8 con su respectiva tuerca.



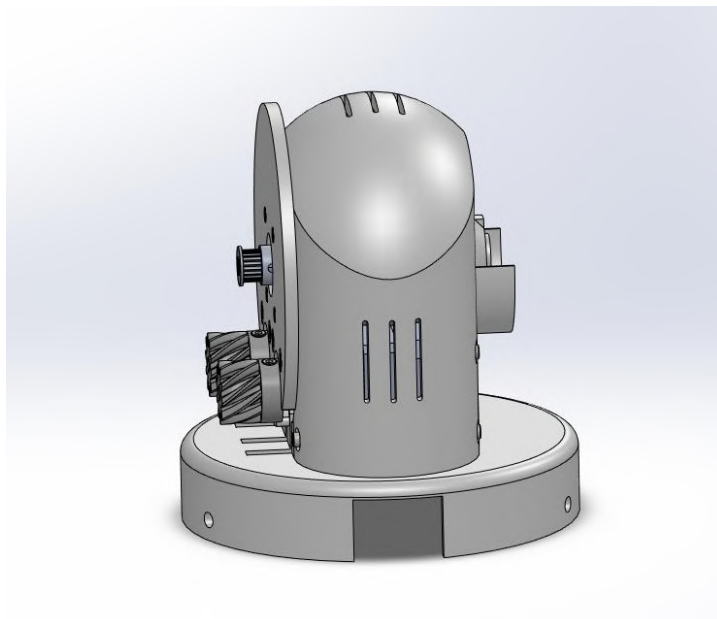
Paso 6

A los motores nema 17 se les colocan las piezas Art2MotorGear en los dos de abajo y en el motor de arriba se coloca la polea G2T.



Paso 7

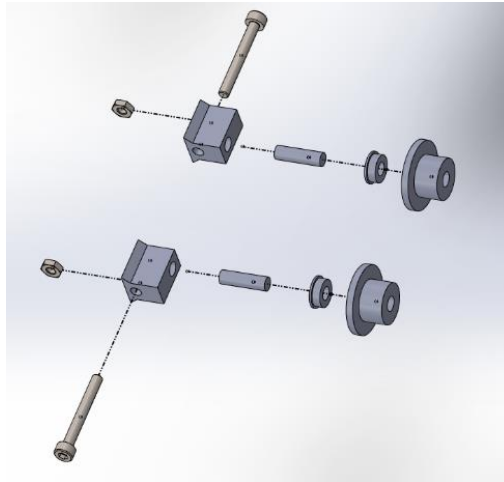
Al finalizar asegurarse de que la articulación 1 tiene todas sus piezas bien aseguradas, tener cuidado con los cables de los motores y asegurar el espacio para pasar el resto de los cables.



ARTICULACIÓN 2 LADOA

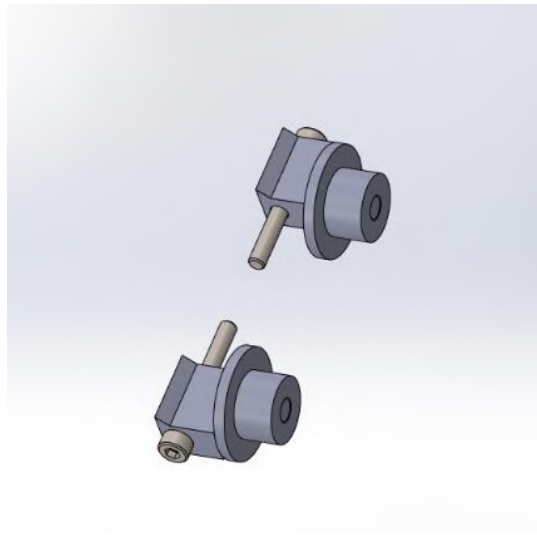
Paso 1

Para formar las tensoras se le debe colocar una tuerca M3 y un tornillo M3x25 a la pieza Art3TensionerBody como se muestra, luego se le coloca el eje 14x4mm, el rodamiento MF84ZZ se coloca en la pieza Art3TensionerPulley y esta se monta sobre la otra parte del eje.



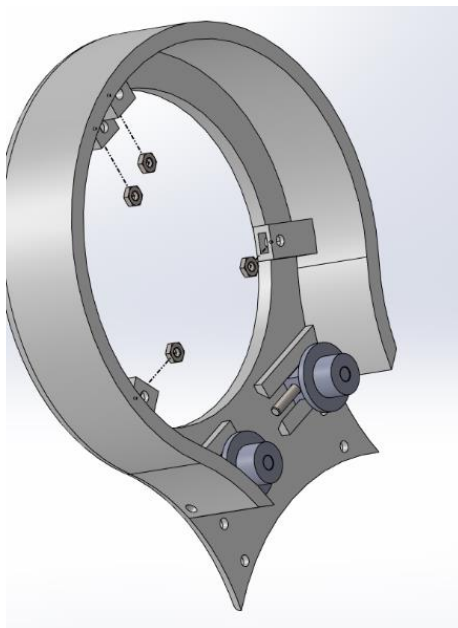
Paso 2

Las tensoras se deben ver como se muestran a continuación, una vez estén bien se colocan dentro de la pieza Art2BodyA_Splitted_B.



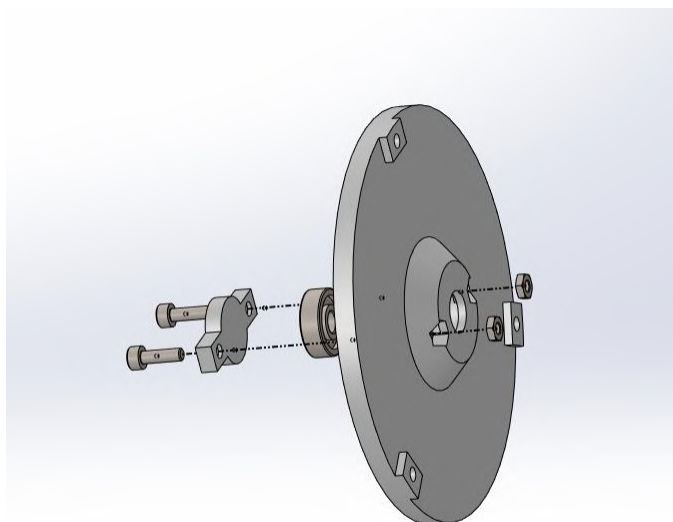
Paso 3

En la pieza Art2BodyA_Splitted_B se deben colocar 3 tuercas M3 como se muestra, en caso de ser necesario se le puede añadir un poco de adhesivo para mantenerlas en su lugar.



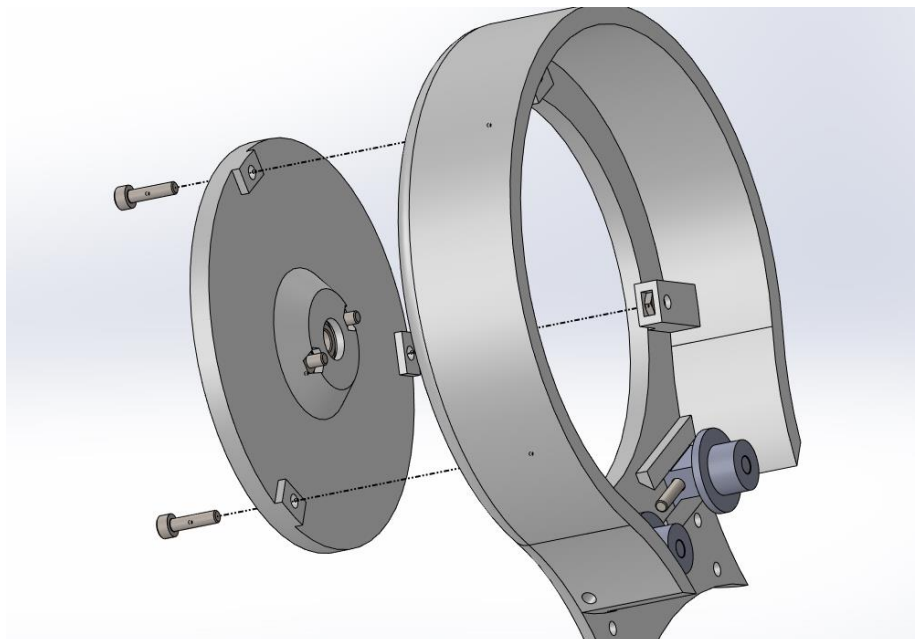
Paso 4

En la pieza Art2BodyAWindow se colocan 2 tuercas M3 en la parte posterior, en la delantera se coloca el rodamiento 625 y mediante la tapa CommonBearingFix se mantiene en su lugar con dos tornillos M3x10.



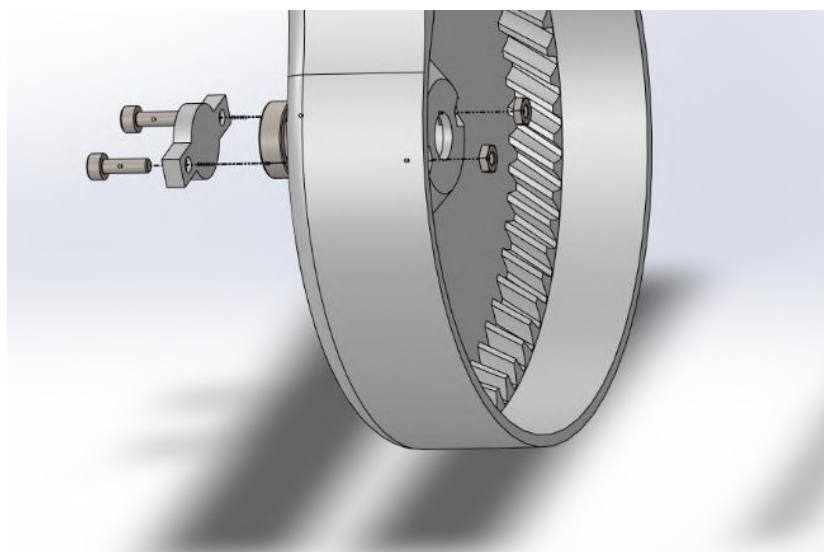
Paso 5

La pieza Art2BodyAWindow que se armó en el paso 4 se coloca a la pieza Art2BodyA_Splitted_B mediante 3 tornillos M3x12.



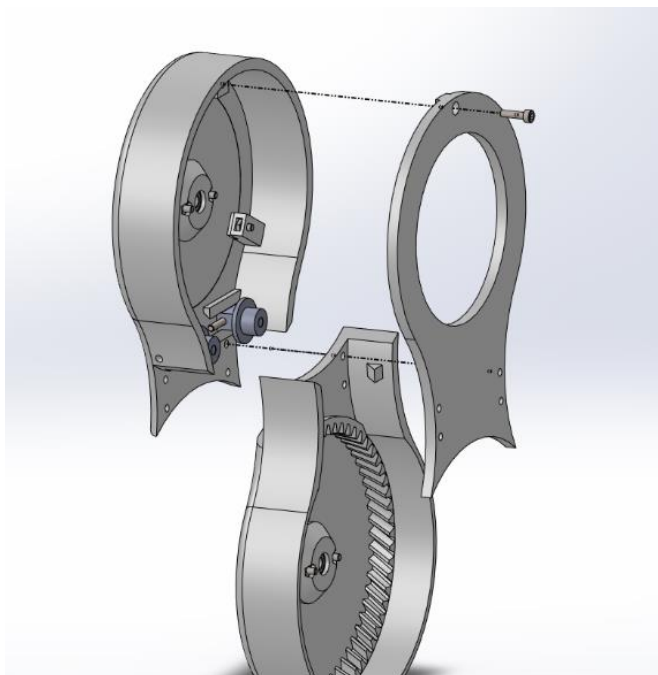
Paso 6

A la pieza Art2BodyA_Splitted_A se le coloca el rodamiento 625 y este mantiene fijo en el lugar mediante la tapa CommonBearingFix se mantiene en su lugar con dos tornillos M3x10.



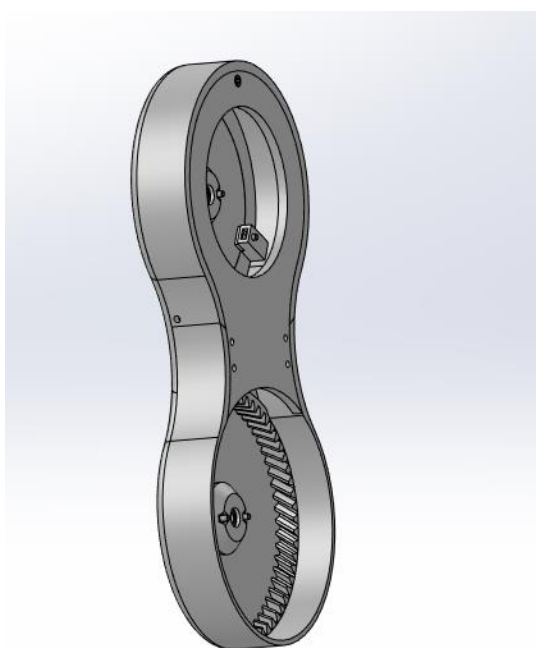
Paso 7

Se coloca la pieza Art2BodyA_Splitted_B con la pieza Art2BodyA_Splitted_A y se prensa mediante la pieza Art2BodyACover2 y se fija mediante un tornillo M3x12.



Paso 8

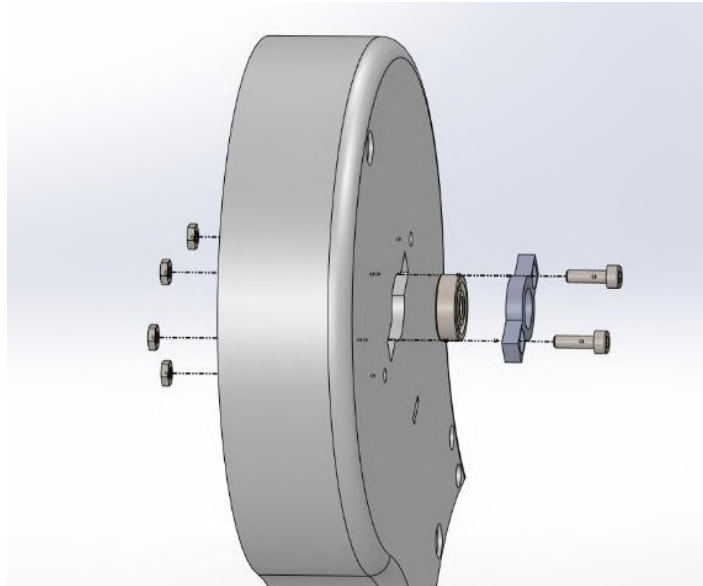
El lado A de la articulación 2 se debe ver de la siguiente forma, se tiene que tener cuidado ya que se puede desarmar o quebrar, es necesario que se termine de unir al lado B de la articulación mediante la unión del medio, pero se hace más adelante.



ARTICULACIÓN 2 LADOB

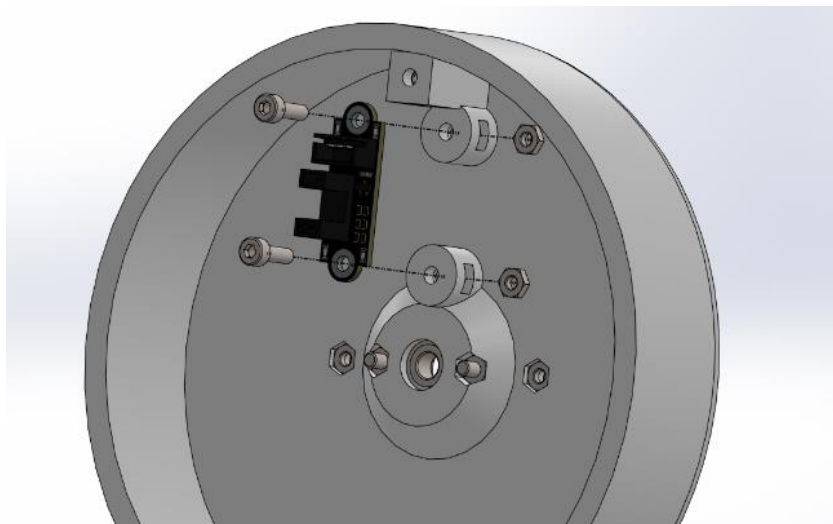
Paso 1

Este paso se repite para las piezas Art2BodyB_Splitted_A y Art2BodyB_Splitted_B primero se deben colocar 4 tuercas M3 en la parte interna y por la parte externa, se colocan el rodamiento 625 luego se fija mediante la pieza CommonBearingFixThrough y con tornillos M3x10.



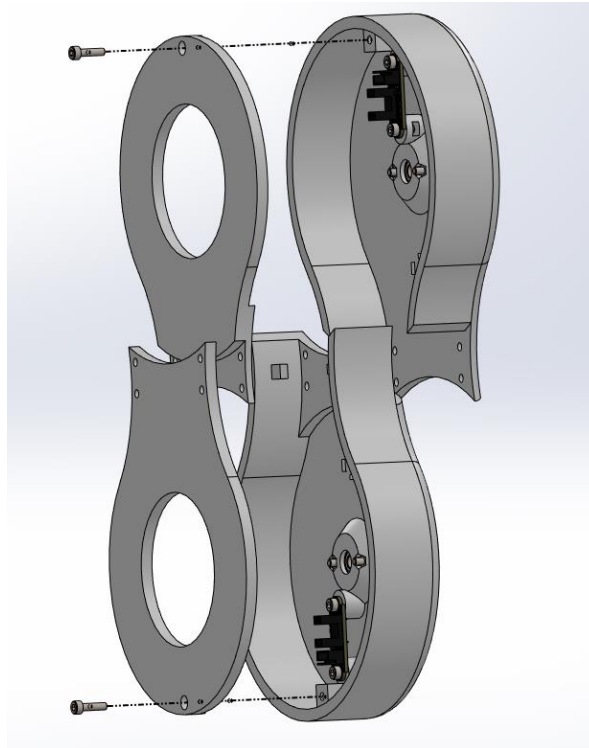
Paso 2

Este paso se repite para las piezas Art2BodyB_Splitted_A y Art2BodyB_Splitted_B se colocan 2 tuercas M3 en los cilindros internos, se coloca el final de carrera óptico Lerdge mediante 2 tornillos M3x10.



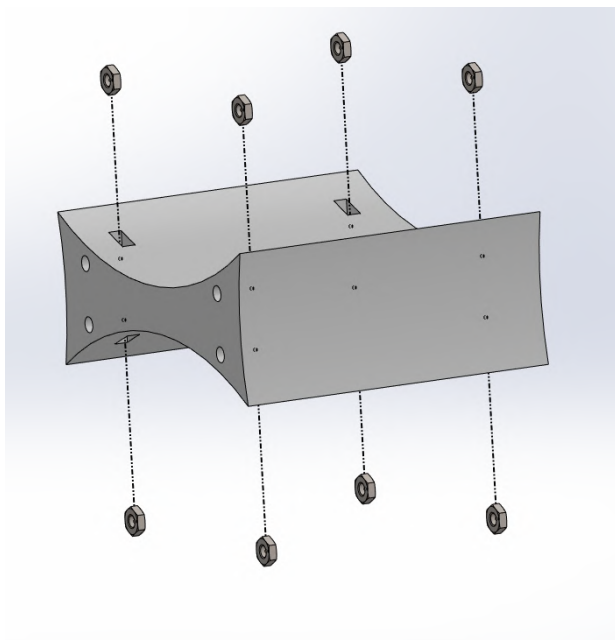
Paso 3

Las piezas se colocan en el orden que se muestra donde primero se coloca Art2BodyB_Splitted_B, luego se coloca Art2BodyB_Splitted_A, se sigue con Art2BodyBCover_Splitted_B y finalmente se coloca Art2BodyBCover_Splitted_A y se asegura mediante 2 tornillos M3x12.



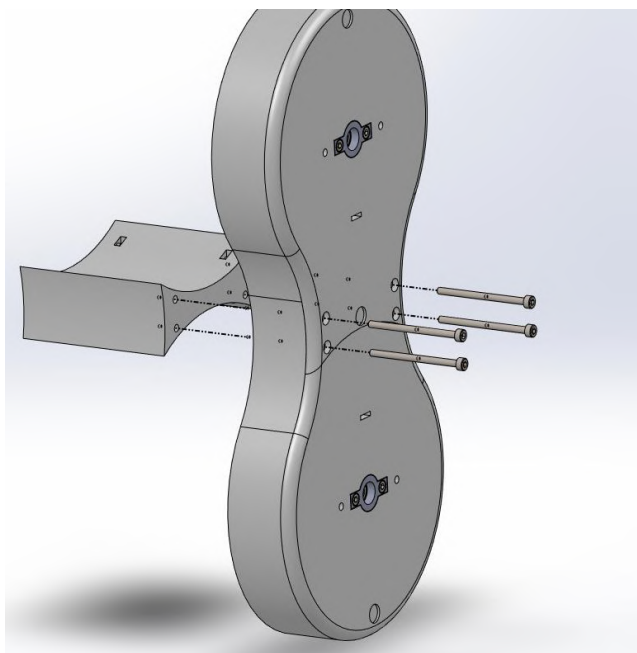
Paso 4

A la pieza Art2BodyUnion se le colocan 8 tuercas M3 como se muestra, en caso de ser necesario se puede agregar un adhesivo para mantenerlas en su lugar.



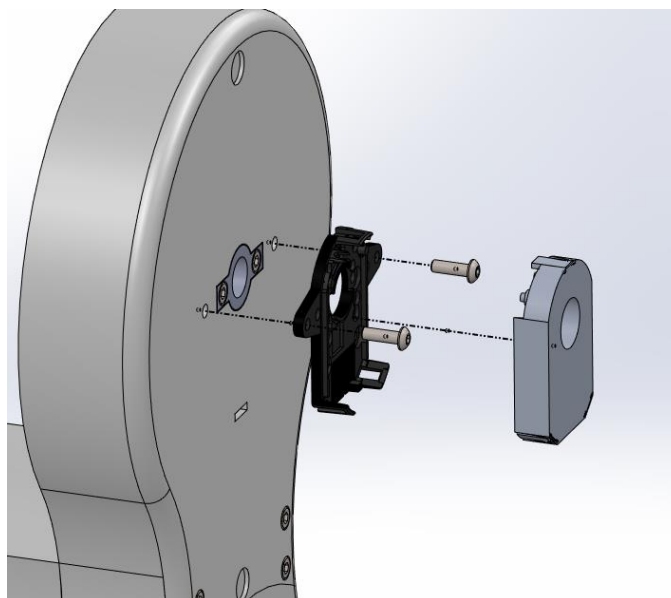
Paso 5

La pieza Art2BodyUnion se une al lado B de la articulación mediante 4 tornillos M3x45.



Paso 6

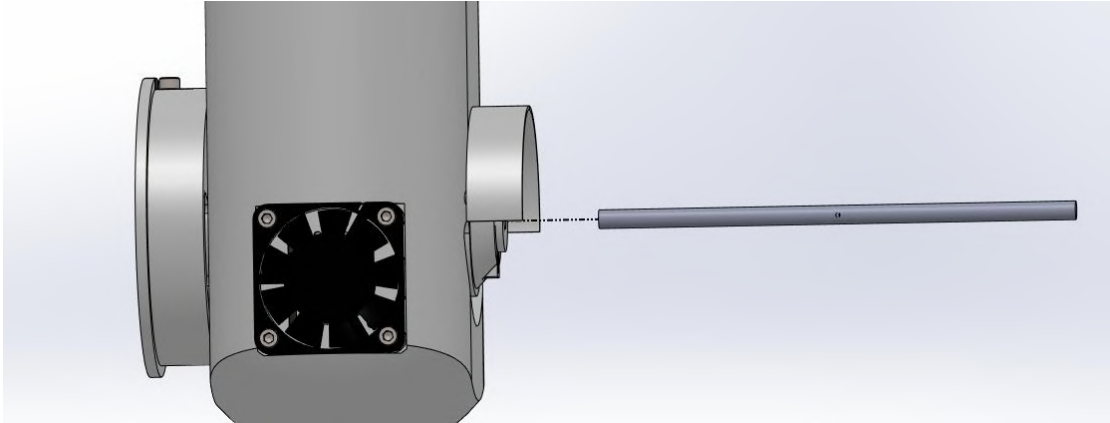
Este paso se repite para las piezas Art2BodyB_Splitted_A y Art2BodyB_Splitted_B se coloca el enconder siguiendo sus instrucciones de instalación, este paso se debe hacer cuando ya se hayan colocado los ejes. Hay que recordar que si se deben pasar los cables para conectarlos más adelante.



UNIÓN MEDIA

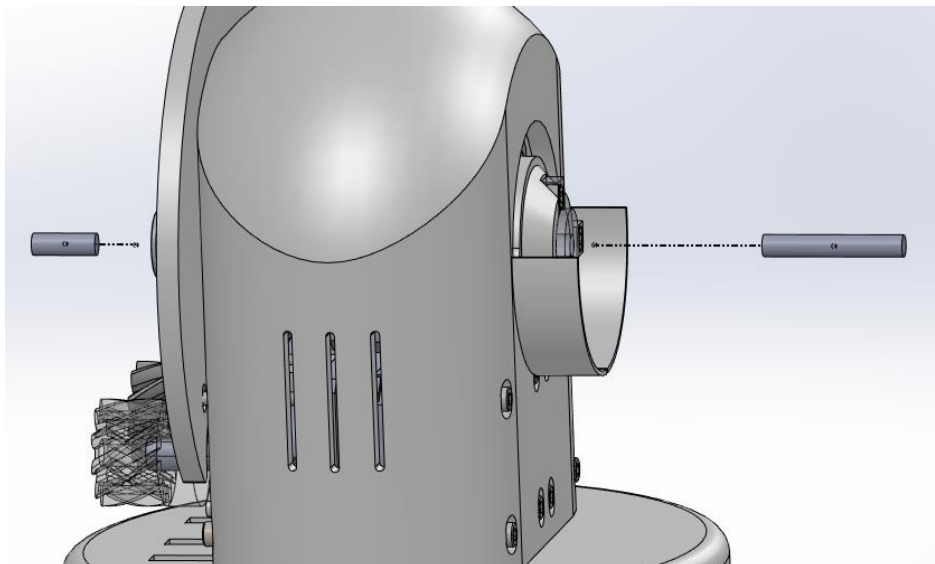
Paso 1

Colocar el eje de la articulación 34, este es el de 142x5mm, este paso puede haberse realizado previamente en caso de no entonces se debe medir y asegurar a la pieza AxisFix mediante un adhesivo fuerte.



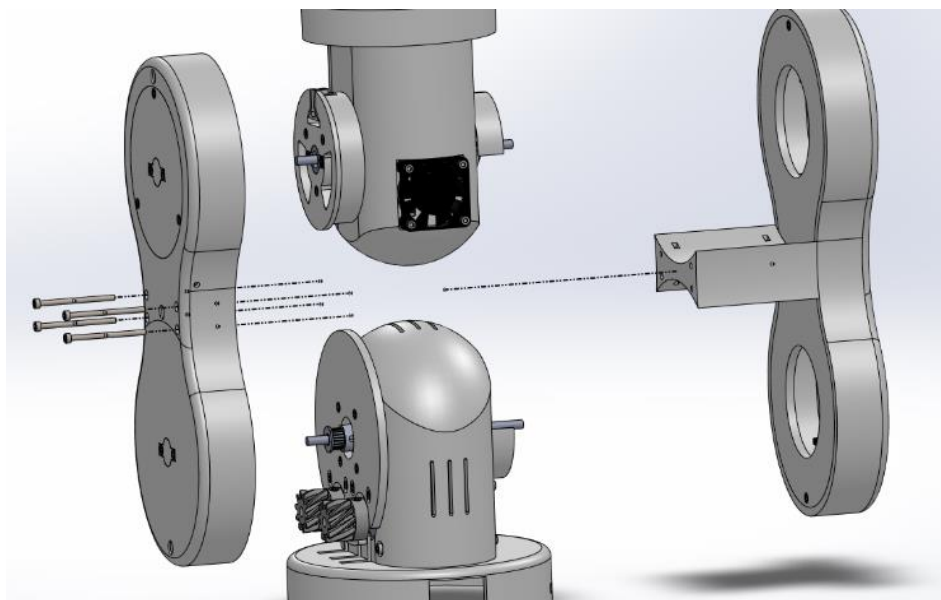
Paso 2

Primero se coloca el eje más largo en la parte del frente, este es el de 46x5mm y se debe de adherir a la pieza AxisFix que se coloca en la Art1Body. En el lado de atrás se coloca el eje de 14.5x5mm, este se inserta dentro de la polea que esta con el motor.



Paso 3

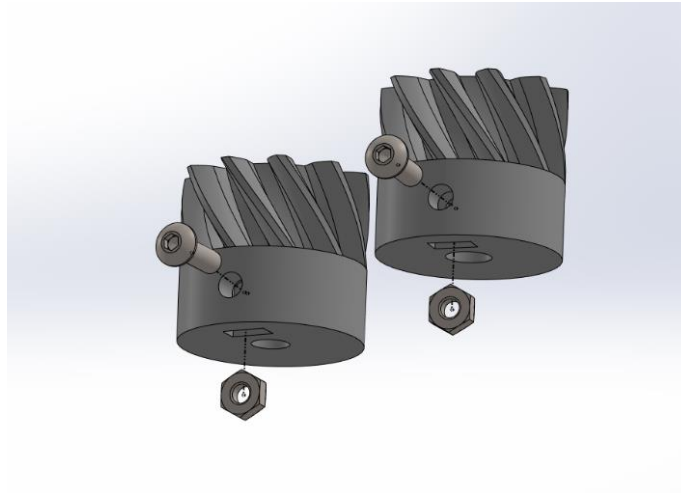
Los lados A y B de la articulación 2 se colocan como se muestra y el lado A es al que se le deben de colocar los 4 tornillos M3x45 para terminar la unión. Después de este paso se deben montar los enconders en el lado B.



BASE

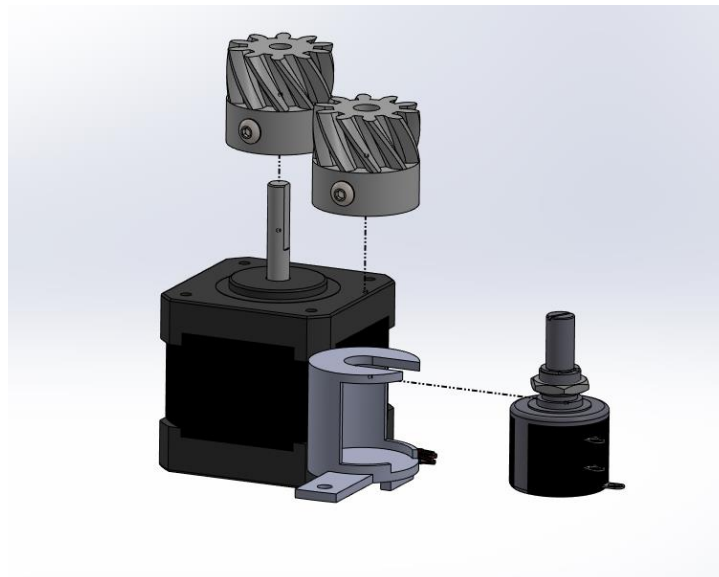
Paso 1

A las piezas Art1GearMotor y Art1GearPot se le deben colocar una tuerca M3 con un tornillo M3x10.



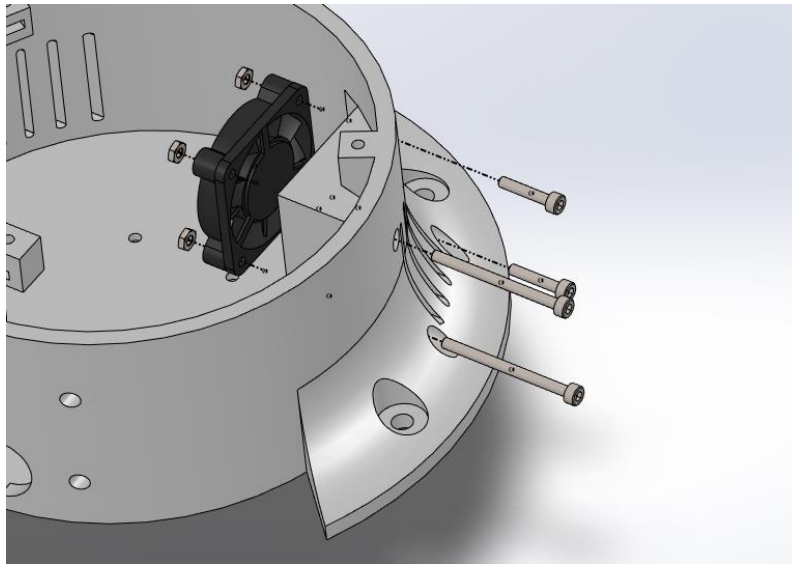
Paso 2

La pieza Art1GearMotor se coloca al motor nema17-40 y se asegura con el tornillo, para el potenciómetro este se debe colocar primero en la pieza Art1PotMount y asegurar con la tuerca que este incluye, luego se coloca Art1GearPot y se asegura con su tornillo.



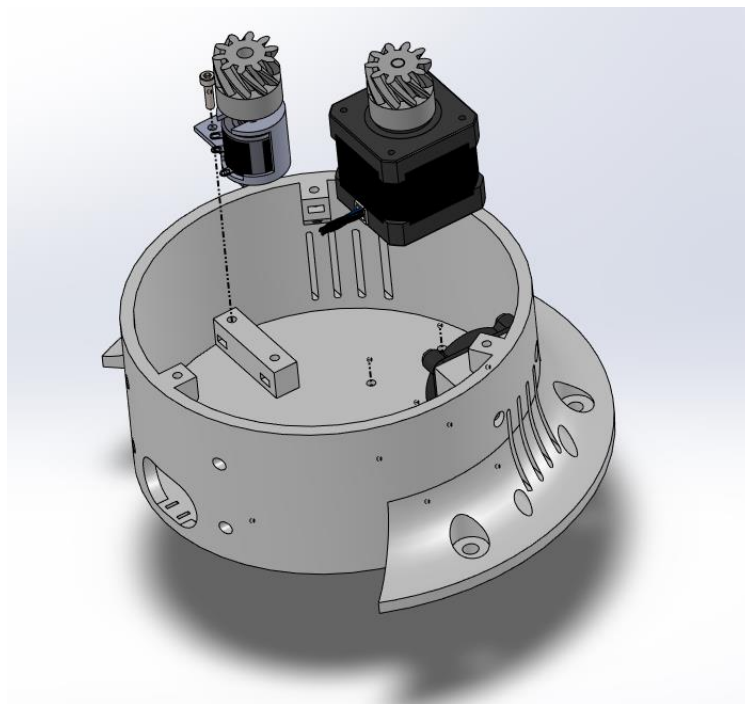
Paso 3

Se coloca el ventilador 40x40x10mm y se asegura mediante 4 tuercas M3 con 2 tornillos M3x16 y otros 2 tornillos M3x40, como se muestra a continuación.



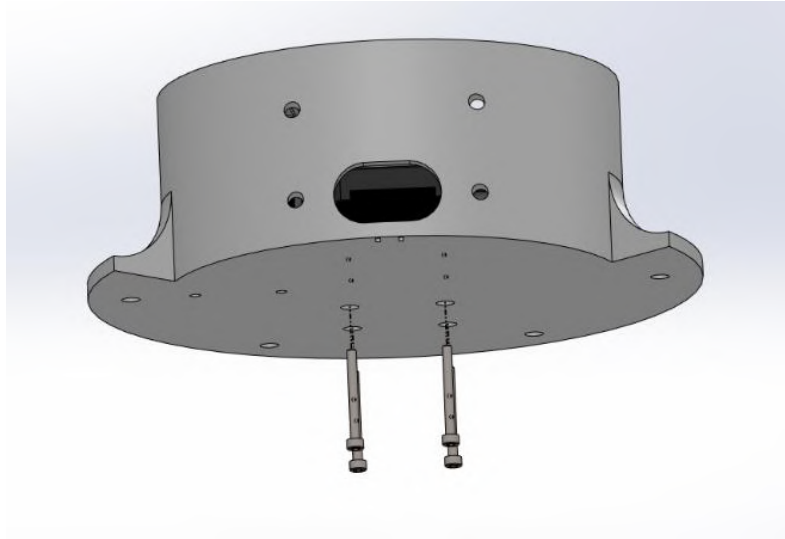
Paso 4

Una vez que se colocó el ventilador se debe de colocar el motor, para esto se le debe de retirar los tornillos de abajo y unirlo a la base mediante 4 tornillos M3x40. Luego se coloca el potenciómetro con la pieza Art1PotMount y se debe asegurar mediante una tuerca M3 con un tornillo M3x12.



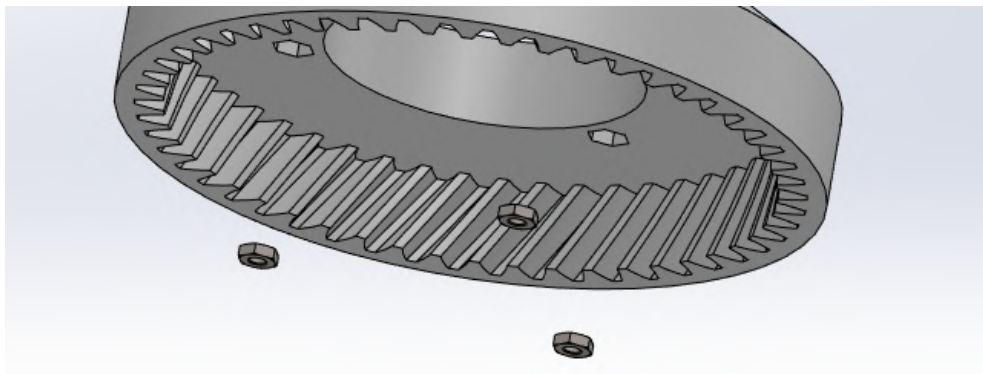
Paso 5

Como se indico en el paso 4 el motor nema17-40 mediante 4 tornillos M3x30.



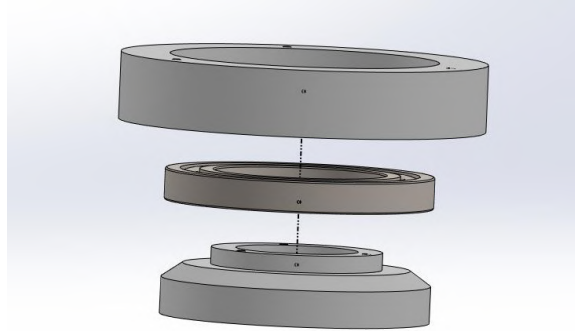
Paso 6

La pieza Art1Bot se le deben colocar 3 tuercas M3 para este si es necesario se deben de asegurar con un adhesivo o similar para facilitar el armado de las piezas.



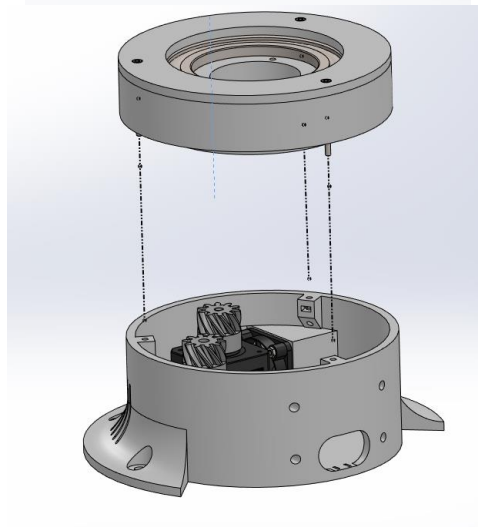
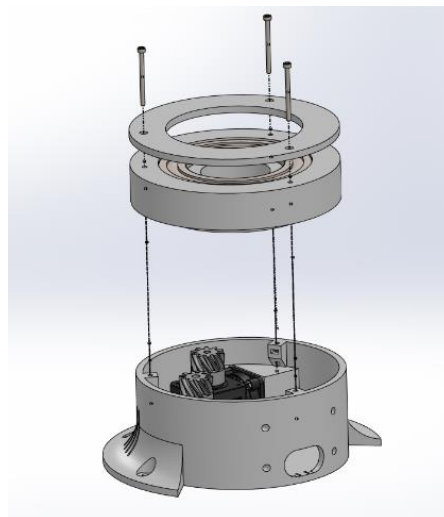
Paso 7

El rodamiento 16014ZZ se coloca por encima de la pieza BaseTop y debajo de este se coloca la pieza Art1Bot.



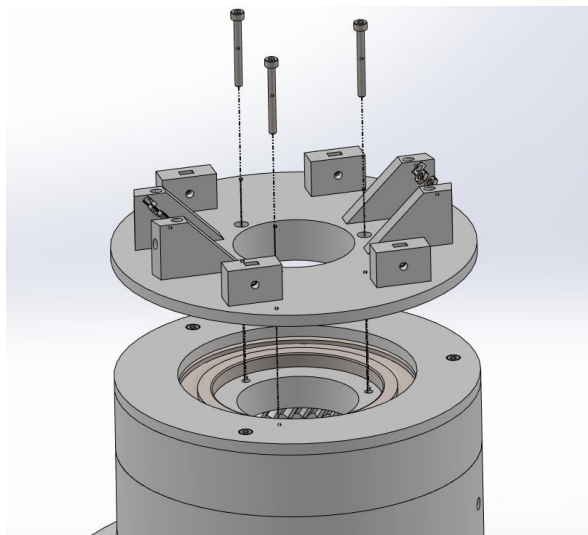
Paso 8

La pieza BaseTop se coloca debajo de la pieza BaseBearingFix y esta se asegura a la pieza BaseBot mediante 3 tornillos M3x40.



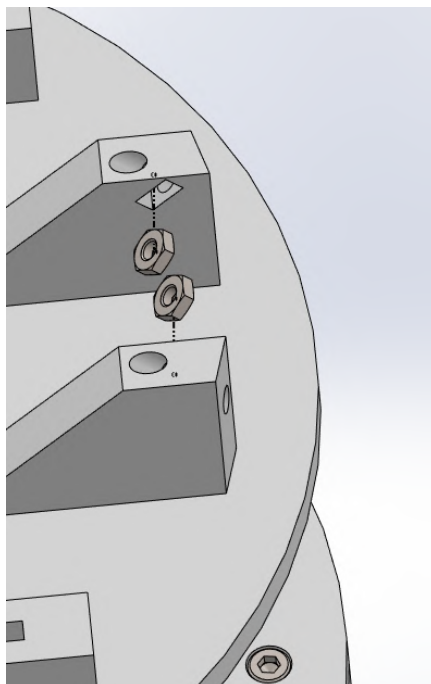
Paso 9

La pieza Art1Top se asegura a la pieza Art1Bot mediante 3 tornillos M3x30 como se muestra a continuación.



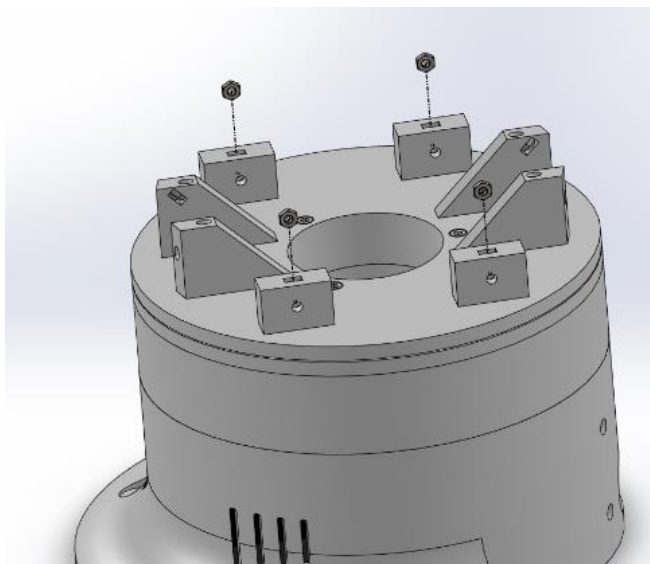
Paso 10

A la pieza Art1Top se le colocan 4 tuercas M3 en las aletas o triángulos donde se apoyan los ventiladores.



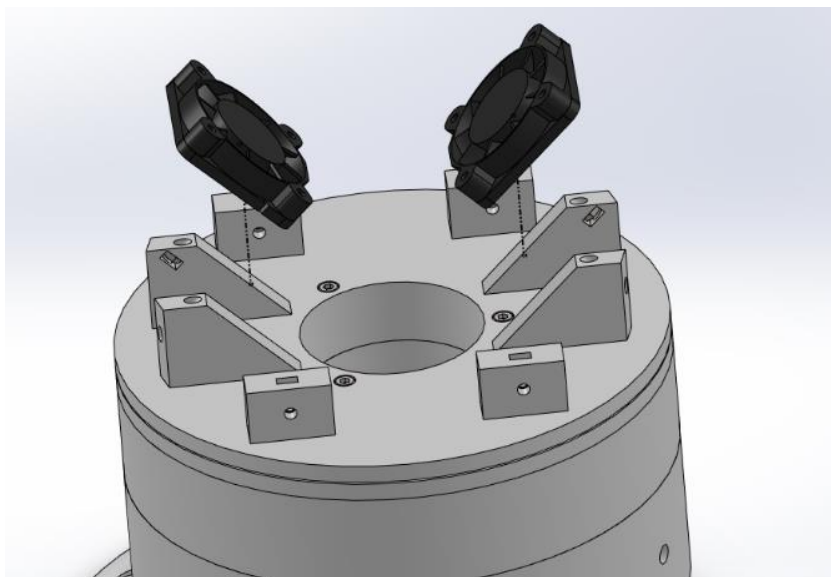
Paso 11

Se colocan 4 tuercas M3 en los rectángulos emergentes laterales.



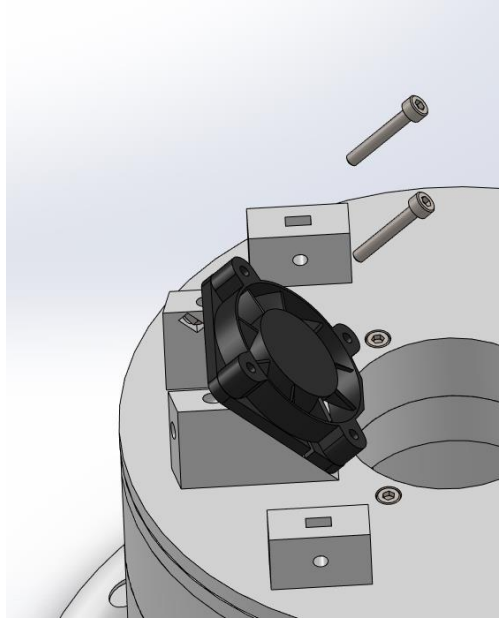
Paso 12

Se colocan los ventiladores 40x40x10mm sobre la pieza Art1Top.



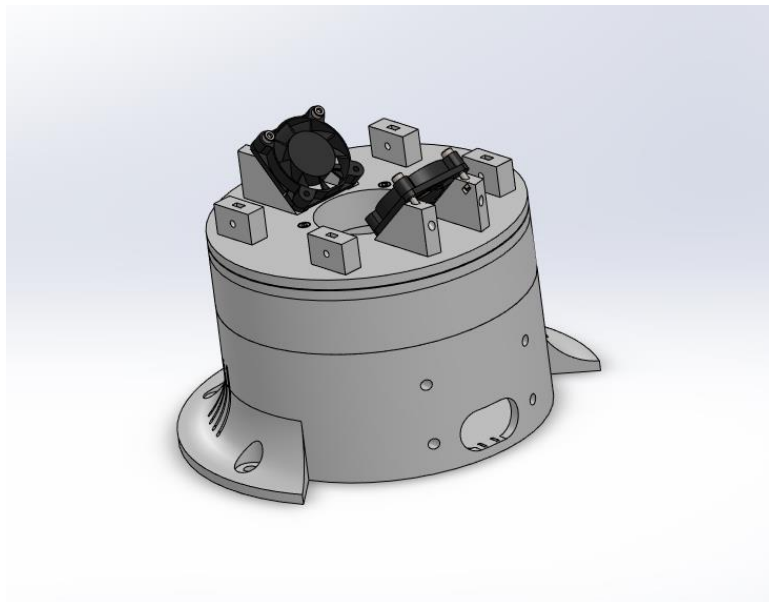
Paso 13

Se aseguran los ventiladores a la pieza Art1Top mediante 4 tornillos M3x20 como se muestra a continuación.



Paso 14

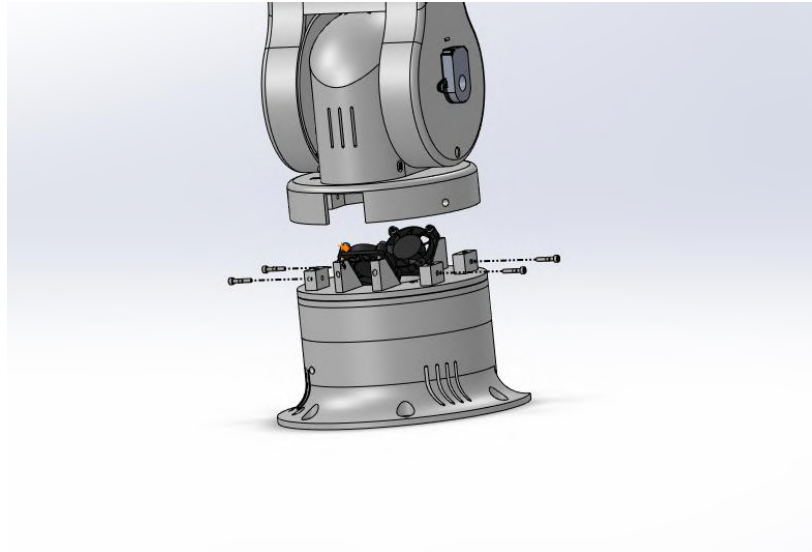
La base se muestra a continuación nada más se debe recordar dejar los tornillos para asegurar le case del PCB.



UNIÓN INFERIOR

Paso 1

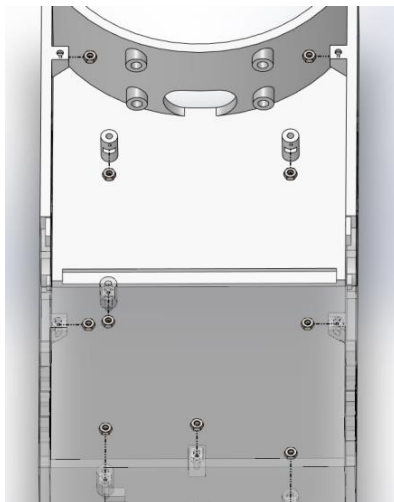
La parte superior del brazo se une a la base mediante 4 tornillos M3x16 como se muestra a continuación.



UNIÓN BASE-CASE

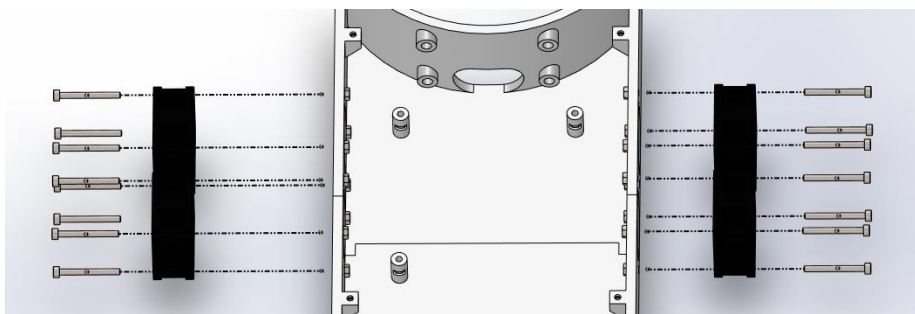
Paso 1

Se colocan 10 tuercas M3 en las ranuras mostradas. De ser necesario se pueden fijar con algún tipo de adhesivo, las piezas del case son dos mitades que se deben colocar como se muestra siguiendo las guías que traen.



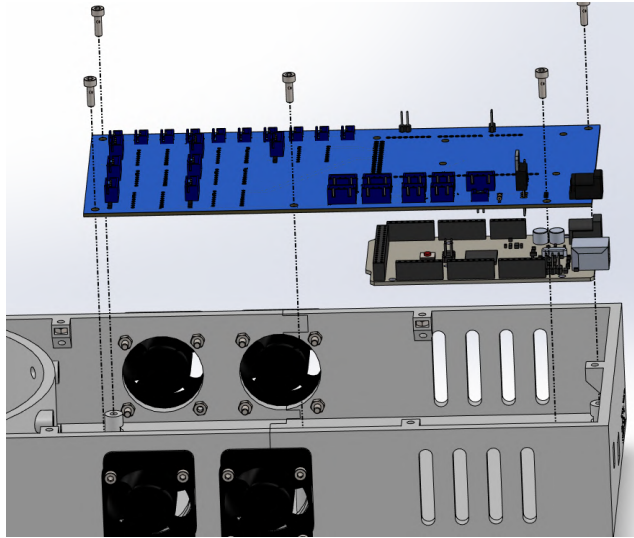
Paso 2

Mediante 16 tornillos M3x20 se fijan los ventiladores como se muestra, se debe tener en cuenta que 2 deben de meter aire y los otros 2 deben de sacar aire. Se colocan las 16 tuercas M3 respectivas para fijarlos.



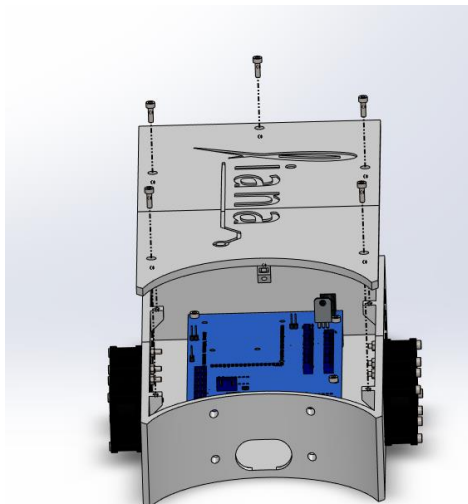
Paso 3

El Arduino se debe de conectar al PCB mediante los pines, luego estos se introducen dentro del case y se alinean los conectores en la salida del case. Finalmente se fijan al case mediante 5 tornillos Mx310.



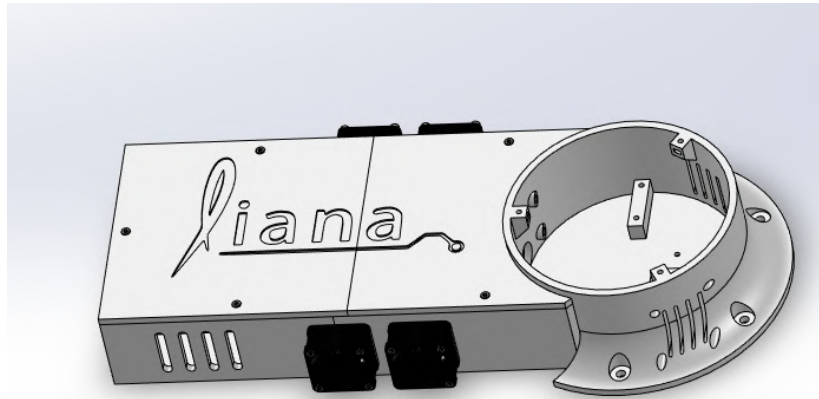
Paso 4

Antes de cerrar la tapa se debe introducir con mucho cuidado en los 4 tornillos M5x25 que se dejaron en la base, una vez que se metieron se le colocan las tuercas M5 y se asegura el case. Finalmente se cierra la tapa superior mediante 5 tornillos M3x10.



Paso 5

Así es como se debería sujetar a la base, ahora solo se muestra la base, pero en la realidad el robot estaría completo. Por eso es por lo que se debe tener mucho cuidado de no meter los tornillos M5 cuando se une el case.



CONEXIÓN ELECTRICA

Ahora se van a presentar las tablas de conexión de los diferentes componentes al Arduino.

Tabla 1. Asignación de los pines de los drivers A4988 al microcontrolador.

Componente	Nombre de señal	Pin de conexión
Motor 6	Step	27
	Dir	29
Motor 5	Step	31
	Dir	33
Motor 4	Step	35
	Dir	37
Motor 3	Step	39
	Dir	41
Motor 2	Step	43
	Dir	45
Motor 1	Step	47
	Dir	49

Tabla 2. Asignación de los pines de los codificadores al microcontrolador.

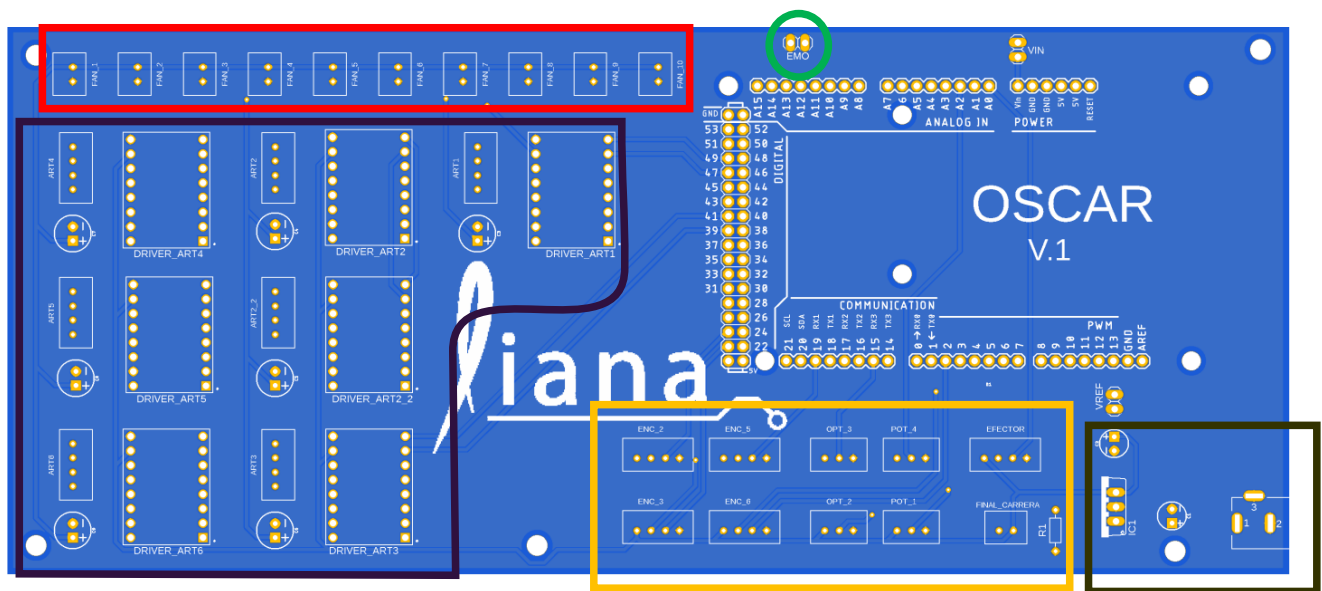
Componente	Nombre de señal	Pin de conexión
Codificador 6	Señal A	3
	Señal B	2
Codificador 5	Señal A	18
	Señal B	19
Codificador 3	Señal A	20
	Señal B	23
Codificador 2	Señal A	21
	Señal B	25

Tabla 3. Asignación de los pines del efector y finales de carrera al microcontrolador.

Componente	Nombre de señal	Pin de conexión
Efector	PWM	8
	Señal analógica	A0
Potenciómetro 4	Señal analógica	A2
Potenciómetro 1	Señal analógica	A4
Final de carrera 56	Señal digital	6
Final óptico 2	Señal digital	14
Final óptico 3	Señal digital	15

Ahora se van a presentar el PCB con la indicación de cada componente.

- **Sección roja:** Son las conexiones a los ventiladores, los ventiladores no tienen orden de conexión. Se colocan conectores JST de 2 pines.
- **Sección morada:** Son la conexión de los drivers y motores, se colocan pines hembra y conectores JST de 4 pines.
- **Sección naranja:** Son la conexión de los señores y el efector final. Se deben usar conectores JST de 3 y 4 pines.
- **Sección café:** Corresponde a la alimentación de la tarjeta, se compone por el conector tipo barril DC y el regulador de tensión LM7805.
- **Círculo verde:** Se colocan pines o se pueden soldar directamente cables para incluir un interruptor de parada de emergencia.



Ahora se van a presentar las tablas de codificación de colores. Se asume que rojo y negro son para alimentación de 12V para ventiladores y de 5V para sensores

Tabla 4. Codificación de los colores de los cables.

Componente	Nombre	Color de cable
Codificador	Señal A	Verde/Amarillo
	Señal B	Azul
Codificador PCB	Señal A	Blanco
	Señal B	Gris
Motor a pasos	1A	Negro
	1B	Verde
	2A	Rojo
	2B	Azul
Efector Final	PWM	Blanco-verde
	Señal analógica	Blanco-naranja
Final carrera 56	Señal	Blanco/azul
Final óptico	Señal	Blanco
Potenciómetro	Señal	Azul

Tabla 5. Codificación de los cables.

Componente	Nombre de señal	Cantidad de cables
Codificador 6	ENC6	4
Codificador 5	ENC5	4
Codificador 3	ENC3	4
Codificador 2	ENC2	4
Potenciómetro 4	POT4	3
Potenciómetro 1	POT1	3
Final óptico 3	OPT3	3
Final óptico 2	OPT2	3
Final de carrera 56	FinalC	2
Efector Final	Efector	4
Motor articulación 1	ART1	4
Motor articulación 2-1	ART2_1	4
Motor articulación 2-2	ART_2	4
Motor articulación 3	ART3	4
Motor articulación 4	ART4	4
Motor articulación 5	ART5	4
Motor articulación 6	ART6	4



Plan de manufactura.

Este anexo incluye el plan de manufactura para un brazo THOR, se debe leer en caso de querer conocer los parámetros de impresión y la orientación de las piezas.

INSTRUCCIONES DE MANUFACTURA

OSCAR

II Semestre 2022



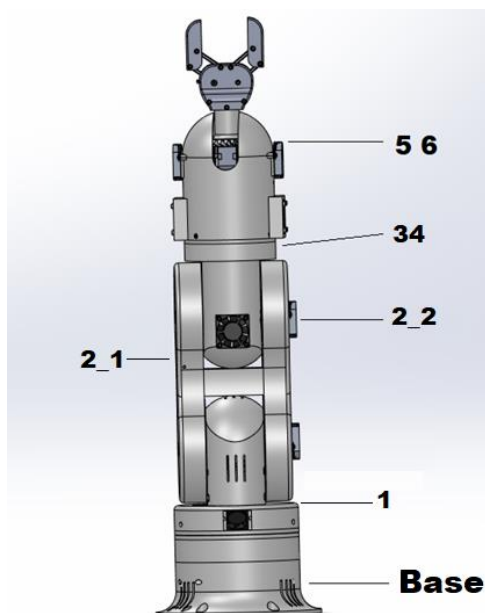
Contenido

Descripción	1
Articulación 56	2
Articulación 34	17
Articulación 2_2	27
Articulación 2_1	33
Articulación 1	41
Base y case del PCB	45
Gripper	58

Descripción

En este documento se encuentra toda la información necesaria para manufacturar cada una de las piezas del manipulador Thor adaptado para ser usado como un componente en el proyecto OSCAR del Laboratorio de inteligencia Artificial para las ciencias naturales LIANA del área académica de mecatrónica en el instituto tecnológico de Costa Rica. No es necesario el uso de hojas de control de calidad ya que las unidades a fabricar son muy pocas, el caso de fabricar seria como repuestos o la fabricación de otro brazo, pero no en masa y para el caso del presupuesto se sabe que el brazo consume alrededor de 3.5Kg en el material de las piezas, los soportes y en caso de fallos, donde el precio de un rollo de 1kg de pla max es de 32 dólares.

Al ser una elevada cantidad de partes se separaron de acuerdo con la parte del brazo a la que pertenecen según como se muestra en la siguiente imagen.



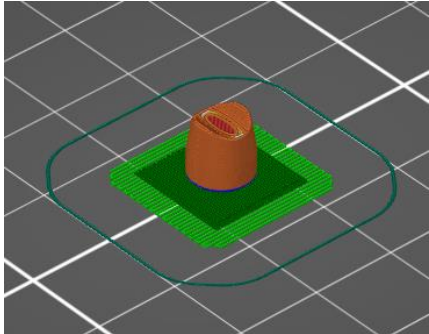
Todos los parámetros son los mismos por lo que se pueden imprimir varias piezas al mismo tiempo solo si estas logran acomodarse dentro del área de trabajo de la impresora en la que se vaya a trabajar y en caso de que la impresora no cuente con el relleno giroide se puede emplear el hexagonal o panal de abeja.

Articulación 56

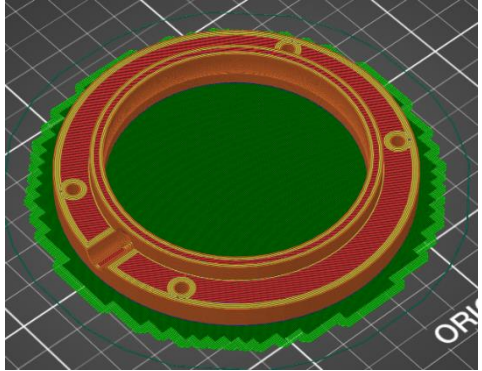
Todas las piezas que componen la articulación 56 se indican a continuación, como todas las piezas comparten los mismos parámetros se pueden ubicar varias piezas para impresas en el mismo ciclo de trabajo de la impresora, solo que estas se deben de juntar lo más que se pueda para reducir el tiempo de impresión, en caso de necesitar solo una pieza usar la información a continuación.

Lista de las piezas que componen la articulación:

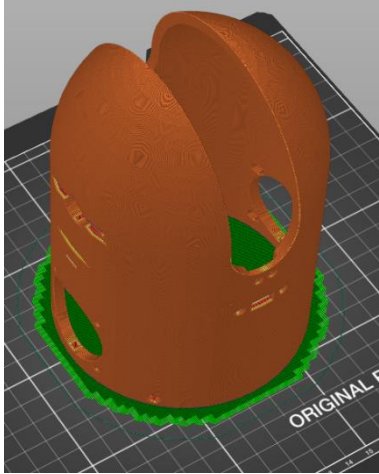
- Art4BearingPlug
- Art4BearingRing
- Art4Body
- Art4BodyBot
- Art4BodyFan
- Art4TransmissionColumn
- Art56GearPlate
- Art56MotorCoverRing
- Art56MotorHolderA
- Art56MotorHolderB
- Art56SmallGear2
- CoverRingBolt
- CoverRingNut
- EncoderMount

Fase de Impresión			
No. Parte:	Nombre: Art4BearingPlug	Cliente: LIANA	Material: PLA MAX
Op: 1 Maquina: Impresora 3D Soporte y montaje: N/A	Descripción: Imprimir la pieza y al final retirar el material de soporte u material extra como los hilos que se generan al imprimir.	Croquis: 	

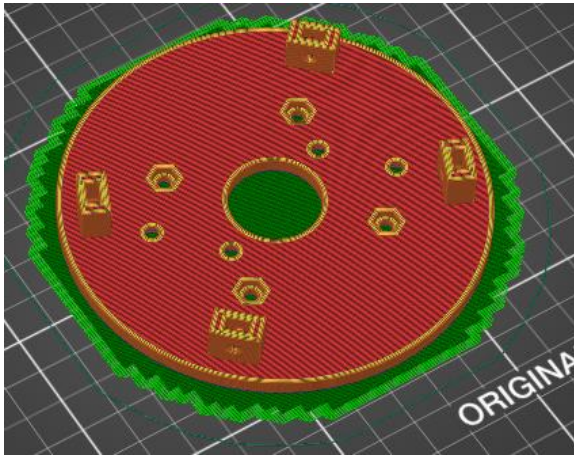
Hoja de proceso			
No. Plano: 40		Nombre: Art4BearingPlug	
Gcode: N/A		Maquina: Impresora 3D	
Material: PLA MAX			
Instrucciones de montaje: Imprimir la pieza en el centro del área de trabajo.			
Op:	Parámetros:	Herramientas	Observaciones:
1	Resolución de capa: 0,2mm Densidad de relleno: 40% Patrón de relleno: Giroide Imprimir con soportes: Si Temperatura del extrusor: Recomendada para el material	Impresora 3D	El material de soporte no es necesario pues la pieza se diseñó para ser impresa sin este, pero se recomienda su uso para que no se comprometa la calidad e integridad de las piezas.

Fase de Impresión			
No. Parte:	Nombre: Art4BearingRing	Cliente: LIANA	Material: PLA MAX
Op: 1 Maquina: Impresora 3D Soporte y montaje: N/A	Descripción: Imprimir la pieza y al final retirar el material de soporte u material extra como los hilos que se generan al imprimir.	Croquis: 	

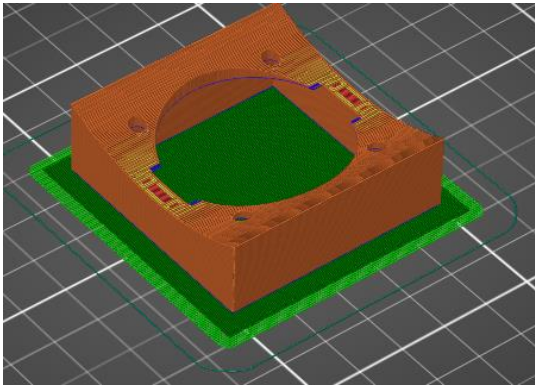
Hoja de proceso			
No. Plano: 41		Nombre: Art4BearingRing	
Gcode: N/A		Maquina: Impresora 3D	
Material: PLA MAX			
Instrucciones de montaje: Imprimir la pieza en el centro del área de trabajo.			
Op:	Parámetros:	Herramientas	Observaciones:
1	Resolución de capa: 0,2mm Densidad de relleno: 40% Patrón de relleno: Giroide Imprimir con soportes: Si Temperatura del extrusor: Recomendada para el material	Impresora 3D	El material de soporte no es necesario pues la pieza se diseñó para ser impresa sin este, pero se recomienda su uso para que no se comprometa la calidad e integridad de las piezas.

Fase de Impresión			
No. Parte:	Nombre: Art4Body	Cliente: LIANA	Material: PLA MAX
Op: 1 Maquina: Impresora 3D Soporte y montaje: N/A	Descripción: Imprimir la pieza y al final retirar el material de soporte u material extra como los hilos que se generan al imprimir.		Croquis: 

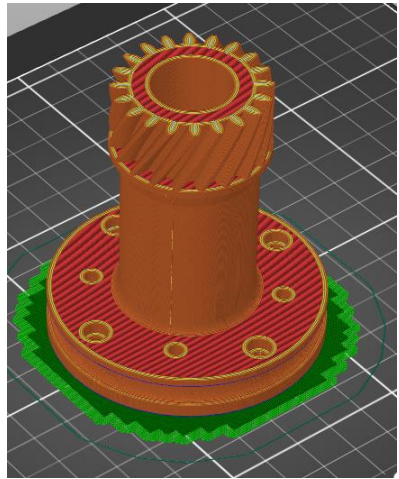
Hoja de proceso			
No. Plano: 42		Nombre: Art4Body	
Gcode: N/A		Maquina: Impresora 3D	
Material: PLA MAX			
Instrucciones de montaje: Imprimir la pieza en el centro del área de trabajo.			
Op:	Parámetros:	Herramientas	Observaciones:
1	Resolución de capa: 0,2mm Densidad de relleno: 40% Patrón de relleno: Giroide Imprimir con soportes: Si Temperatura del extrusor: Recomendada para el material	Impresora 3D	El material de soporte no es necesario pues la pieza se diseñó para ser impresa sin este, pero se recomienda su uso para que no se comprometa la calidad e integridad de las piezas.

Fase de Impresión			
No. Parte:	Nombre: Art4BodyBot	Cliente: LIANA	Material: PLA MAX
Op: 1 Maquina: Impresora 3D Soporte y montaje: N/A	Descripción: Imprimir la pieza y al final retirar el material de soporte u material extra como los hilos que se generan al imprimir.		Croquis: 

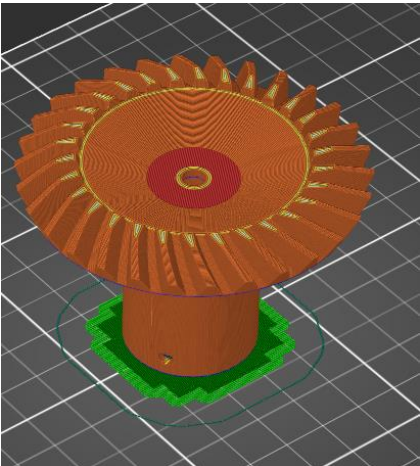
Hoja de proceso			
No. Plano: 43		Nombre: Art4BodyBot	
Gcode: N/A		Maquina: Impresora 3D	
Material: PLA MAX			
Instrucciones de montaje: Imprimir la pieza en el centro del área de trabajo.			
Op:	Parámetros:	Herramientas	Observaciones:
1	Resolución de capa: 0,2mm Densidad de relleno: 40% Patrón de relleno: Giroide Imprimir con soportes: Si Temperatura del extrusor: Recomendada para el material	Impresora 3D	

Fase de Impresión			
No. Parte:	Nombre: Art4BodyFan	Cliente: LIANA	Material: PLA MAX
Op: 1 Maquina: Impresora 3D Soporte y montaje: N/A	Descripción: Imprimir la pieza y al final retirar el material de soporte u material extra como los hilos que se generan al imprimir.		Croquis: 

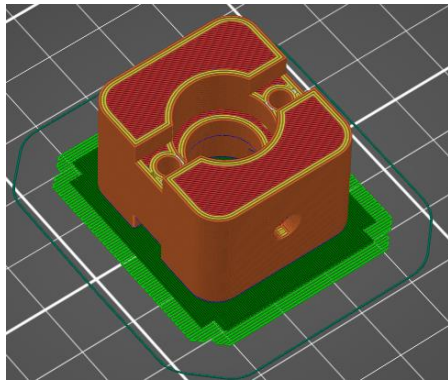
Hoja de proceso			
No. Plano: 44		Nombre: Art4BodyFan	
Gcode: N/A		Maquina: Impresora 3D	
Material: PLA MAX			
Instrucciones de montaje: Imprimir la pieza en el centro del área de trabajo.			
Op:	Parámetros:	Herramientas	Observaciones:
1	Resolución de capa: 0,2mm Densidad de relleno: 40% Patrón de relleno: Giroide Imprimir con soportes: Si Temperatura del extrusor: Recomendada para el material	Impresora 3D	El material de soporte no es necesario pues la pieza se diseñó para ser impresa sin este, pero se recomienda su uso para que no se comprometa la calidad e integridad de las piezas.

Fase de Impresión			
No. Parte:	Nombre: Art4TransmissionColumn	Cliente: LIANA	Material: PLA MAX
Op: 1 Maquina: Impresora 3D Soporte y montaje: N/A	Descripción: Imprimir la pieza y al final retirar el material de soporte u material extra como los hilos que se generan al imprimir.	Croquis: 	

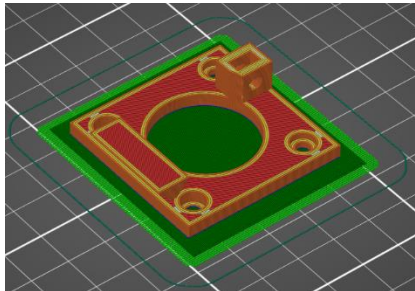
Hoja de proceso			
No. Plano: 49		Nombre: Art4TransmissionColumn	
Gcode: N/A		Maquina: Impresora 3D	
Material: PLA MAX			
Instrucciones de montaje: Imprimir la pieza en el centro del área de trabajo.			
Op:	Parámetros:	Herramientas	Observaciones:
1	Resolución de capa: 0,2mm Densidad de relleno: 40% Patrón de relleno: Giroide Imprimir con soportes: Si Temperatura del extrusor: Recomendada para el material	Impresora 3D	El material de soporte no es necesario pues la pieza se diseñó para ser impresa sin este, pero se recomienda su uso para que no se comprometa la calidad e integridad de las piezas.

Fase de Impresión			
No. Parte:	Nombre: Art56GearPlate	Cliente: LIANA	Material: PLA MAX
Op: 1 Maquina: Impresora 3D Soporte y montaje: N/A	Descripción: Imprimir la pieza y al final retirar el material de soporte u material extra como los hilos que se generan al imprimir.	Croquis: 	

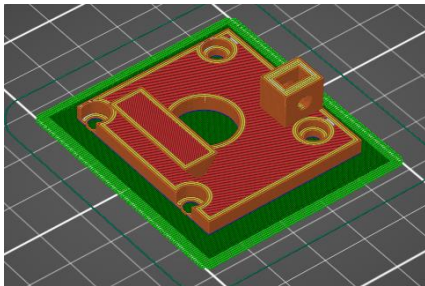
Hoja de proceso			
No. Plano: 50		Nombre: Art56GearPlate	
Gcode: N/A		Maquina: Impresora 3D	
Material: PLA MAX			
Instrucciones de montaje: Imprimir la pieza en el centro del área de trabajo.			
Op:	Parámetros:	Herramientas	Observaciones:
1	Resolución de capa: 0,2mm Densidad de relleno: 40% Patrón de relleno: Giroide Imprimir con soportes: Si Temperatura del extrusor: Recomendada para el material	Impresora 3D	El material de soporte no es necesario pues la pieza se diseñó para ser impresa sin este, pero se recomienda su uso para que no se comprometa la calidad e integridad de las piezas.

Fase de Impresión			
No. Parte:	Nombre: Art56MotorCoverRing	Cliente: LIANA	Material: PLA MAX
Op: 1 Maquina: Impresora 3D Soporte y montaje: N/A	Descripción: Imprimir la pieza y al final retirar el material de soporte u material extra como los hilos que se generan al imprimir.		Croquis: 

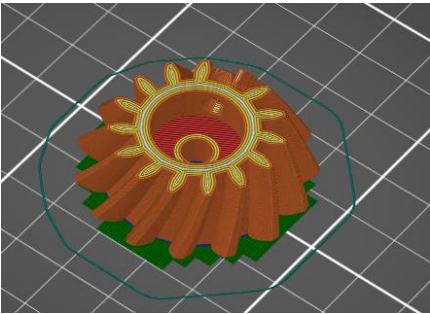
Hoja de proceso			
No. Plano: 51		Nombre: Art56MotorCoverRing	
Gcode: N/A		Maquina: Impresora 3D	
Material: PLA MAX			
Instrucciones de montaje: Imprimir la pieza en el centro del área de trabajo.			
Op:	Parámetros:	Herramientas	Observaciones:
1	Resolución de capa: 0,2mm Densidad de relleno: 40% Patrón de relleno: Giroide Imprimir con soportes: Si Temperatura del extrusor: Recomendada para el material	Impresora 3D	El material de soporte no es necesario pues la pieza se diseñó para ser impresa sin este, pero se recomienda su uso para que no se comprometa la calidad e integridad de las piezas.

Fase de Impresión			
No. Parte:	Nombre: Art56MotorHolderA	Cliente: LIANA	Material: PLA MAX
Op: 1 Maquina: Impresora 3D Soporte y montaje: N/A	Descripción: Imprimir la pieza y al final retirar el material de soporte u material extra como los hilos que se generan al imprimir.	Croquis: 	

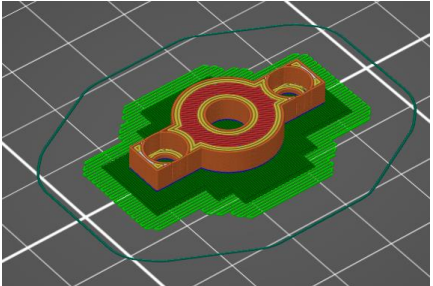
Hoja de proceso			
No. Plano: 52		Nombre: Art56MotorHolderA	
Gcode: N/A		Maquina: Impresora 3D	
Material: PLA MAX			
Instrucciones de montaje: Imprimir la pieza en el centro del área de trabajo.			
Op:	Parámetros:	Herramientas	Observaciones:
1	Resolución de capa: 0,2mm Densidad de relleno: 40% Patrón de relleno: Giroide Imprimir con soportes: Si Temperatura del extrusor: Recomendada para el material	Impresora 3D	El material de soporte no es necesario pues la pieza se diseñó para ser impresa sin este, pero se recomienda su uso para que no se comprometa la calidad e integridad de las piezas.

Fase de Impresión			
No. Parte:	Nombre: Art56MotorHolderB	Cliente: LIANA	Material: PLA MAX
Op: 1 Maquina: Impresora 3D Soporte y montaje: N/A	Descripción: Imprimir la pieza y al final retirar el material de soporte u material extra como los hilos que se generan al imprimir.	Croquis: 	

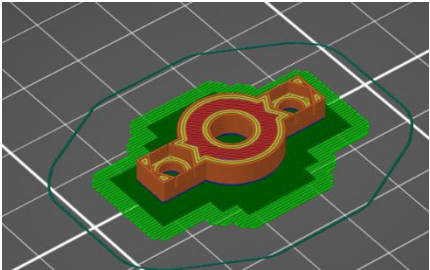
Hoja de proceso			
No. Plano: 53		Nombre: Art56MotorHolderB	
Gcode: N/A		Maquina: Impresora 3D	
Material: PLA MAX			
Instrucciones de montaje: Imprimir la pieza en el centro del área de trabajo.			
Op:	Parámetros:	Herramientas	Observaciones:
1	Resolución de capa: 0,2mm Densidad de relleno: 40% Patrón de relleno: Giroide Imprimir con soportes: Si Temperatura del extrusor: Recomendada para el material	Impresora 3D	El material de soporte no es necesario pues la pieza se diseñó para ser impresa sin este, pero se recomienda su uso para que no se comprometa la calidad e integridad de las piezas.

Fase de Impresión			
No. Parte:	Nombre: Art56SmallGear	Cliente: LIANA	Material: PLA MAX
Op: 1 Maquina: Impresora 3D Soporte y montaje: N/A	Descripción: Imprimir la pieza y al final retirar el material de soporte u material extra como los hilos que se generan al imprimir.		Croquis: 

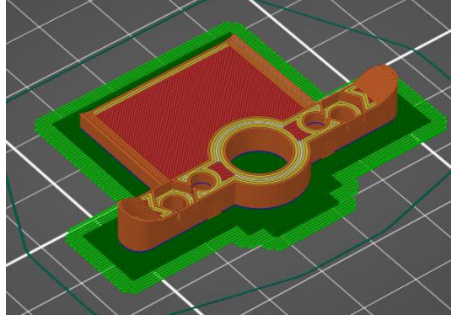
Hoja de proceso			
No. Plano: 54		Nombre: Art56SmallGear	
Gcode: N/A		Maquina: Impresora 3D	
Material: PLA MAX			
Instrucciones de montaje: Imprimir la pieza en el centro del área de trabajo.			
Op:	Parámetros:	Herramientas	Observaciones:
1	Resolución de capa: 0,2mm Densidad de relleno: 40% Patrón de relleno: Giroide Imprimir con soportes: Si Temperatura del extrusor: Recomendada para el material	Impresora 3D	El material de soporte no es necesario pues la pieza se diseñó para ser impresa sin este, pero se recomienda su uso para que no se comprometa la calidad e integridad de las piezas.

Fase de Impresión			
No. Parte:	Nombre: CoverRingBolt	Cliente: LIANA	Material: PLA MAX
Op: 1 Maquina: Impresora 3D Soporte y montaje: N/A	Descripción: Imprimir la pieza y al final retirar el material de soporte u material extra como los hilos que se generan al imprimir.	Croquis: 	

Hoja de proceso			
No. Plano: 55		Nombre: CoverRingBolt	
Gcode: N/A		Maquina: Impresora 3D	
Material: PLA MAX			
Instrucciones de montaje: Imprimir la pieza en el centro del área de trabajo.			
Op:	Parámetros:	Herramientas	Observaciones:
1	Resolución de capa: 0,2mm Densidad de relleno: 40% Patrón de relleno: Giroide Imprimir con soportes: Si Temperatura del extrusor: Recomendada para el material	Impresora 3D	

Fase de Impresión			
No. Parte:	Nombre: CoverRingNut	Cliente: LIANA	Material: PLA MAX
Op: 1 Maquina: Impresora 3D Soporte y montaje: N/A	Descripción: Imprimir la pieza y al final retirar el material de soporte u material extra como los hilos que se generan al imprimir.	Croquis: 	

Hoja de proceso			
No. Plano: 56		Nombre: CoverRingNut	
Gcode: N/A		Maquina: Impresora 3D	
Material: PLA MAX			
Instrucciones de montaje: Imprimir la pieza en el centro del área de trabajo.			
Op:	Parámetros:	Herramientas	Observaciones:
1	Resolución de capa: 0,2mm Densidad de relleno: 40% Patrón de relleno: Giroide Imprimir con soportes: Si Temperatura del extrusor: Recomendada para el material	Impresora 3D	

Fase de Impresión			
No. Parte:	Nombre: EncoderMount	Cliente: LIANA	Material: PLA MAX
Op: 1 Maquina: Impresora 3D Soporte y montaje: N/A	Descripción: Imprimir la pieza y al final retirar el material de soporte u material extra como los hilos que se generan al imprimir.	Croquis: 	

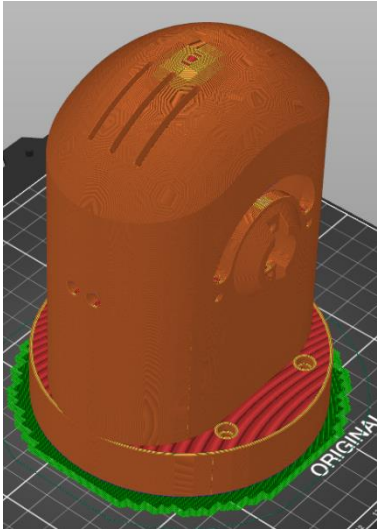
Hoja de proceso			
No. Plano: 71		Nombre: EncoderMount	
Gcode: N/A		Maquina: Impresora 3D	
Material: PLA MAX			
Instrucciones de montaje: Imprimir la pieza en el centro del área de trabajo.			
Op:	Parámetros:	Herramientas	Observaciones:
1	Resolución de capa: 0,2mm Densidad de relleno: 40% Patrón de relleno: Giroide Imprimir con soportes: Si Temperatura del extrusor: Recomendada para el material	Impresora 3D	

Articulación 34

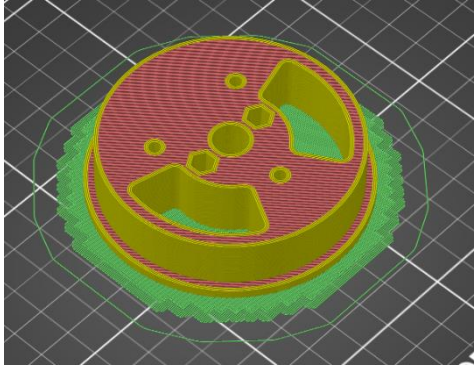
Todas las piezas que componen la articulación 34 se indican a continuación, como todas las piezas comparten los mismos parámetros se pueden ubicar varias piezas para impresas en el mismo ciclo de trabajo de la impresora, solo que estas se deben de juntar lo más que se pueda para reducir el tiempo de impresión, en caso de necesitar solo una pieza usar la información a continuación.

Lista de las piezas que componen la articulación:

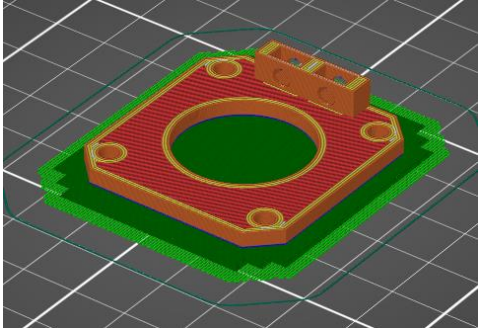
- Art3Body
- Art3Pulley
- Art4MotorFix
- Art4MotorGear
- Art4PotGear
- Art4MotorMount
- Art23Optodisk
- AxisFix
- CommonBearingFixThroug

Fase de Impresión			
No. Parte:	Nombre: Art3Body	Cliente: LIANA	Material: PLA MAX
Op: 1 Maquina: Impresora 3D Soporte y montaje: N/A	Descripción: Imprimir la pieza y al final retirar el material de soporte u material extra como los hilos que se generan al imprimir.	Croquis: 	

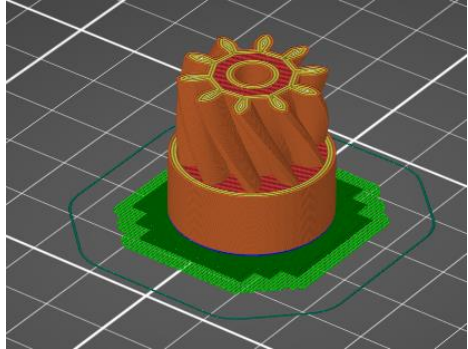
Hoja de proceso			
No. Plano: 35		Nombre: Art3Body	
Gcode: N/A		Maquina: Impresora 3D	
Material: PLA MAX			
Instrucciones de montaje: Imprimir la pieza en el centro del área de trabajo.			
Op:	Parámetros:	Herramientas	Observaciones:
1	Resolución de capa: 0,2mm Densidad de relleno: 40% Patrón de relleno: Giroide Imprimir con soportes: Si Temperatura del extrusor: Recomendada para el material	Impresora 3D	El material de soporte no es necesario pues la pieza se diseñó para ser impresa sin este, pero se recomienda su uso para que no se comprometa la calidad e integridad de las piezas.

Fase de Impresión			
No. Parte:	Nombre: Art3Pulley	Cliente: LIANA	Material: PLA MAX
Op: 1 Maquina: Impresora 3D Soporte y montaje: N/A	Descripción: Imprimir la pieza y al final retirar el material de soporte u material extra como los hilos que se generan al imprimir.	Croquis: 	

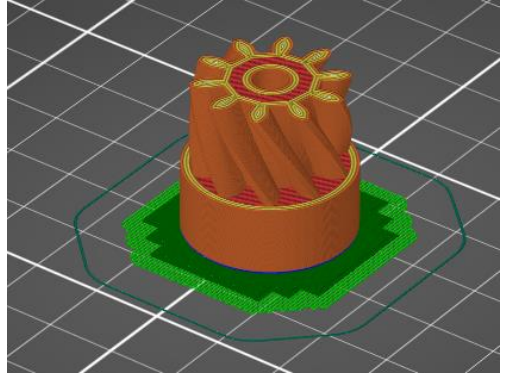
Hoja de proceso			
No. Plano: 36		Nombre: Art3Pulley	
Gcode: N/A		Maquina: Impresora 3D	
Material: PLA MAX			
Instrucciones de montaje: Imprimir la pieza en el centro del área de trabajo.			
Op:	Parámetros:	Herramientas	Observaciones:
1	Resolución de capa: 0,2mm Densidad de relleno: 40% Patrón de relleno: Giroide Imprimir con soportes: Si Temperatura del extrusor: Recomendada para el material	Impresora 3D	El material de soporte no es necesario pues la pieza se diseñó para ser impresa sin este, pero se recomienda su uso para que no se comprometa la calidad e integridad de las piezas.

Fase de Impresión			
No. Parte:	Nombre: Art4MotorFix	Ciente: LIANA	Material: PLA MAX
Op: 1 Maquina: Impresora 3D Soporte y montaje: N/A	Descripción: Imprimir la pieza y al final retirar el material de soporte u material extra como los hilos que se generan al imprimir.	Croquis: 	

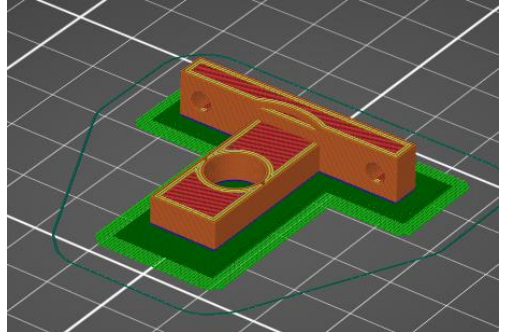
Hoja de proceso			
No. Plano: 45		Nombre: Art4MotorFix	
Gcode: N/A		Maquina: Impresora 3D	
Material: PLA MAX			
Instrucciones de montaje: Imprimir la pieza en el centro del área de trabajo.			
Op:	Parámetros:	Herramientas	Observaciones:
1	Resolución de capa: 0,2mm Densidad de relleno: 40% Patrón de relleno: Giroide Imprimir con soportes: Si Temperatura del extrusor: Recomendada para el material	Impresora 3D	

Fase de Impresión			
No. Parte:	Nombre: Art4MotorGear	Cliente: LIANA	Material: PLA MAX
Op: 1 Maquina: Impresora 3D Soporte y montaje: N/A	Descripción: Imprimir la pieza y al final retirar el material de soporte u material extra como los hilos que se generan al imprimir.	Croquis: 	

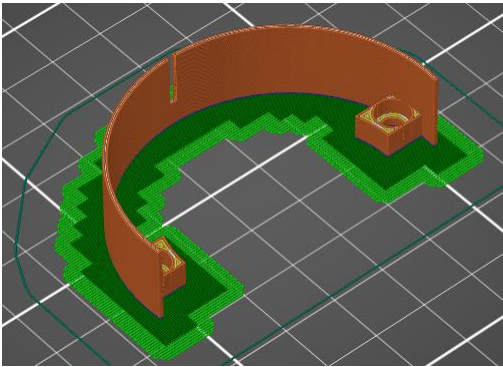
Hoja de proceso			
No. Plano: 46		Nombre: Art4MotorGear	
Gcode: N/A		Maquina: Impresora 3D	
Material: PLA MAX			
Instrucciones de montaje: Imprimir la pieza en el centro del área de trabajo.			
Op:	Parámetros:	Herramientas	Observaciones:
1	Resolución de capa: 0,2mm Densidad de relleno: 40% Patrón de relleno: Giroide Imprimir con soportes: Si Temperatura del extrusor: Recomendada para el material	Impresora 3D	

Fase de Impresión			
No. Parte:	Nombre: Art4PotGear	Cliente: LIANA	Material: PLA MAX
Op: 1 Maquina: Impresora 3D Soporte y montaje: N/A	Descripción: Imprimir la pieza y al final retirar el material de soporte u material extra como los hilos que se generan al imprimir.	Croquis: 	

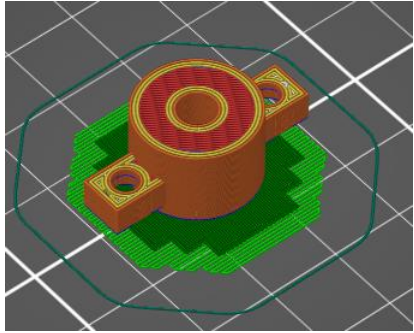
Hoja de proceso			
No. Plano: 47		Nombre: Art4PotGear	
Gcode: N/A		Maquina: Impresora 3D	
Material: PLA MAX			
Instrucciones de montaje: Imprimir la pieza en el centro del área de trabajo.			
Op:	Parámetros:	Herramientas	Observaciones:
1	Resolución de capa: 0,2mm Densidad de relleno: 40% Patrón de relleno: Giroide Imprimir con soportes: Si Temperatura del extrusor: Recomendada para el material	Impresora 3D	

Fase de Impresión			
No. Parte:	Nombre: Art4PotMount	Cliente: LIANA	Material: PLA MAX
Op: 1 Maquina: Impresora 3D Soporte y montaje: N/A	Descripción: Imprimir la pieza y al final retirar el material de soporte u material extra como los hilos que se generan al imprimir.	Croquis: 	

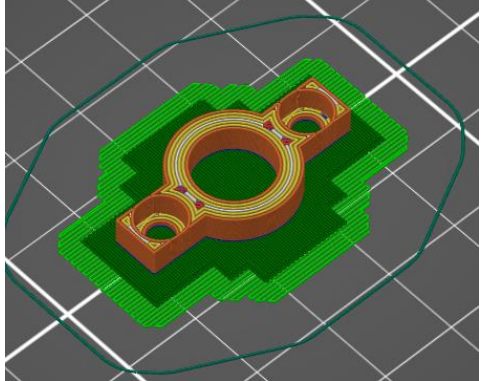
Hoja de proceso			
No. Plano: 48		Nombre: Art4PotMount	
Gcode: N/A		Maquina: Impresora 3D	
Material: PLA MAX			
Instrucciones de montaje: Imprimir la pieza en el centro del área de trabajo.			
Op:	Parámetros:	Herramientas	Observaciones:
1	Resolución de capa: 0,2mm Densidad de relleno: 40% Patrón de relleno: Giroide Imprimir con soportes: Si Temperatura del extrusor: Recomendada para el material	Impresora 3D	

Fase de Impresión			
No. Parte:	Nombre: Art23Optodisk	Cliente: LIANA	Material: PLA MAX
Op: 1 Maquina: Impresora 3D Soporte y montaje: N/A	Descripción: Imprimir la pieza y al final retirar el material de soporte u material extra como los hilos que se generan al imprimir.	Croquis: 	

Hoja de proceso			
No. Plano: 39		Nombre: Art4BearingPlug	
Gcode: N/A		Maquina: Impresora 3D	
Material: PLA MAX			
Instrucciones de montaje: Imprimir la pieza en el centro del área de trabajo.			
Op:	Parámetros:	Herramientas	Observaciones:
1	Resolución de capa: 0,2mm Densidad de relleno: 40% Patrón de relleno: Giroide Imprimir con soportes: Si Temperatura del extrusor: Recomendada para el material	Impresora 3D	

Fase de Impresión			
No. Parte:	Nombre: AxisFix	Cliente: LIANA	Material: PLA MAX
Op: 1 Maquina: Impresora 3D Soporte y montaje: N/A	Descripción: Imprimir la pieza y al final retirar el material de soporte u material extra como los hilos que se generan al imprimir.	Croquis: 	

Hoja de proceso			
No. Plano: 68		Nombre: Art4BearingPlug	
Gcode: N/A		Maquina: Impresora 3D	
Material: PLA MAX			
Instrucciones de montaje: Imprimir la pieza en el centro del área de trabajo.			
Op:	Parámetros:	Herramientas	Observaciones:
1	Resolución de capa: 0,2mm Densidad de relleno: 40% Patrón de relleno: Giroide Imprimir con soportes: Si Temperatura del extrusor: Recomendada para el material	Impresora 3D	El material de soporte no es necesario pues la pieza se diseñó para ser impresa sin este, pero se recomienda su uso para que no se comprometa la calidad e integridad de las piezas.

Fase de Impresión			
No. Parte:	Nombre: CommonBearing FixThrough	Cliente: LIANA	Material: PLA MAX
Op: 1 Maquina: Impresora 3D Soporte y montaje: N/A	Descripción: Imprimir la pieza y al final retirar el material de soporte u material extra como los hilos que se generan al imprimir.	Croquis: 	

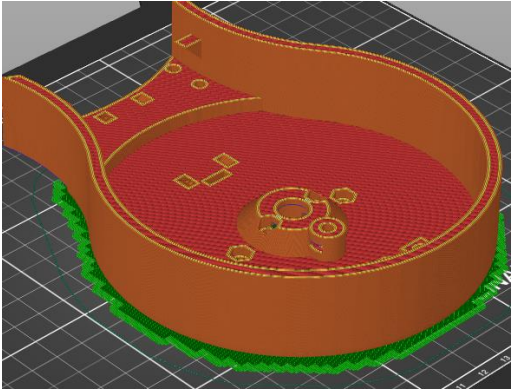
Hoja de proceso			
No. Plano: 70		Nombre: CommonBearingFixThrough	
Gcode: N/A		Maquina: Impresora 3D	
Material: PLA MAX			
Instrucciones de montaje: Imprimir la pieza en el centro del área de trabajo.			
Op:	Parámetros:	Herramientas	Observaciones:
1	Resolución de capa: 0,2mm Densidad de relleno: 40% Patrón de relleno: Giroide Imprimir con soportes: Si Temperatura del extrusor: Recomendada para el material	Impresora 3D	

Articulación 2_2

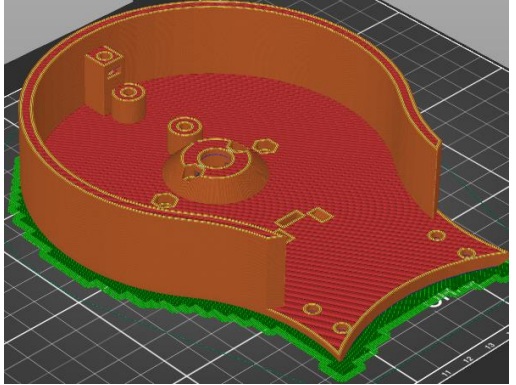
Todas las piezas que componen la articulación 2_2 se indican a continuación, como todas las piezas comparten los mismos parámetros se pueden ubicar varias piezas para impresas en el mismo ciclo de trabajo de la impresora, solo que estas se deben de juntar lo más que se pueda para reducir el tiempo de impresión, en caso de necesitar solo una pieza usar la información a continuación.

Lista de las piezas que componen la articulación:

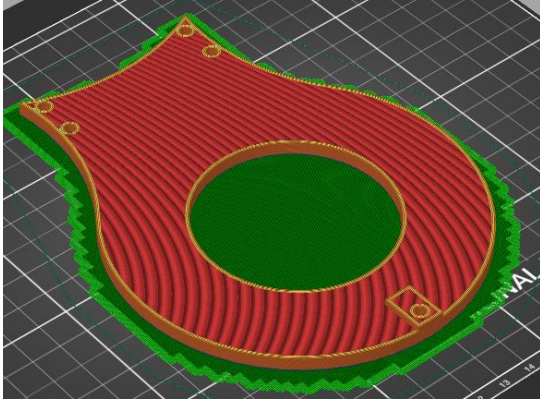
- Art2BodyB_Splitted_A
- Art2BodyB_Splitted_B
- Art2BodyBCover_Splitted_A
- Art2BodyBCover_Splitted_B
- Art2BodyUnion
- CommonBearingFixThrough (ya se indicó en articulación 34)

Fase de Impresión			
No. Parte:	Nombre: Art2BodyB_Splitted_A	Cliente: LIANA	Material: PLA MAX
Op: 1 Maquina: Impresora 3D Soporte y montaje: N/A	Descripción: Imprimir la pieza y al final retirar el material de soporte u material extra como los hilos que se generan al imprimir.	Croquis: 	

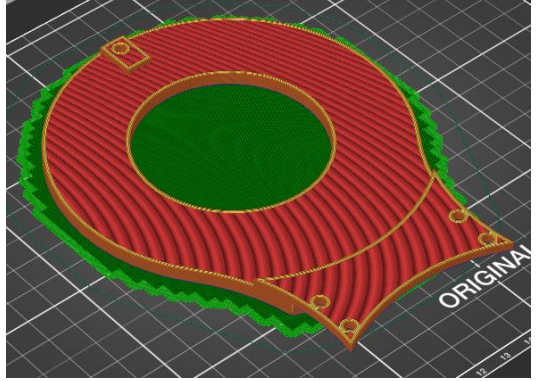
Hoja de proceso			
No. Plano: 29		Nombre: Art2BodyB_Splitted_A	
Gcode: N/A		Maquina: Impresora 3D	
Material: PLA MAX			
Instrucciones de montaje: Imprimir la pieza en el centro del área de trabajo.			
Op:	Parámetros:	Herramientas	Observaciones:
1	Resolución de capa: 0,2mm Densidad de relleno: 40% Patrón de relleno: Giroide Imprimir con soportes: Si Temperatura del extrusor: Recomendada para el material	Impresora 3D	El material de soporte no es necesario pues la pieza se diseñó para ser impresa sin este, pero se recomienda su uso para que no se comprometa la calidad e integridad de las piezas.

Fase de Impresión			
No. Parte:	Nombre: Art2BodyB_Splitted_B	Cliente: LIANA	Material: PLA MAX
Op: 1 Maquina: Impresora 3D Soporte y montaje: N/A	Descripción: Imprimir la pieza y al final retirar el material de soporte u material extra como los hilos que se generan al imprimir.	Croquis: 	

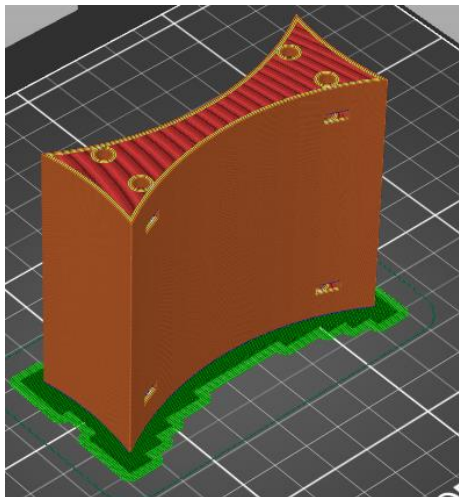
Hoja de proceso			
No. Plano: 30		Nombre: Art2BodyB_Splitted_B	
Gcode: N/A		Maquina: Impresora 3D	
Material: PLA MAX			
Instrucciones de montaje: Imprimir la pieza en el centro del área de trabajo.			
Op:	Parámetros:	Herramientas	Observaciones:
1	Resolución de capa: 0,2mm Densidad de relleno: 40% Patrón de relleno: Giroide Imprimir con soportes: Si Temperatura del extrusor: Recomendada para el material	Impresora 3D	El material de soporte no es necesario pues la pieza se diseñó para ser impresa sin este, pero se recomienda su uso para que no se comprometa la calidad e integridad de las piezas.

Fase de Impresión			
No. Parte:	Nombre: Art2BodyBCover Splitted_A	Cliente: LIANA	Material: PLA MAX
Op: 1 Maquina: Impresora 3D Soporte y montaje: N/A	Descripción: Imprimir la pieza y al final retirar el material de soporte u material extra como los hilos que se generan al imprimir.	Croquis: 	

Hoja de proceso			
No. Plano: 31		Nombre: Art2BodyBCover_Splitted_A	
Gcode: N/A		Maquina: Impresora 3D	
Material: PLA MAX			
Instrucciones de montaje: Imprimir la pieza en el centro del área de trabajo.			
Op:	Parámetros:	Herramientas	Observaciones:
1	Resolución de capa: 0,2mm Densidad de relleno: 40% Patrón de relleno: Giroide Imprimir con soportes: Si Temperatura del extrusor: Recomendada para el material	Impresora 3D	El material de soporte no es necesario pues la pieza se diseñó para ser impresa sin este, pero se recomienda su uso para que no se comprometa la calidad e integridad de las piezas.

Fase de Impresión			
No. Parte:	Nombre: Art2BodyBCover Splitted_B	Cliente: LIANA	Material: PLA MAX
Op: 1 Maquina: Impresora 3D Soporte y montaje: N/A	Descripción: Imprimir la pieza y al final retirar el material de soporte u material extra como los hilos que se generan al imprimir.	Croquis: 	

Hoja de proceso			
No. Plano: 32		Nombre: Art2BodyBCover_Splitted_B	
Gcode: N/A		Maquina: Impresora 3D	
Material: PLA MAX			
Instrucciones de montaje: Imprimir la pieza en el centro del área de trabajo.			
Op:	Parámetros:	Herramientas	Observaciones:
1	Resolución de capa: 0,2mm Densidad de relleno: 40% Patrón de relleno: Giroide Imprimir con soportes: Si Temperatura del extrusor: Recomendada para el material	Impresora 3D	El material de soporte no es necesario pues la pieza se diseñó para ser impresa sin este, pero se recomienda su uso para que no se comprometa la calidad e integridad de las piezas.

Fase de Impresión			
No. Parte:	Nombre: Art2BodyUnion	Cliente: LIANA	Material: PLA MAX
Op: 1 Maquina: Impresora 3D Soporte y montaje: N/A	Descripción: Imprimir la pieza y al final retirar el material de soporte u material extra como los hilos que se generan al imprimir.	Croquis: 	

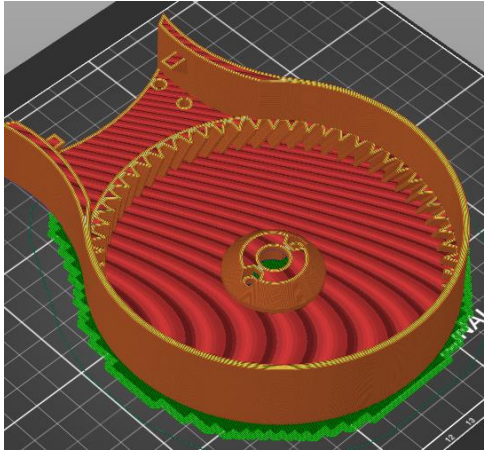
Hoja de proceso			
No. Plano: 33		Nombre: Art2BodyUnion	
Gcode: N/A		Maquina: Impresora 3D	
Material: PLA MAX			
Instrucciones de montaje: Imprimir la pieza en el centro del área de trabajo.			
Op:	Parámetros:	Herramientas	Observaciones:
1	Resolución de capa: 0,2mm Densidad de relleno: 40% Patrón de relleno: Giroide Imprimir con soportes: Si Temperatura del extrusor: Recomendada para el material	Impresora 3D	

Articulación 2_1

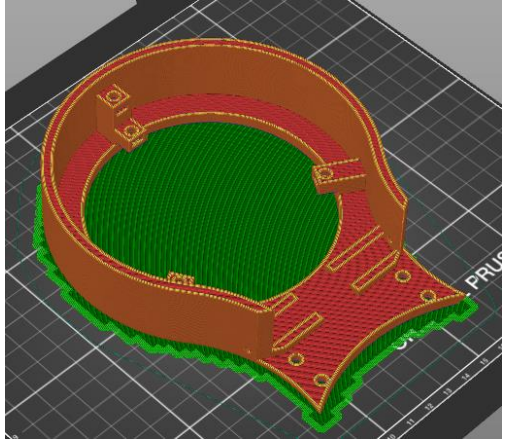
Todas las piezas que componen la articulación 2_1 se indican a continuación, como todas las piezas comparten los mismos parámetros se pueden ubicar varias piezas para impresas en el mismo ciclo de trabajo de la impresora, solo que estas se deben de juntar lo más que se pueda para reducir el tiempo de impresión, en caso de necesitar solo una pieza usar la información a continuación.

Lista de las piezas que componen la articulación:

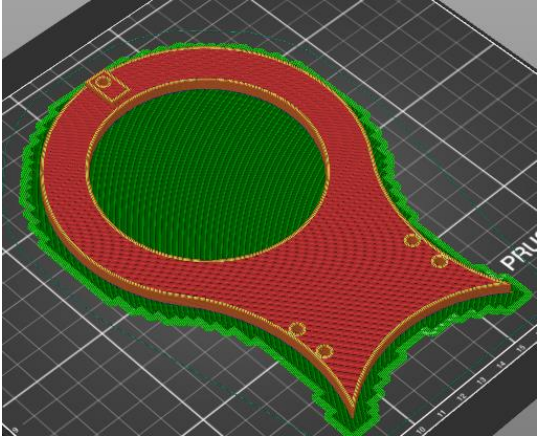
- Art2BodyA_Splitted_A
- Art2BodyA_Splitted_B
- Art2BodyACover2
- Art2BodyAWindow
- Art3TensionerBody
- Art3TensionerPulley
- CommonBearingFix

Fase de Impresión			
No. Parte:	Nombre: Art2BodyA_Splitted_A	Cliente: LIANA	Material: PLA MAX
Op: 1 Maquina: Impresora 3D Soporte y montaje: N/A	Descripción: Imprimir la pieza y al final retirar el material de soporte u material extra como los hilos que se generan al imprimir.		Croquis: 

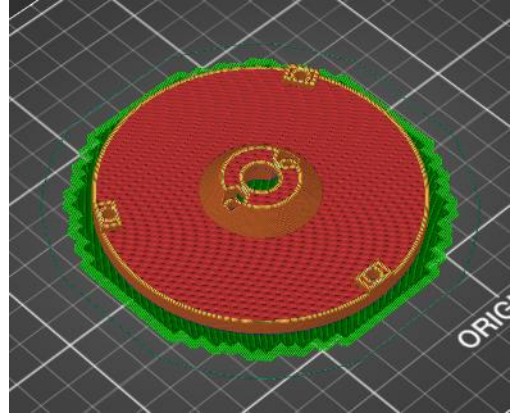
Hoja de proceso			
No. Plano: 24		Nombre: Art2BodyA_Splitted_A	
Gcode: N/A		Maquina: Impresora 3D	
Material: PLA MAX			
Instrucciones de montaje: Imprimir la pieza en el centro del área de trabajo.			
Op:	Parámetros:	Herramientas	Observaciones:
1	Resolución de capa: 0,2mm Densidad de relleno: 40% Patrón de relleno: Giroide Imprimir con soportes: Si Temperatura del extrusor: Recomendada para el material	Impresora 3D	El material de soporte no es necesario pues la pieza se diseñó para ser impresa sin este, pero se recomienda su uso para que no se comprometa la calidad e integridad de las piezas.

Fase de Impresión			
No. Parte:	Nombre: Art2BodyA_Splitted_B	Cliente: LIANA	Material: PLA MAX
Op: 1 Maquina: Impresora 3D Soporte y montaje: N/A	Descripción: Imprimir la pieza y al final retirar el material de soporte u material extra como los hilos que se generan al imprimir.	Croquis: 	

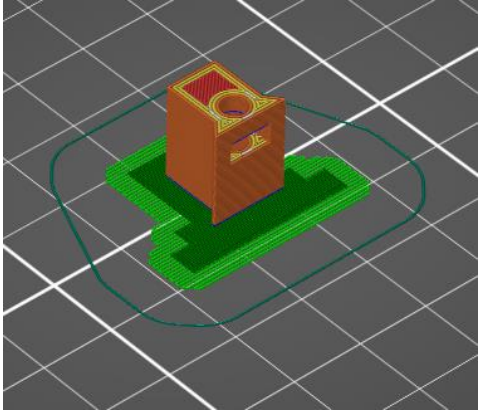
Hoja de proceso			
No. Plano: 25		Nombre: Art2BodyA_Splitted_B	
Gcode: N/A		Maquina: Impresora 3D	
Material: PLA MAX			
Instrucciones de montaje: Imprimir la pieza en el centro del área de trabajo.			
Op:	Parámetros:	Herramientas	Observaciones:
1	Resolución de capa: 0,2mm Densidad de relleno: 40% Patrón de relleno: Giroide Imprimir con soportes: Si Temperatura del extrusor: Recomendada para el material	Impresora 3D	El material de soporte no es necesario pues la pieza se diseñó para ser impresa sin este, pero se recomienda su uso para que no se comprometa la calidad e integridad de las piezas.

Fase de Impresión			
No. Parte:	Nombre: Art2BodyACover2	Cliente: LIANA	Material: PLA MAX
Op: 1 Maquina: Impresora 3D Soporte y montaje: N/A	Descripción: Imprimir la pieza y al final retirar el material de soporte u material extra como los hilos que se generan al imprimir.	Croquis: 	

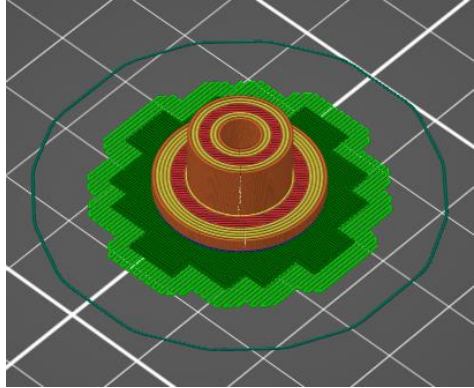
Hoja de proceso			
No. Plano: 27		Nombre: Art2BodyACover2	
Gcode: N/A		Maquina: Impresora 3D	
Material: PLA MAX			
Instrucciones de montaje: Imprimir la pieza en el centro del área de trabajo.			
Op:	Parámetros:	Herramientas	Observaciones:
1	Resolución de capa: 0,2mm Densidad de relleno: 40% Patrón de relleno: Giroide Imprimir con soportes: Si Temperatura del extrusor: Recomendada para el material	Impresora 3D	El material de soporte no es necesario pues la pieza se diseñó para ser impresa sin este, pero se recomienda su uso para que no se comprometa la calidad e integridad de las piezas.

Fase de Impresión			
No. Parte:	Nombre: Art2BodyAWindow	Cliente: LIANA	Material: PLA MAX
Op: 1 Maquina: Impresora 3D Soporte y montaje: N/A	Descripción: Imprimir la pieza y al final retirar el material de soporte u material extra como los hilos que se generan al imprimir.		Croquis: 

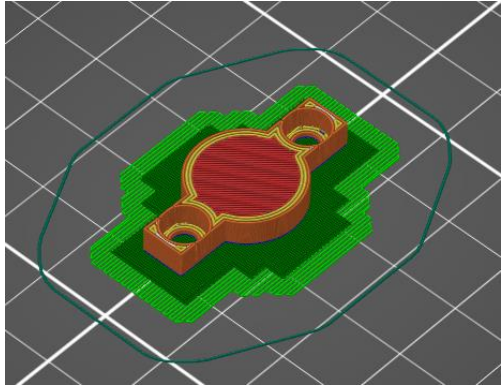
Hoja de proceso			
No. Plano: 28		Nombre: Art2BodyAWindow	
Gcode: N/A		Maquina: Impresora 3D	
Material: PLA MAX			
Instrucciones de montaje: Imprimir la pieza en el centro del área de trabajo.			
Op:	Parámetros:	Herramientas	Observaciones:
1	Resolución de capa: 0,2mm Densidad de relleno: 40% Patrón de relleno: Giroide Imprimir con soportes: Si Temperatura del extrusor: Recomendada para el material	Impresora 3D	El material de soporte no es necesario pues la pieza se diseñó para ser impresa sin este, pero se recomienda su uso para que no se comprometa la calidad e integridad de las piezas.

Fase de Impresión			
No. Parte:	Nombre: Art3TensionerBody	Cliente: LIANA	Material: PLA MAX
Op: 1 Maquina: Impresora 3D Soporte y montaje: N/A	Descripción: Imprimir la pieza y al final retirar el material de soporte u material extra como los hilos que se generan al imprimir.	Croquis: 	

Hoja de proceso			
No. Plano: 37		Nombre: Art3TensionerBody	
Gcode: N/A		Maquina: Impresora 3D	
Material: PLA MAX			
Instrucciones de montaje: Imprimir la pieza en el centro del área de trabajo.			
Op:	Parámetros:	Herramientas	Observaciones:
1	Resolución de capa: 0,2mm Densidad de relleno: 40% Patrón de relleno: Giroide Imprimir con soportes: Si Temperatura del extrusor: Recomendada para el material	Impresora 3D	El material de soporte no es necesario pues la pieza se diseñó para ser impresa sin este, pero se recomienda su uso para que no se comprometa la calidad e integridad de las piezas.

Fase de Impresión			
No. Parte:	Nombre: Art3TensionerPulley	Cliente: LIANA	Material: PLA MAX
Op: 1 Maquina: Impresora 3D Soporte y montaje: N/A	Descripción: Imprimir la pieza y al final retirar el material de soporte u material extra como los hilos que se generan al imprimir.		Croquis: 

Hoja de proceso			
No. Plano: 36		Nombre: Art3TensionerPulley	
Gcode: N/A		Maquina: Impresora 3D	
Material: PLA MAX			
Instrucciones de montaje: Imprimir la pieza en el centro del área de trabajo.			
Op:	Parámetros:	Herramientas	Observaciones:
1	Resolución de capa: 0,2mm Densidad de relleno: 40% Patrón de relleno: Giroide Imprimir con soportes: Si Temperatura del extrusor: Recomendada para el material	Impresora 3D	El material de soporte no es necesario pues la pieza se diseñó para ser impresa sin este, pero se recomienda su uso para que no se comprometa la calidad e integridad de las piezas.

Fase de Impresión			
No. Parte:	Nombre: CommonBearingFix	Cliente: LIANA	Material: PLA MAX
Op: 1 Maquina: Impresora 3D Soporte y montaje: N/A	Descripción: Imprimir la pieza y al final retirar el material de soporte u material extra como los hilos que se generan al imprimir.	Croquis: 	

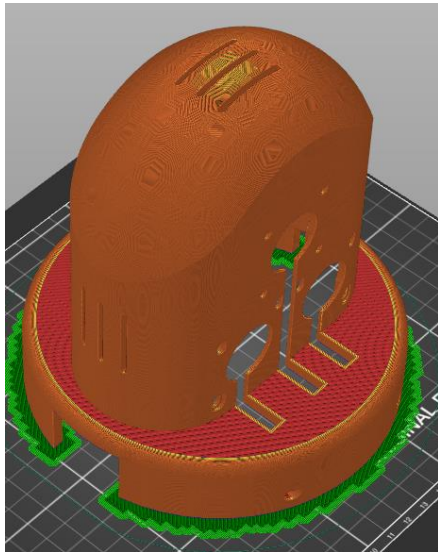
Hoja de proceso			
No. Plano: 69		Nombre: Art2BodyA_Splitted_A	
Gcode: N/A		Maquina: Impresora 3D	
Material: PLA MAX			
Instrucciones de montaje: Imprimir la pieza en el centro del área de trabajo.			
Op:	Parámetros:	Herramientas	Observaciones:
1	Resolución de capa: 0,2mm Densidad de relleno: 40% Patrón de relleno: Giroide Imprimir con soportes: Si Temperatura del extrusor: Recomendada para el material	Impresora 3D	

Articulación 1

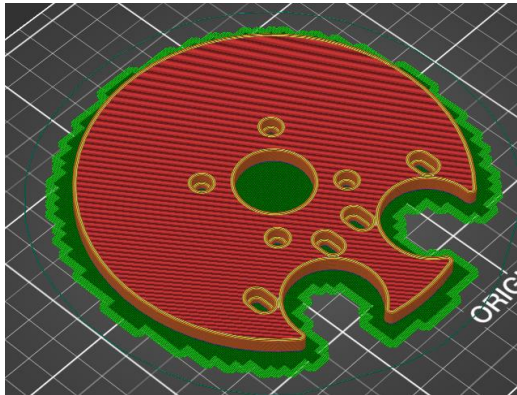
Todas las piezas que componen la articulación 1 se indican a continuación, como todas las piezas comparten los mismos parámetros se pueden ubicar varias piezas para impresas en el mismo ciclo de trabajo de la impresora, solo que estas se deben de juntar lo más que se pueda para reducir el tiempo de impresión, en caso de necesitar solo una pieza usar la información a continuación.

Lista de las piezas que componen la articulación:

- Art1Body
- Art2BodyACover1
- Art2MotorGear
- Art23Optodisk (ya se indicó en articulación 34)
- AxisFix (ya se indicó en articulación 34)

Fase de Impresión			
No. Parte:	Nombre: Art1Body	Cliente: LIANA	Material: PLA MAX
Op: 1 Maquina: Impresora 3D Soporte y montaje: N/A	Descripción: Imprimir la pieza y al final retirar el material de soporte u material extra como los hilos que se generan al imprimir.	Croquis: 	

Hoja de proceso			
No. Plano: 18		Nombre: Art1Body	
Gcode: N/A		Maquina: Impresora 3D	
Material: PLA MAX			
Instrucciones de montaje: Imprimir la pieza en el centro del área de trabajo.			
Op:	Parámetros:	Herramientas	Observaciones:
1	Resolución de capa: 0,2mm Densidad de relleno: 40% Patrón de relleno: Giroide Imprimir con soportes: Si Temperatura del extrusor: Recomendada para el material	Impresora 3D	El material de soporte no es necesario pues la pieza se diseñó para ser impresa sin este, pero se recomienda su uso para que no se comprometa la calidad e integridad de las piezas.

Fase de Impresión			
No. Parte:	Nombre: Art2BodyACover1	Ciente: LIANA	Material: PLA MAX
Op: 1 Maquina: Impresora 3D Soporte y montaje: N/A	Descripción: Imprimir la pieza y al final retirar el material de soporte u material extra como los hilos que se generan al imprimir.	Croquis: 	

Hoja de proceso			
No. Plano: 26		Nombre: Art2BodyACover1	
Gcode: N/A		Maquina: Impresora 3D	
Material: PLA MAX			
Instrucciones de montaje: Imprimir la pieza en el centro del área de trabajo.			
Op:	Parámetros:	Herramientas	Observaciones:
1	Resolución de capa: 0,2mm Densidad de relleno: 40% Patrón de relleno: Giroide Imprimir con soportes: Si Temperatura del extrusor: Recomendada para el material	Impresora 3D	

Fase de Impresión			
No. Parte:	Nombre: Art2MotorGear	Cliente: LIANA	Material: PLA MAX
Op: 1 Maquina: Impresora 3D Soporte y montaje: N/A	Descripción: Imprimir la pieza y al final retirar el material de soporte u material extra como los hilos que se generan al imprimir.	Croquis: 	

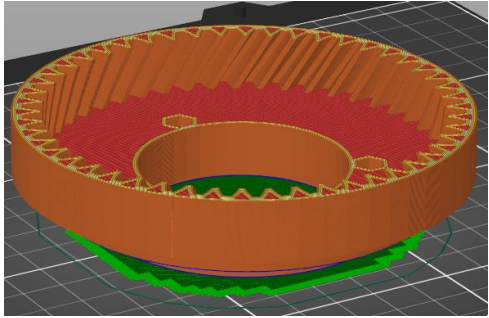
Hoja de proceso			
No. Plano: 34		Nombre: Art2MotorGear	
Gcode: N/A		Maquina: Impresora 3D	
Material: PLA MAX			
Instrucciones de montaje: Imprimir la pieza en el centro del área de trabajo.			
Op:	Parámetros:	Herramientas	Observaciones:
1	Resolución de capa: 0,2mm Densidad de relleno: 40% Patrón de relleno: Giroide Imprimir con soportes: Si Temperatura del extrusor: Recomendada para el material	Impresora 3D	

Base y case del PCB

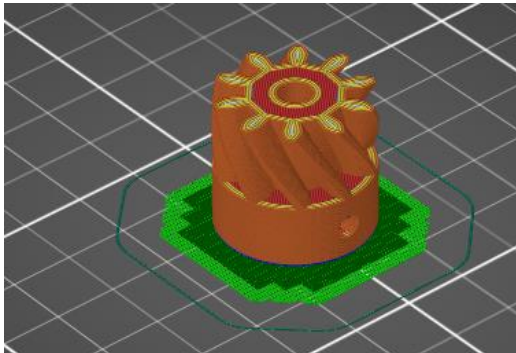
Todas las piezas que componen la articulación 1 se indican a continuación, como todas las piezas comparten los mismos parámetros se pueden ubicar varias piezas para impresas en el mismo ciclo de trabajo de la impresora, solo que estas se deben de juntar lo más que se pueda para reducir el tiempo de impresión, en caso de necesitar solo una pieza usar la información a continuación.

Lista de las piezas que componen la articulación:

- Art1Bot
- Art1GearMotor
- Art1GearPot
- Art1PotMount
- Art1Top
- BaseBearingFix
- BaseBot
- BaseCase_splitA
- BaseCase_splitB
- BaseTop
- CaseTop_splitA
- CaseTop_splitB

Fase de Impresión			
No. Parte:	Nombre: Art1Bot	Cliente: LIANA	Material: PLA MAX
Op: 1 Maquina: Impresora 3D Soporte y montaje: N/A	Descripción: Imprimir la pieza y al final retirar el material de soporte u material extra como los hilos que se generan al imprimir.	Croquis: 	

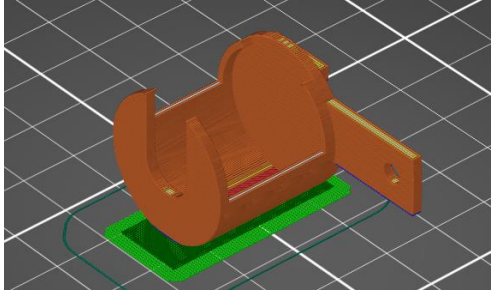
Hoja de proceso			
No. Plano: 19		Nombre: Art1Bot	
Gcode: N/A		Maquina: Impresora 3D	
Material: PLA MAX			
Instrucciones de montaje: Imprimir la pieza en el centro del área de trabajo.			
Op:	Parámetros:	Herramientas	Observaciones:
1	Resolución de capa: 0,2mm Densidad de relleno: 40% Patrón de relleno: Giroide Imprimir con soportes: Si Temperatura del extrusor: Recomendada para el material	Impresora 3D	El material de soporte no es necesario pues la pieza se diseñó para ser impresa sin este, pero se recomienda su uso para que no se comprometa la calidad e integridad de las piezas.

Fase de Impresión			
No. Parte:	Nombre: Art1GearMotor	Cliente: LIANA	Material: PLA MAX
Op: 1 Maquina: Impresora 3D Soporte y montaje: N/A	Descripción: Imprimir la pieza y al final retirar el material de soporte u material extra como los hilos que se generan al imprimir.		Croquis: 

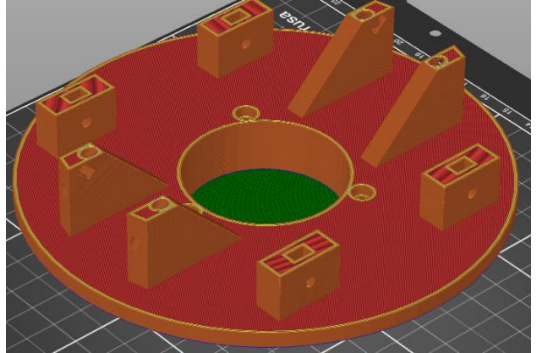
Hoja de proceso			
No. Plano: 20		Nombre: Art1GearMotor	
Gcode: N/A		Maquina: Impresora 3D	
Material: PLA MAX			
Instrucciones de montaje: Imprimir la pieza en el centro del área de trabajo.			
Op:	Parámetros:	Herramientas	Observaciones:
1	Resolución de capa: 0,2mm Densidad de relleno: 40% Patrón de relleno: Giroide Imprimir con soportes: Si Temperatura del extrusor: Recomendada para el material	Impresora 3D	

Fase de Impresión			
No. Parte:	Nombre: Art1GearPot	Cliente: LIANA	Material: PLA MAX
Op: 1 Maquina: Impresora 3D Soporte y montaje: N/A	Descripción: Imprimir la pieza y al final retirar el material de soporte u material extra como los hilos que se generan al imprimir.	Croquis: 	

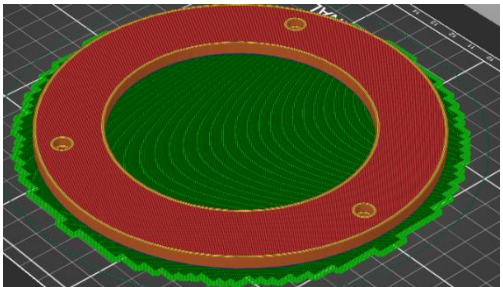
Hoja de proceso			
No. Plano: 21		Nombre: Art1GearPot	
Gcode: N/A		Maquina: Impresora 3D	
Material: PLA MAX			
Instrucciones de montaje: Imprimir la pieza en el centro del área de trabajo.			
Op:	Parámetros:	Herramientas	Observaciones:
1	Resolución de capa: 0,2mm Densidad de relleno: 40% Patrón de relleno: Giroide Imprimir con soportes: Si Temperatura del extrusor: Recomendada para el material	Impresora 3D	

Fase de Impresión			
No. Parte:	Nombre: Art1PotMount	Cliente: LIANA	Material: PLA MAX
Op: 1 Maquina: Impresora 3D Soporte y montaje: N/A	Descripción: Imprimir la pieza y al final retirar el material de soporte u material extra como los hilos que se generan al imprimir.	Croquis: 	

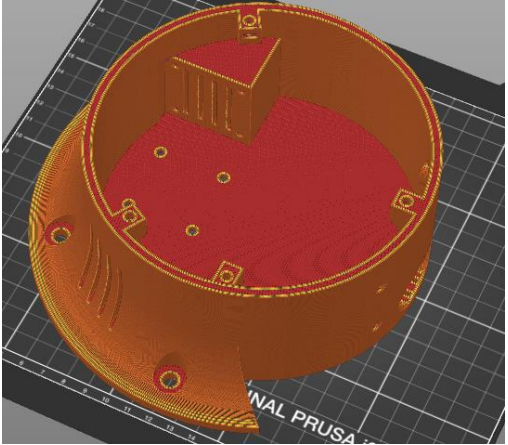
Hoja de proceso			
No. Plano: 22		Nombre: Art1PotMount	
Gcode: N/A		Maquina: Impresora 3D	
Material: PLA MAX			
Instrucciones de montaje: Imprimir la pieza en el centro del área de trabajo.			
Op:	Parámetros:	Herramientas	Observaciones:
1	Resolución de capa: 0,2mm Densidad de relleno: 40% Patrón de relleno: Giroide Imprimir con soportes: Si Temperatura del extrusor: Recomendada para el material	Impresora 3D	El material de soporte no es necesario pues la pieza se diseñó para ser impresa sin este, pero se recomienda su uso para que no se comprometa la calidad e integridad de las piezas.

Fase de Impresión			
No. Parte:	Nombre: Art1Top	Cliente: LIANA	Material: PLA MAX
Op: 1 Maquina: Impresora 3D Soporte y montaje: N/A	Descripción: Imprimir la pieza y al final retirar el material de soporte u material extra como los hilos que se generan al imprimir.	Croquis: 	

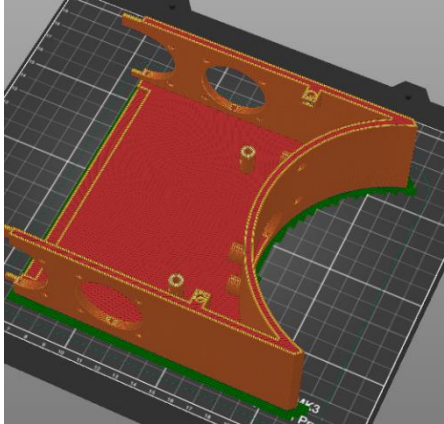
Hoja de proceso			
No. Plano: 23		Nombre: Art1Top	
Gcode: N/A		Maquina: Impresora 3D	
Material: PLA MAX			
Instrucciones de montaje: Imprimir la pieza en el centro del área de trabajo.			
Op:	Parámetros:	Herramientas	Observaciones:
1	Resolución de capa: 0,2mm Densidad de relleno: 40% Patrón de relleno: Giroide Imprimir con soportes: Si Temperatura del extrusor: Recomendada para el material	Impresora 3D	El material de soporte no es necesario pues la pieza se diseñó para ser impresa sin este, pero se recomienda su uso para que no se comprometa la calidad e integridad de las piezas.

Fase de Impresión			
No. Parte:	Nombre: BaseBearingFix	Cliente: LIANA	Material: PLA MAX
Op: 1 Maquina: Impresora 3D Soporte y montaje: N/A	Descripción: Imprimir la pieza y al final retirar el material de soporte u material extra como los hilos que se generan al imprimir.	Croquis: 	

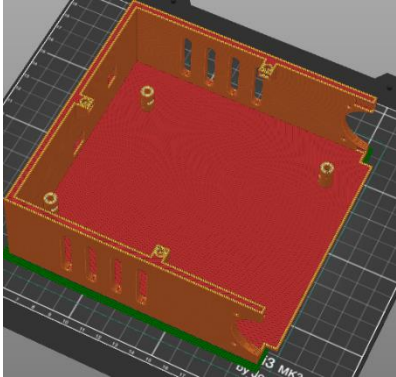
Hoja de proceso			
No. Plano: 57		Nombre: BaseBearingFix	
Gcode: N/A		Maquina: Impresora 3D	
Material: PLA MAX			
Instrucciones de montaje: Imprimir la pieza en el centro del área de trabajo.			
Op:	Parámetros:	Herramientas	Observaciones:
1	Resolución de capa: 0,2mm Densidad de relleno: 40% Patrón de relleno: Giroide Imprimir con soportes: Si Temperatura del extrusor: Recomendada para el material	Impresora 3D	

Fase de Impresión			
No. Parte:	Nombre: BaseBot	Cliente: LIANA	Material: PLA MAX
Op: 1 Maquina: Impresora 3D Soporte y montaje: N/A	Descripción: Imprimir la pieza y al final retirar el material de soporte u material extra como los hilos que se generan al imprimir.	Croquis: 	

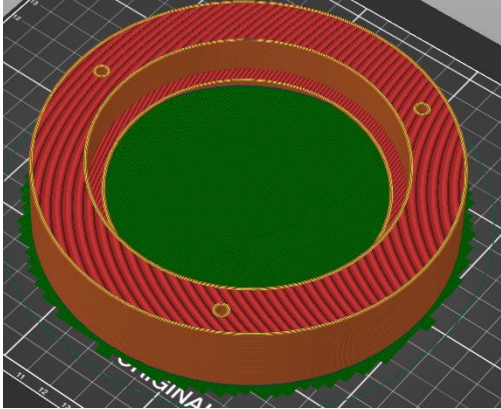
Hoja de proceso			
No. Plano: 58		Nombre: BaseBot	
Gcode: N/A		Maquina: Impresora 3D	
Material: PLA MAX			
Instrucciones de montaje: Imprimir la pieza en el centro del área de trabajo.			
Op:	Parámetros:	Herramientas	Observaciones:
1	Resolución de capa: 0,2mm Densidad de relleno: 40% Patrón de relleno: Giroide Imprimir con soportes: Si Temperatura del extrusor: Recomendada para el material	Impresora 3D	El material de soporte no es necesario pues la pieza se diseñó para ser impresa sin este, pero se recomienda su uso para que no se comprometa la calidad e integridad de las piezas.

Fase de Impresión			
No. Parte:	Nombre: BaseCase_splitA	Cliente: LIANA	Material: PLA MAX
Op: 1 Maquina: Impresora 3D Soporte y montaje: N/A	Descripción: Imprimir la pieza y al final retirar el material de soporte u material extra como los hilos que se generan al imprimir.	Croquis: 	

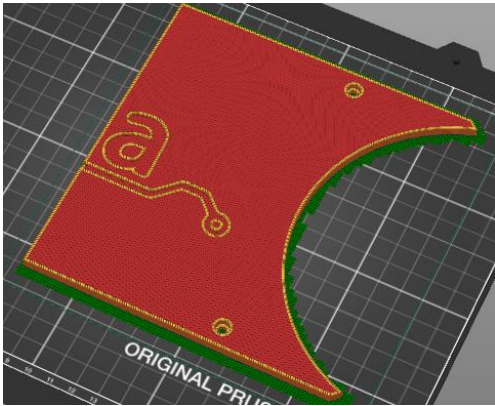
Hoja de proceso			
No. Plano: 59		Nombre: BaseCase_splitA	
Gcode: N/A		Maquina: Impresora 3D	
Material: PLA MAX			
Instrucciones de montaje: Imprimir la pieza en el centro del área de trabajo.			
Op:	Parámetros:	Herramientas	Observaciones:
1	Resolución de capa: 0,2mm Densidad de relleno: 40% Patrón de relleno: Giroide Imprimir con soportes: Si Temperatura del extrusor: Recomendada para el material	Impresora 3D	El material de soporte no es necesario pues la pieza se diseñó para ser impresa sin este, pero se recomienda su uso para que no se comprometa la calidad e integridad de las piezas.

Fase de Impresión			
No. Parte:	Nombre: BaseCase_splitB	Cliente: LIANA	Material: PLA MAX
Op: 1 Maquina: Impresora 3D Soporte y montaje: N/A	Descripción: Imprimir la pieza y al final retirar el material de soporte u material extra como los hilos que se generan al imprimir.	Croquis: 	

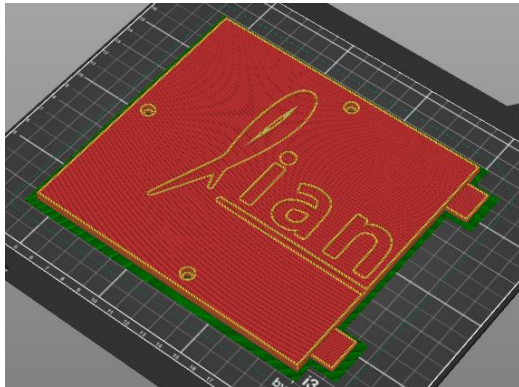
Hoja de proceso			
No. Plano: 59		Nombre: BaseCase_splitB	
Gcode: N/A		Maquina: Impresora 3D	
Material: PLA MAX			
Instrucciones de montaje: Imprimir la pieza en el centro del área de trabajo.			
Op:	Parámetros:	Herramientas	Observaciones:
1	Resolución de capa: 0,2mm Densidad de relleno: 40% Patrón de relleno: Giroide Imprimir con soportes: Si Temperatura del extrusor: Recomendada para el material	Impresora 3D	El material de soporte no es necesario pues la pieza se diseñó para ser impresa sin este, pero se recomienda su uso para que no se comprometa la calidad e integridad de las piezas.

Fase de Impresión			
No. Parte:	Nombre: BaseTop	Cliente: LIANA	Material: PLA MAX
Op: 1 Maquina: Impresora 3D Soporte y montaje: N/A	Descripción: Imprimir la pieza y al final retirar el material de soporte u material extra como los hilos que se generan al imprimir.	Croquis: 	

Hoja de proceso			
No. Plano: 60		Nombre: BaseTop	
Gcode: N/A		Maquina: Impresora 3D	
Material: PLA MAX			
Instrucciones de montaje: Imprimir la pieza en el centro del área de trabajo.			
Op:	Parámetros:	Herramientas	Observaciones:
1	Resolución de capa: 0,2mm Densidad de relleno: 40% Patrón de relleno: Giroide Imprimir con soportes: Si Temperatura del extrusor: Recomendada para el material	Impresora 3D	El material de soporte no es necesario pues la pieza se diseñó para ser impresa sin este, pero se recomienda su uso para que no se comprometa la calidad e integridad de las piezas.

Fase de Impresión			
No. Parte:	Nombre: CaseTop_splitA	Cliente: LIANA	Material: PLA MAX
Op: 1 Maquina: Impresora 3D Soporte y montaje: N/A	Descripción: Imprimir la pieza y al final retirar el material de soporte u material extra como los hilos que se generan al imprimir.	Croquis: 	

Hoja de proceso			
No. Plano: 61		Nombre: CaseTop_splitA	
Gcode: N/A		Maquina: Impresora 3D	
Material: PLA MAX			
Instrucciones de montaje: Imprimir la pieza en el centro del área de trabajo.			
Op:	Parámetros:	Herramientas	Observaciones:
1	Resolución de capa: 0,2mm Densidad de relleno: 20% Patrón de relleno: Giroide Imprimir con soportes: Si Temperatura del extrusor: Recomendada para el material	Impresora 3D	Al ser tapas no es necesario que este a todo relleno, de hecho, si el relleno es elevado se puede pandear o doblar.

Fase de Impresión			
No. Parte:	Nombre: CaseTop_splitB	Cliente: LIANA	Material: PLA MAX
Op: 1 Maquina: Impresora 3D Soporte y montaje: N/A	Descripción: Imprimir la pieza y al final retirar el material de soporte u material extra como los hilos que se generan al imprimir.	Croquis: 	

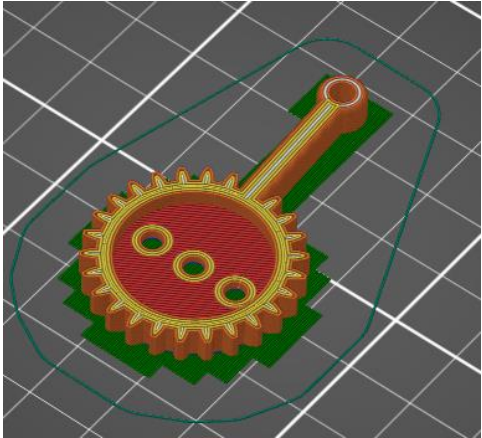
Hoja de proceso			
No. Plano: 61		Nombre: CaseTop_splitB	
Gcode: N/A		Maquina: Impresora 3D	
Material: PLA MAX			
Instrucciones de montaje: Imprimir la pieza en el centro del área de trabajo.			
Op:	Parámetros:	Herramientas	Observaciones:
1	Resolución de capa: 0,2mm Densidad de relleno: 20% Patrón de relleno: Giroide Imprimir con soportes: Si Temperatura del extrusor: Recomendada para el material	Impresora 3D	Al ser tapas no es necesario que este a todo relleno, de hecho, si el relleno es elevado se puede pandear o doblar.

Gripper

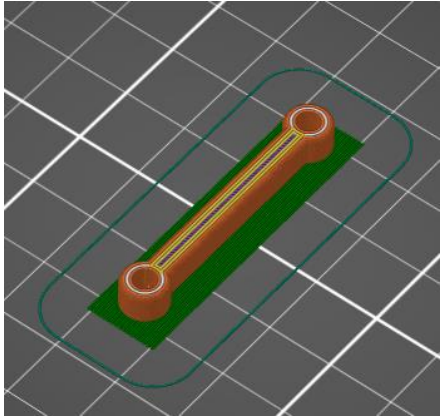
Todas las piezas que componen el gripper o efector se indican a continuación, como todas las piezas comparten los mismos parámetros se pueden ubicar varias piezas para impresas en el mismo ciclo de trabajo de la impresora, solo que estas se deben de juntar lo más que se pueda para reducir el tiempo de impresión, en caso de necesitar solo una pieza usar la información a continuación.

Lista de las piezas que componen la articulación:

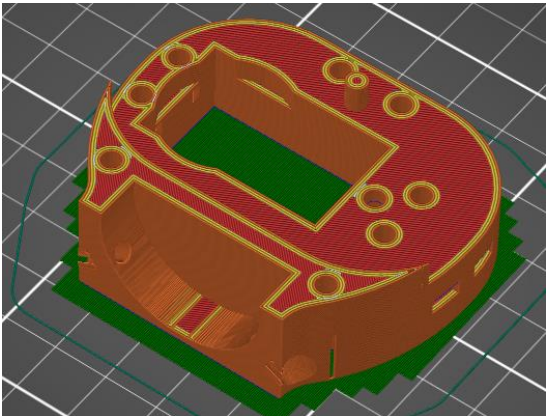
- GripperActiveArm
- GripperArm
- GripperBot
- GripperFinger
- GripperPassiveArm
- GripperTop

Fase de Impresión			
No. Parte:	Nombre: GripperActiveArm	Cliente: LIANA	Material: PLA MAX
Op: 1 Maquina: Impresora 3D Soporte y montaje: N/A	Descripción: Imprimir la pieza y al final retirar el material de soporte u material extra como los hilos que se generan al imprimir.	Croquis: 	

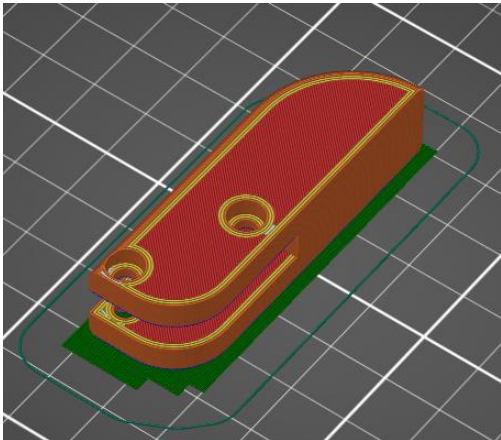
Hoja de proceso			
No. Plano: 62		Nombre: GripperActiveArm	
Gcode: N/A		Maquina: Impresora 3D	
Material: PLA MAX			
Instrucciones de montaje: Imprimir la pieza en el centro del área de trabajo.			
Op:	Parámetros:	Herramientas	Observaciones:
1	Resolución de capa: 0,2mm Densidad de relleno: 40% Patrón de relleno: Giroide Imprimir con soportes: Si Temperatura del extrusor: Recomendada para el material	Impresora 3D	

Fase de Impresión			
No. Parte:	Nombre: GripperArm	Cliente: LIANA	Material: PLA MAX
Op: 1 Maquina: Impresora 3D Soporte y montaje: N/A	Descripción: Imprimir la pieza y al final retirar el material de soporte u material extra como los hilos que se generan al imprimir.	Croquis: 	

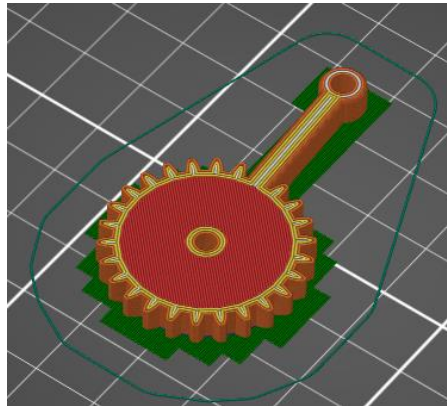
Hoja de proceso			
No. Plano: 63		Nombre: GripperArm	
Gcode: N/A		Maquina: Impresora 3D	
Material: PLA MAX			
Instrucciones de montaje: Imprimir la pieza en el centro del área de trabajo.			
Op:	Parámetros:	Herramientas	Observaciones:
1	Resolución de capa: 0,2mm Densidad de relleno: 40% Patrón de relleno: Giroide Imprimir con soportes: Si Temperatura del extrusor: Recomendada para el material	Impresora 3D	

Fase de Impresión			
No. Parte:	Nombre: GripperBot	Cliente: LIANA	Material: PLA MAX
Op: 1 Maquina: Impresora 3D Soporte y montaje: N/A	Descripción: Imprimir la pieza y al final retirar el material de soporte u material extra como los hilos que se generan al imprimir.		Croquis: 

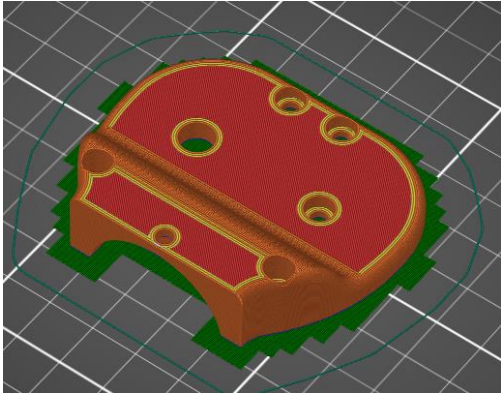
Hoja de proceso			
No. Plano: 64		Nombre: GripperBot	
Gcode: N/A		Maquina: Impresora 3D	
Material: PLA MAX			
Instrucciones de montaje: Imprimir la pieza en el centro del área de trabajo.			
Op:	Parámetros:	Herramientas	Observaciones:
1	Resolución de capa: 0,2mm Densidad de relleno: 40% Patrón de relleno: Giroide Imprimir con soportes: Si Temperatura del extrusor: Recomendada para el material	Impresora 3D	El material de soporte no es necesario pues la pieza se diseñó para ser impresa sin este, pero se recomienda su uso para que no se comprometa la calidad e integridad de las piezas.

Fase de Impresión			
No. Parte:	Nombre: GripperFinger	Cliente: LIANA	Material: PLA MAX
Op: 1 Maquina: Impresora 3D Soporte y montaje: N/A	Descripción: Imprimir la pieza y al final retirar el material de soporte u material extra como los hilos que se generan al imprimir.	Croquis: 	

Hoja de proceso			
No. Plano: 65		Nombre: GripperFinger	
Gcode: N/A		Maquina: Impresora 3D	
Material: PLA MAX			
Instrucciones de montaje: Imprimir la pieza en el centro del área de trabajo.			
Op:	Parámetros:	Herramientas	Observaciones:
1	Resolución de capa: 0,2mm Densidad de relleno: 40% Patrón de relleno: Giroide Imprimir con soportes: Si Temperatura del extrusor: Recomendada para el material	Impresora 3D	El material de soporte no es necesario pues la pieza se diseñó para ser impresa sin este, pero se recomienda su uso para que no se comprometa la calidad e integridad de las piezas.

Fase de Impresión			
No. Parte:	Nombre: GripperPassiveArm	Cliente: LIANA	Material: PLA MAX
Op: 1 Maquina: Impresora 3D Soporte y montaje: N/A	Descripción: Imprimir la pieza y al final retirar el material de soporte u material extra como los hilos que se generan al imprimir.	Croquis: 	

Hoja de proceso			
No. Plano: 66		Nombre: GripperPassiveArm	
Gcode: N/A		Maquina: Impresora 3D	
Material: PLA MAX			
Instrucciones de montaje: Imprimir la pieza en el centro del área de trabajo.			
Op:	Parámetros:	Herramientas	Observaciones:
1	Resolución de capa: 0,2mm Densidad de relleno: 40% Patrón de relleno: Giroide Imprimir con soportes: Si Temperatura del extrusor: Recomendada para el material	Impresora 3D	

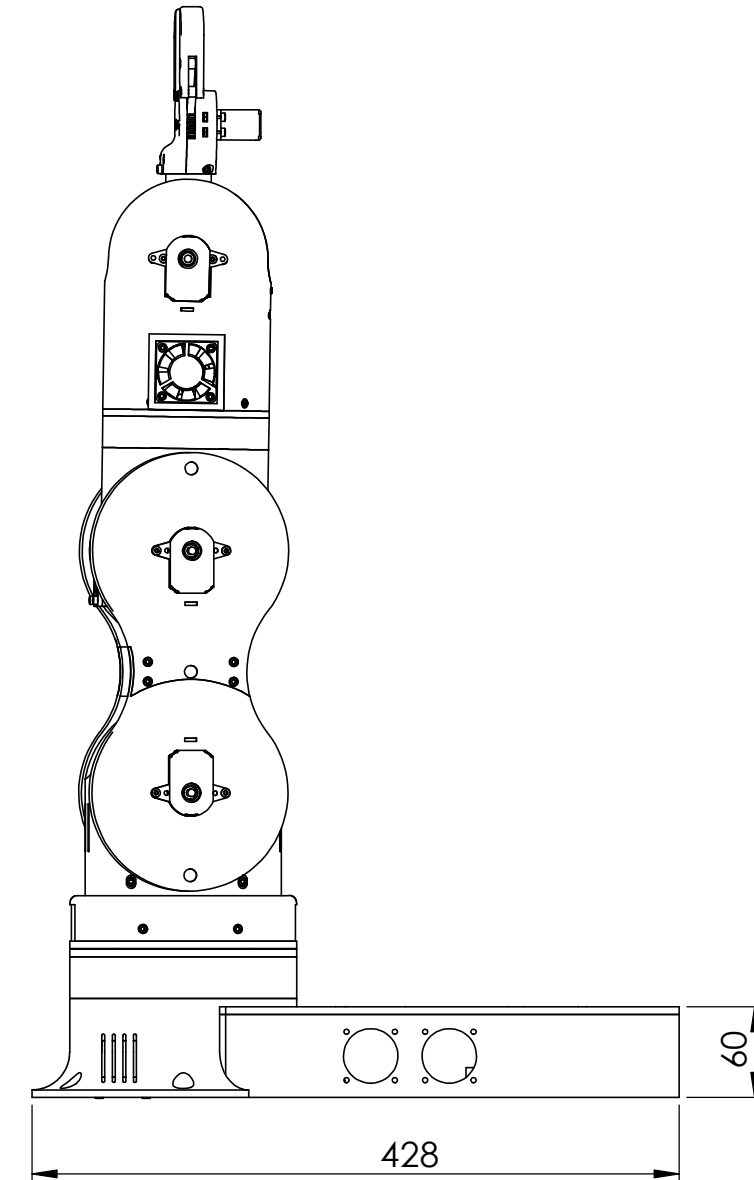
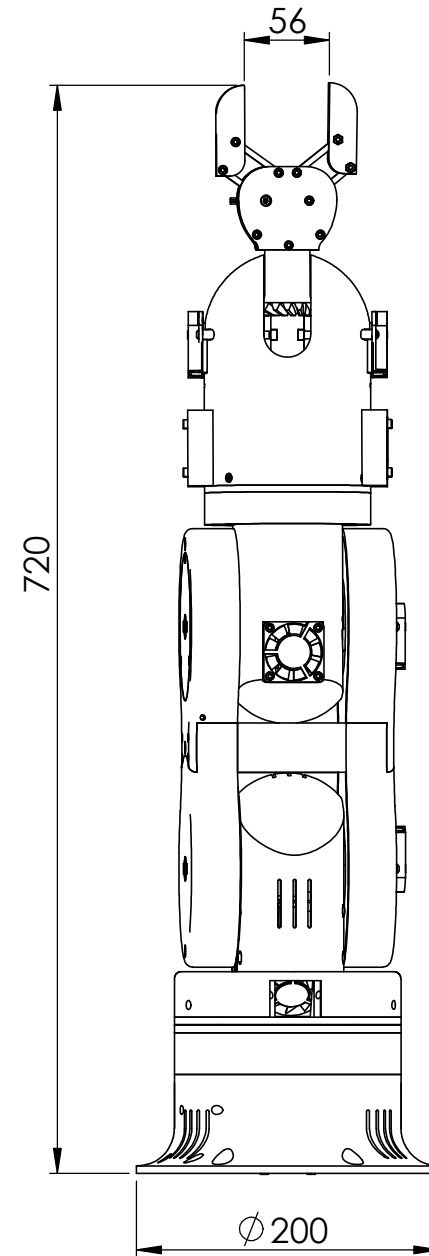
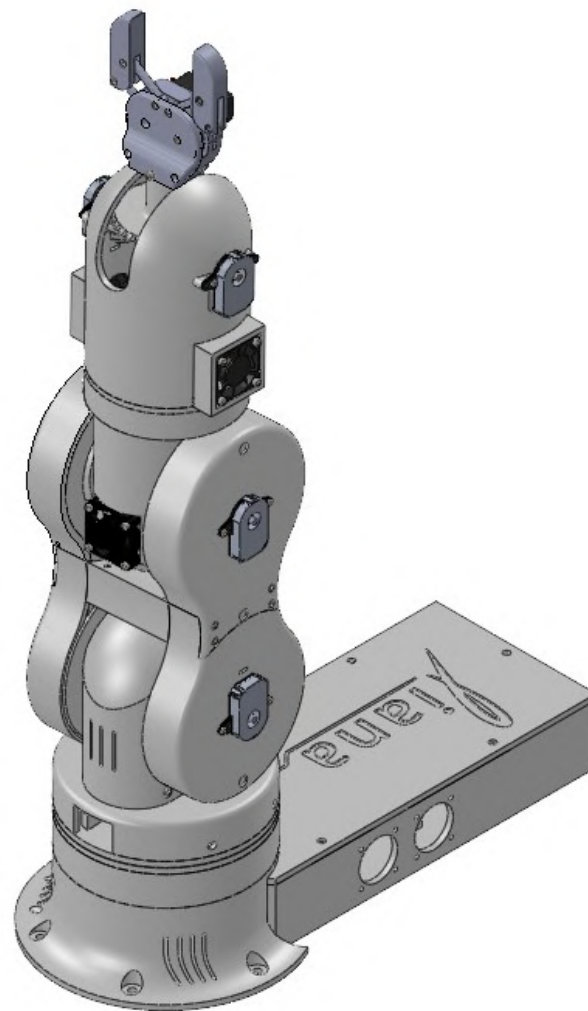
Fase de Impresión			
No. Parte:	Nombre: GripperTop	Cliente: LIANA	Material: PLA MAX
Op: 1 Maquina: Impresora 3D Soporte y montaje: N/A	Descripción: Imprimir la pieza y al final retirar el material de soporte u material extra como los hilos que se generan al imprimir.	Croquis: 	

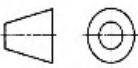
Hoja de proceso			
No. Plano: 67		Nombre: GripperTop	
Gcode: N/A		Maquina: Impresora 3D	
Material: PLA MAX			
Instrucciones de montaje: Imprimir la pieza en el centro del área de trabajo.			
Op:	Parámetros:	Herramientas	Observaciones:
1	Resolución de capa: 0,2mm Densidad de relleno: 40% Patrón de relleno: Giroide Imprimir con soportes: Si Temperatura del extrusor: Recomendada para el material	Impresora 3D	El material de soporte no es necesario pues la pieza se diseñó para ser impresa sin este, pero se recomienda su uso para que no se comprometa la calidad e integridad de las piezas.

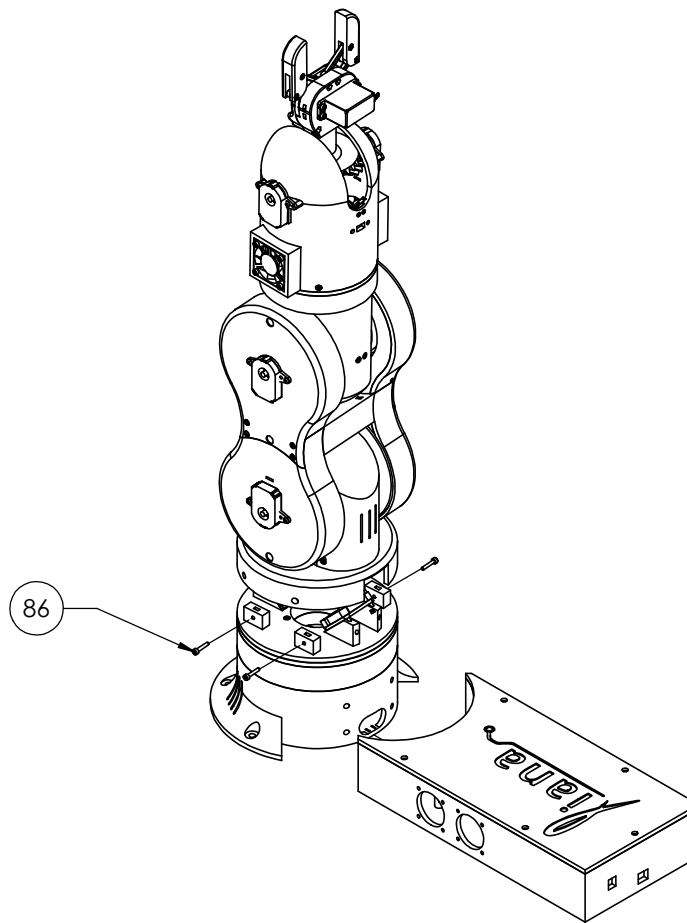
A large, stylized, grey letter 'E' in a serif font, positioned in the upper right corner of the page.

Planos del brazo THOR.

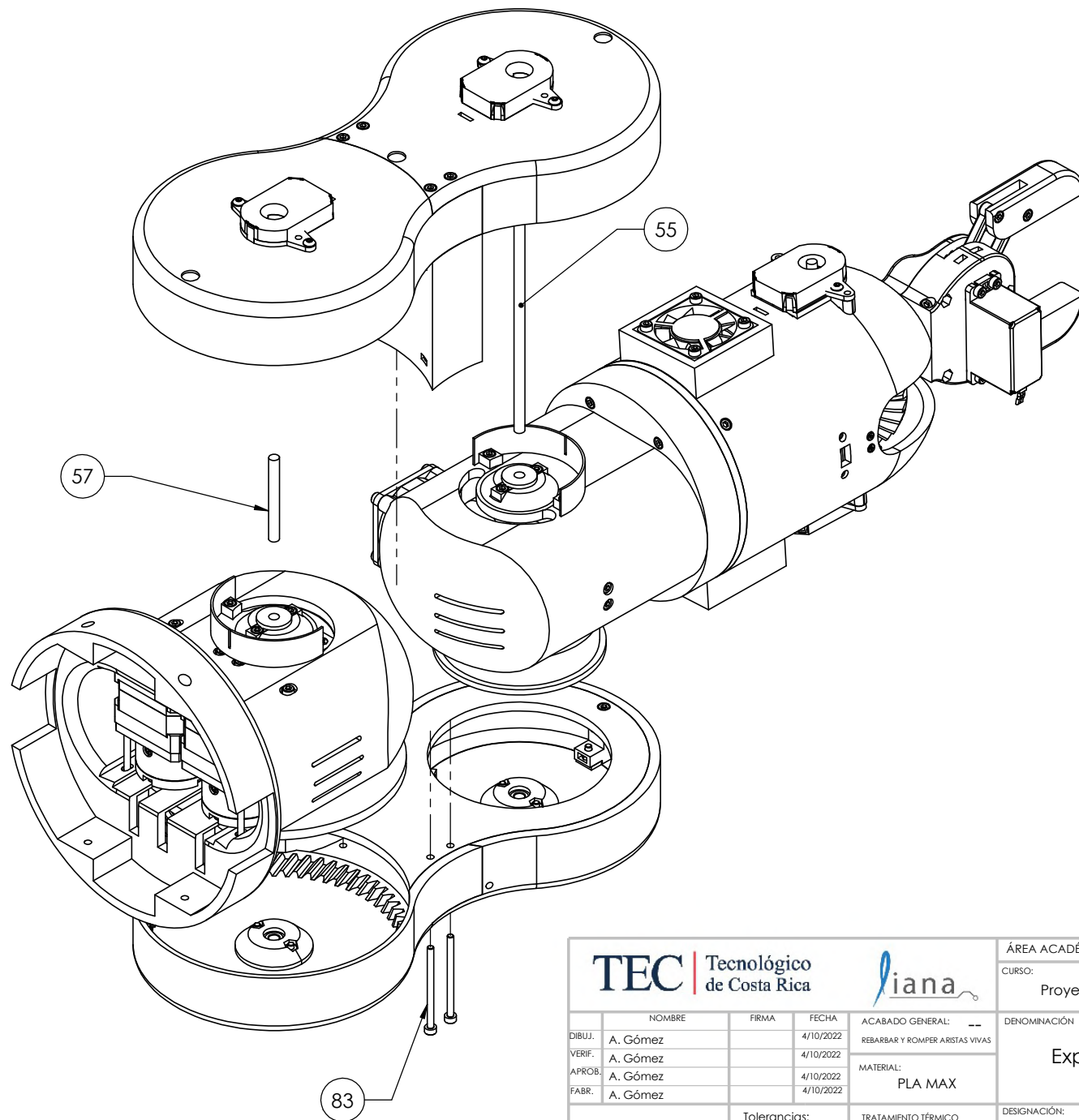
Este anexo incluye todos los planos de las piezas, los ensambles y el diagrama eléctrico del brazo THOR. Las cotas se dan en forma de límite para que sea más sencillo de revisar una pieza cuando se imprime.



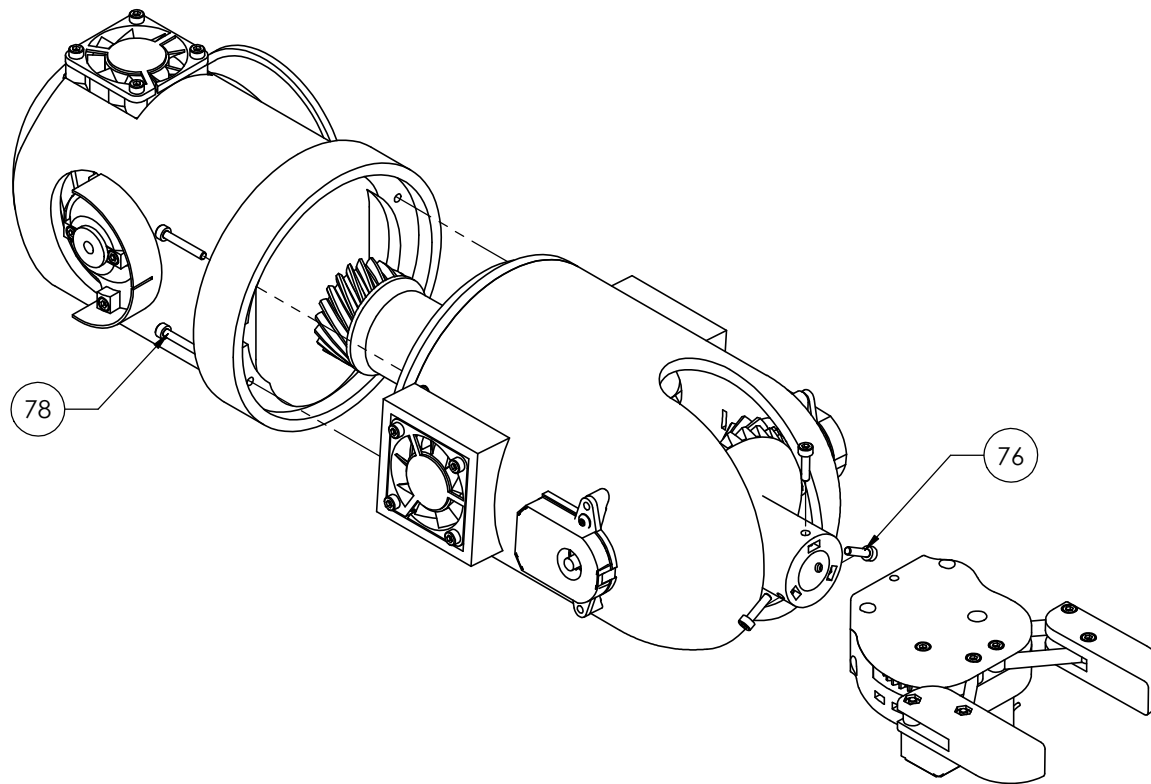
 				ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERIA MECATRÓNICA CURSO: Proyecto Final de Graduación		REVISIÓN: A																				
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>NOMBRE</th> <th>FIRMA</th> <th>FECHA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>DIBUJ.</td> <td>A. Gómez</td> <td></td> <td>4/10/2022</td> </tr> <tr> <td>VERIF.</td> <td>A. Gómez</td> <td></td> <td>4/10/2022</td> </tr> <tr> <td>APRÓB.</td> <td>A. Gómez</td> <td></td> <td>4/10/2022</td> </tr> <tr> <td>FABR.</td> <td>A. Gómez</td> <td></td> <td>4/10/2022</td> </tr> </tbody> </table>					NOMBRE	FIRMA	FECHA	DIBUJ.	A. Gómez		4/10/2022	VERIF.	A. Gómez		4/10/2022	APRÓB.	A. Gómez		4/10/2022	FABR.	A. Gómez		4/10/2022	ACABADO GENERAL: -- REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS MATERIAL: PLA MAX		DENOMINACIÓN Ensamble General
	NOMBRE	FIRMA	FECHA																							
DIBUJ.	A. Gómez		4/10/2022																							
VERIF.	A. Gómez		4/10/2022																							
APRÓB.	A. Gómez		4/10/2022																							
FABR.	A. Gómez		4/10/2022																							
Si no se indica lo contrario: La cotas se expresan en mm		Tolerancias:		TRATAMIENTO TÉRMICO -																						
				DESIGNACIÓN: Proyecto OSCAR		 FORMATO A3																				
				ESCALA: 1:5																						
				Hoja 1 de 71																						



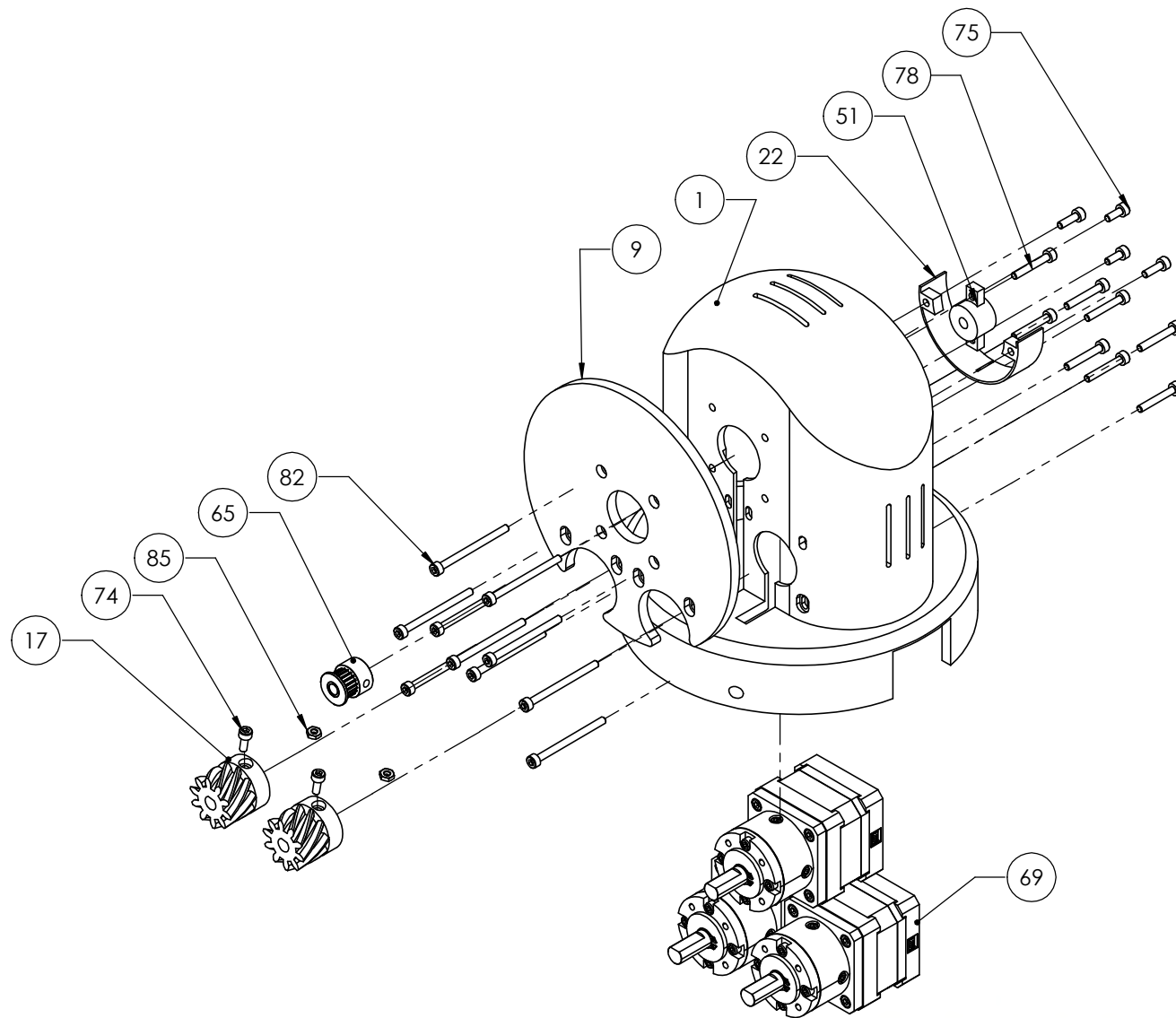
TEC Tecnológico de Costa Rica				ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERIA MECATRÓNICA CURSO: Proyecto Final de Graduación		REVISIÓN: A	
DIBUJ. A. Gómez VERIF. A. Gómez APROB. A. Gómez FABR. A. Gómez		FIRMA FECHA 4/10/2022 4/10/2022 4/10/2022 4/10/2022		ACABADO GENERAL: -- REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS MATERIAL: PLA MAX		DENOMINACIÓN Explosión de la unión inferior	
Si no se indica lo contrario: La cotas se expresan en mm		Tolerancias:		TRATAMIENTO TÉRMICO -		DESIGNACIÓN: Proyecto OSCAR	
				ESCALA: 1:5		Hoja 2 de 71	
						FORMATO A3	



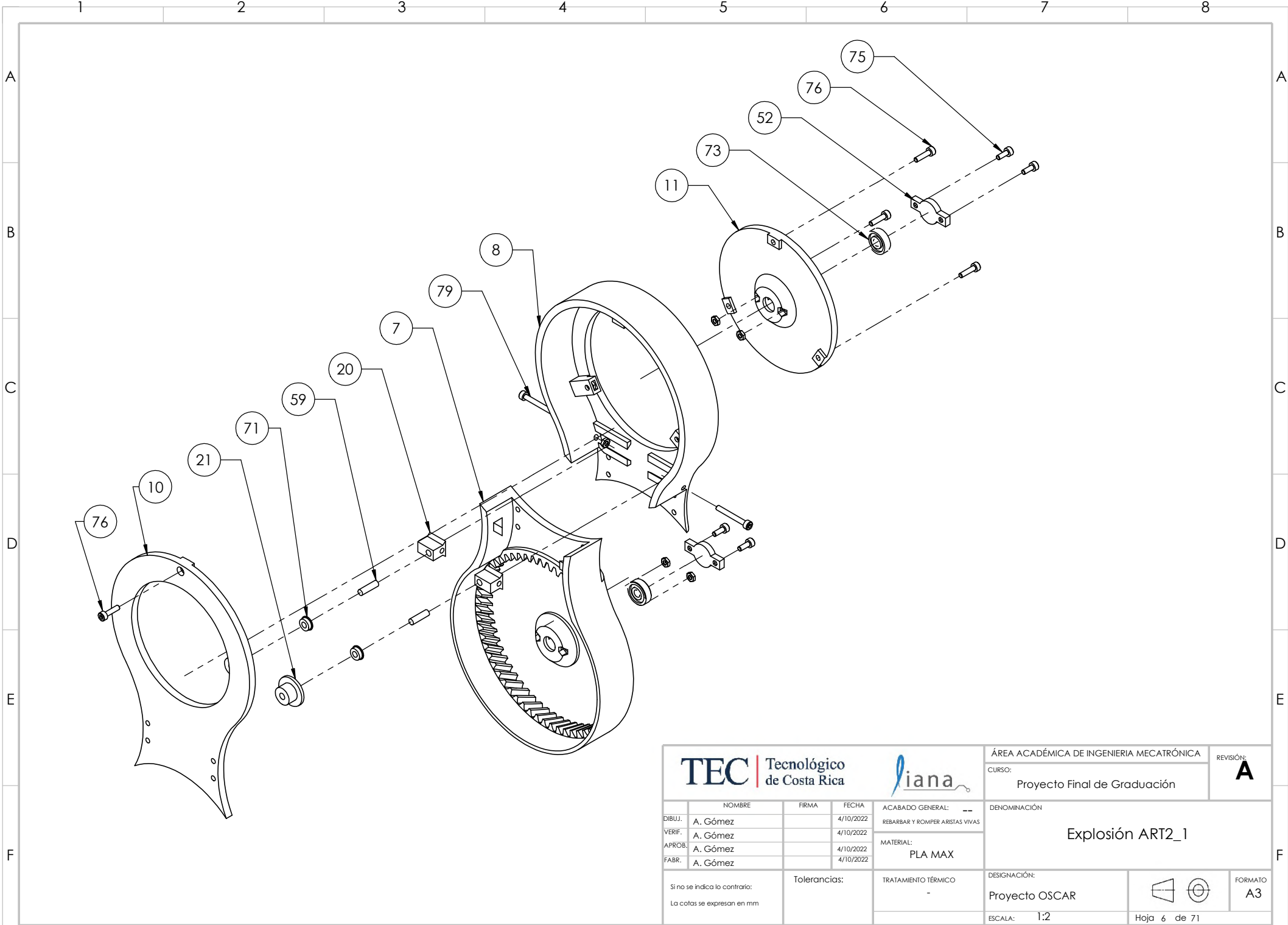
TEC Tecnológico de Costa Rica				l i a n a		ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERIA MECATRÓNICA		REVISIÓN: A	
						CURSO: Proyecto Final de Graduación			
NOMBRE		FIRMA		FECHA		ACABADO GENERAL: -- REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		DENOMINACIÓN	
DIBUJ. A. Gómez				4/10/2022				Explosión de la unión media	
VERIF. A. Gómez				4/10/2022					
APROB. A. Gómez				4/10/2022		MATERIAL: PLA MAX			
FABR. A. Gómez				4/10/2022					
Si no se indica lo contrario: La cotas se expresan en mm				Tolerancias:		TRATAMIENTO TÉRMICO -		DESIGNACIÓN: Proyecto OSCAR	
						ESCALA: 1:2		Hoja 3 de 71	
								FORMATO A3	



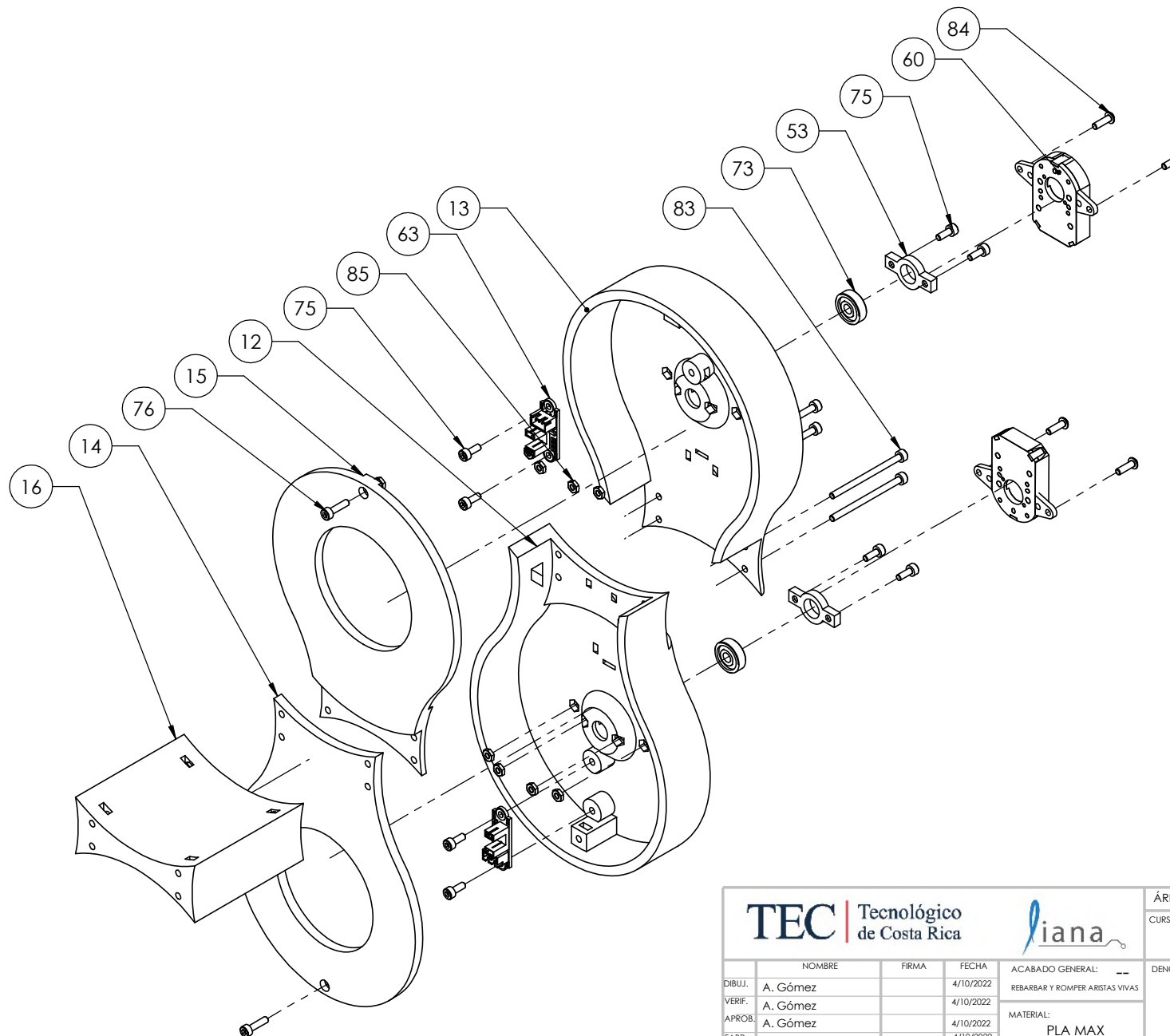
TEC Tecnológico de Costa Rica						ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERIA MECATRÓNICA CURSO: Proyecto Final de Graduación		REVISIÓN: A	
DIBUJ. A. Gómez VERIF. A. Gómez APROB. A. Gómez FABR. A. Gómez		NOMBRE FIRMA FECHA 4/10/2022 4/10/2022 4/10/2022 4/10/2022		ACABADO GENERAL: -- REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS MATERIAL: PLA MAX		DENOMINACIÓN Explosión de la unión superior			
Si no se indica lo contrario: La cotas se expresan en mm		Tolerancias:		TRATAMIENTO TÉRMICO -		DESIGNACIÓN: Proyecto OSCAR		ESCALA: 1:2	
						Hoja 4 de 71		FORMATO A3	



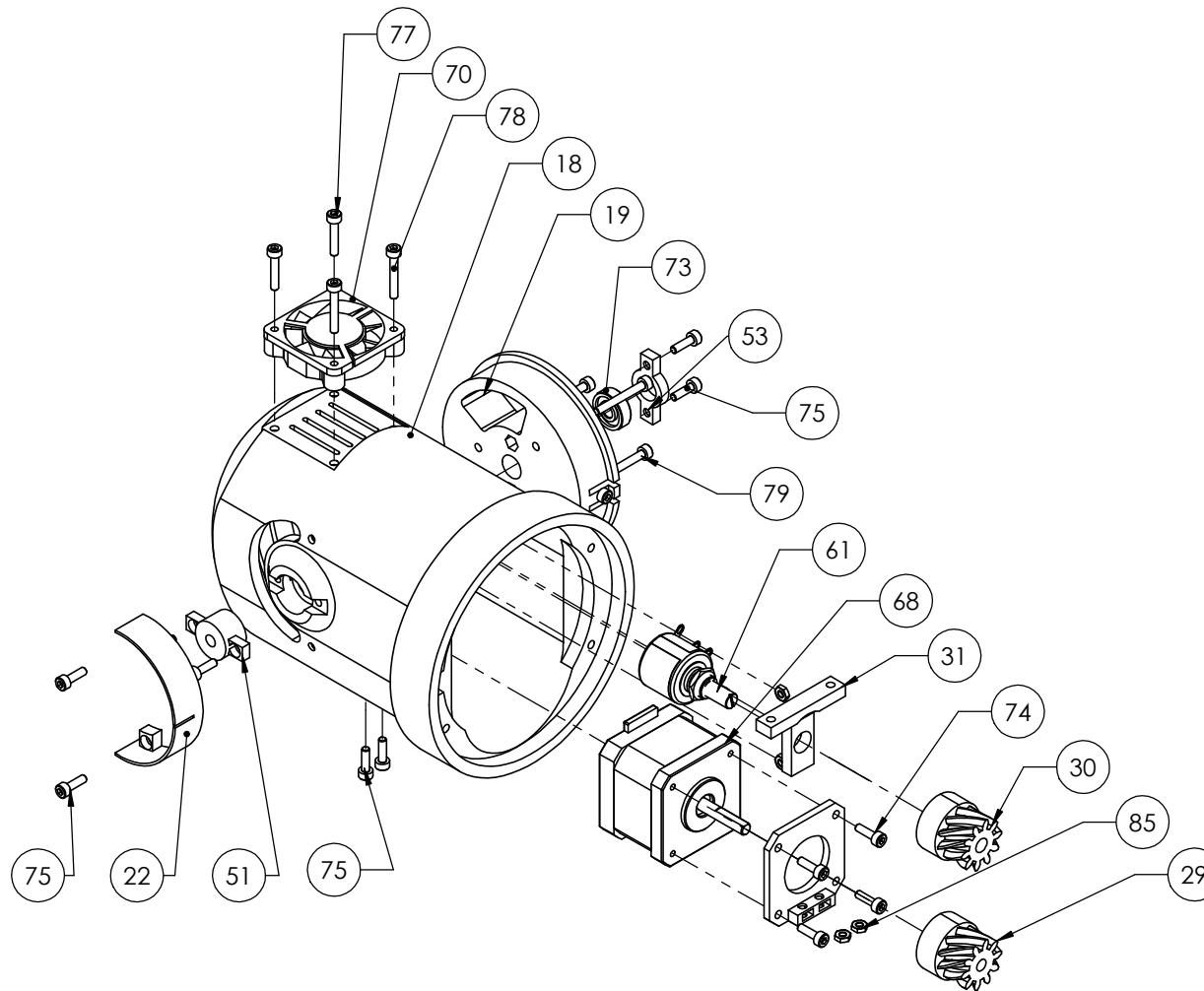
TEC Tecnológico de Costa Rica				ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERIA MECATRÓNICA CURSO: Proyecto Final de Graduación		REVISIÓN: A	
DIBUJ. A. Gómez VERIF. A. Gómez APROB. A. Gómez FABR. A. Gómez		FIRMA FECHA 4/10/2022 4/10/2022 4/10/2022 4/10/2022		ACABADO GENERAL: -- REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS MATERIAL: PLA MAX		DENOMINACIÓN Explosión ART1	
Si no se indica lo contrario: La cotas se expresan en mm		Tolerancias:		TRATAMIENTO TÉRMICO -		DESIGNACIÓN: Proyecto OSCAR	
				ESCALA: 1:2		Hoja 5 de 71	



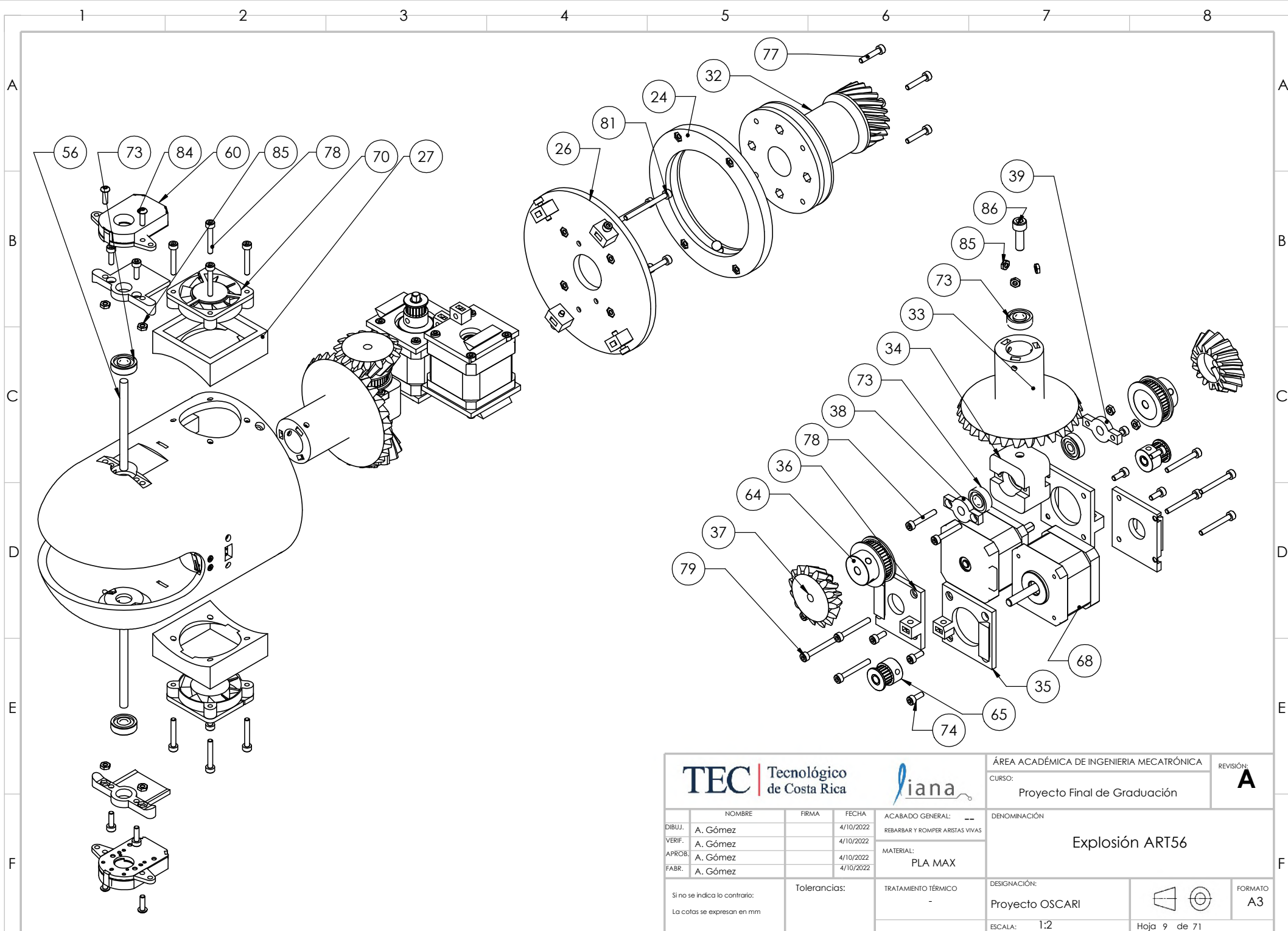
TEC Tecnológico de Costa Rica					ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERIA MECATRÓNICA		REVISIÓN: A
						CURSO: Proyecto Final de Graduación	
						DENOMINACIÓN: Explosión ART2_1	
DIBUJ. A. Gómez		FIRMA		FECHA 4/10/2022		ACABADO GENERAL: -- REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	
VERIF. A. Gómez				4/10/2022		MATERIAL: PLA MAX	
APROB. A. Gómez				4/10/2022			
FABR. A. Gómez				4/10/2022			
Si no se indica lo contrario: La cotas se expresan en mm				Tolerancias:		TRATAMIENTO TÉRMICO -	
						DESIGNACIÓN: Proyecto OSCAR	
						ESCALA: 1:2	
						Hoja 6 de 71	
						FORMATO A3	



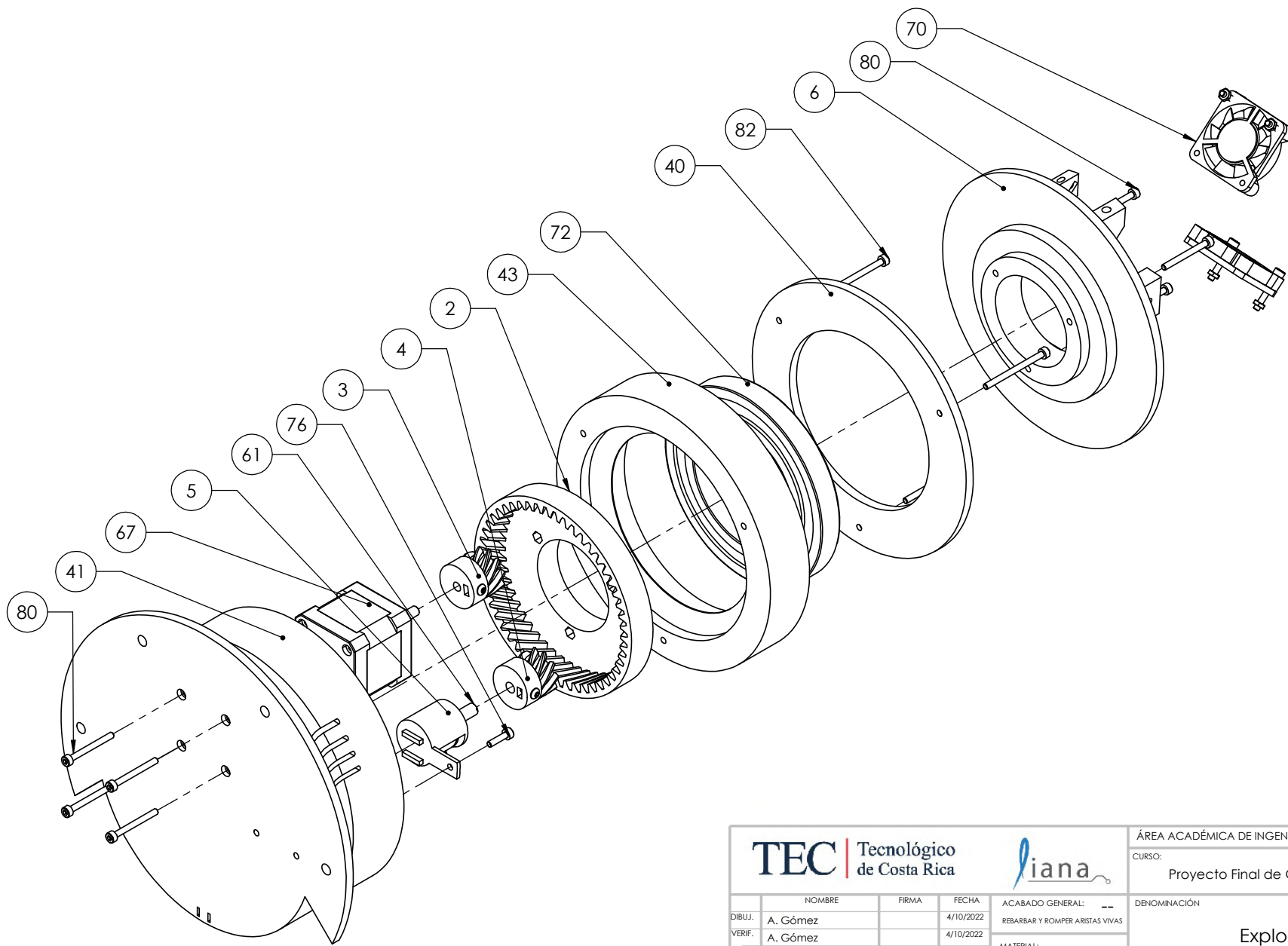
TEC Tecnológico de Costa Rica				l i a n a		ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERIA MECATRÓNICA		REVISIÓN: A	
DIBUJ. A. Gómez				FIRMA		FECHA 4/10/2022		CURSO: Proyecto Final de Graduación	
VERIF. A. Gómez				REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		ACABADO GENERAL: --		DENOMINACIÓN	
APROB. A. Gómez				MATERIAL: PLA MAX		Tratamiento Térmico		Art1Body	
FABR. A. Gómez				Tolerancias:		ESCALA: 1:2		Hoja 7 de 71	
Si no se indica lo contrario: La cotas se expresan en mm				Tratamiento Térmico		Proyecto OSCARI		FORMATO A3	



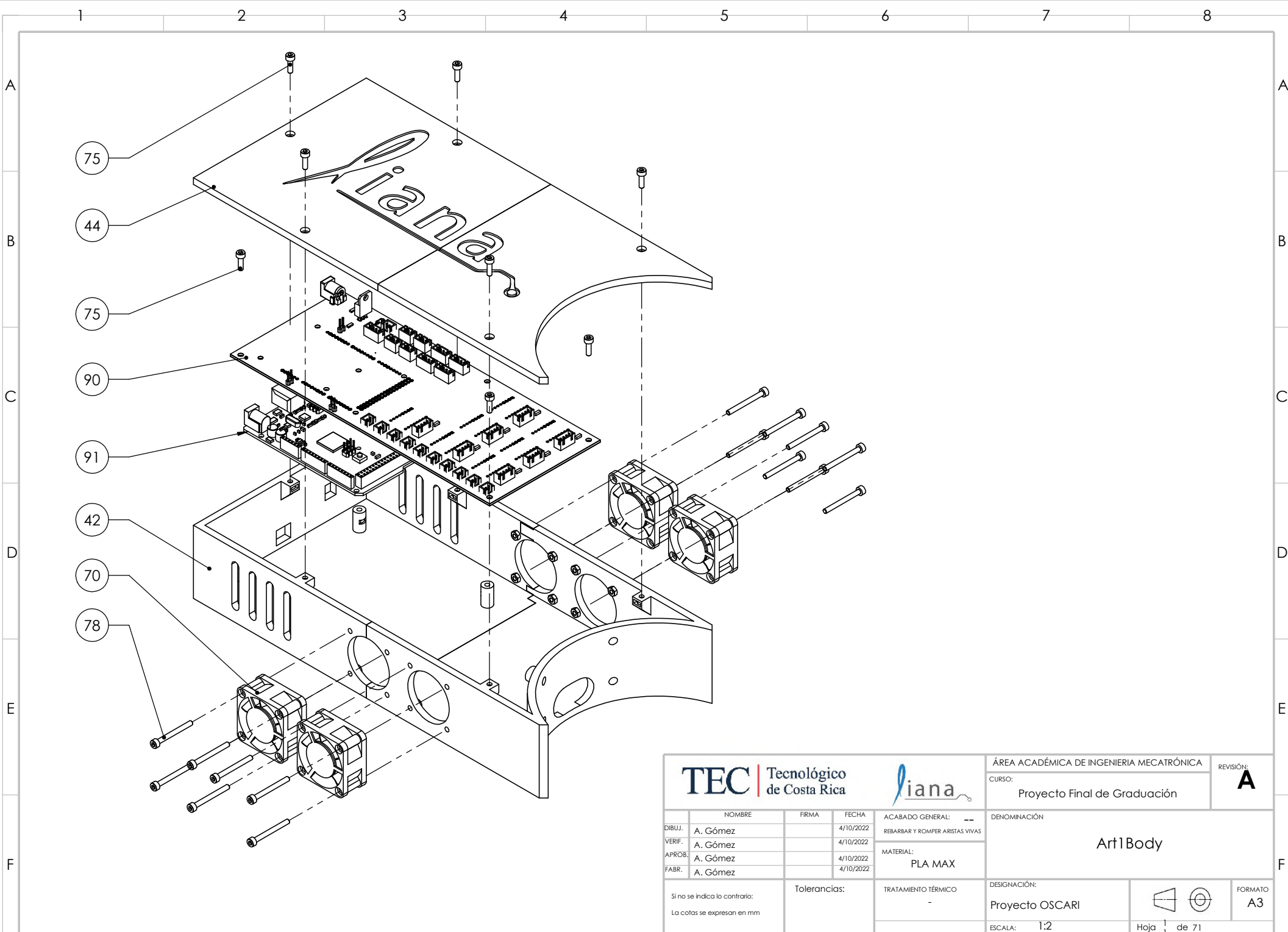
TEC Tecnológico de Costa Rica				liana		ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERIA MECATRÓNICA		REVISIÓN: A	
DIBUJ. A. Gómez VERIF. A. Gómez APROB. A. Gómez FABR. A. Gómez				FECHA 4/10/2022 4/10/2022 4/10/2022 4/10/2022		ACABADO GENERAL: -- REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		CURSO: Proyecto Final de Graduación	
Si no se indica lo contrario: La cotas se expresan en mm				Tolerancias:		TRATAMIENTO TÉRMICO -		DENOMINACIÓN Explosión ART34	
ESCALA: 1:2				Hoja 8 de 71		FORMATO A3		DESIGNACIÓN: Proyecto OSCARI	



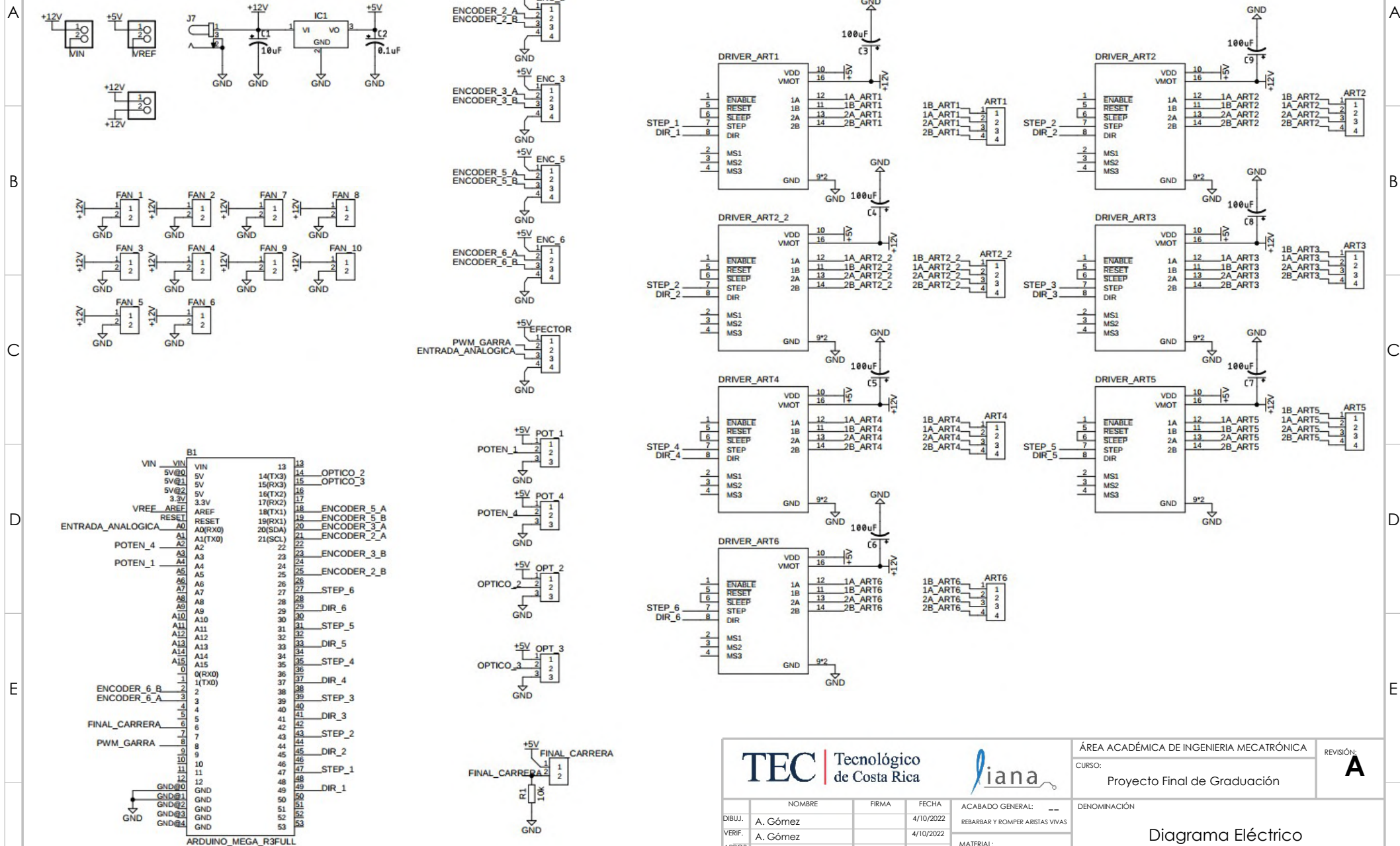
TEC Tecnológico de Costa Rica				l i a n a		ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERIA MECATRÓNICA CURSO: Proyecto Final de Graduación		REVISIÓN: A	
DIBUJ. A. Gómez VERIF. A. Gómez APROB. A. Gómez FABR. A. Gómez				FECHA 4/10/2022 4/10/2022 4/10/2022 4/10/2022		ACABADO GENERAL: -- REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		DENOMINACIÓN Explosión ART56	
Si no se indica lo contrario: La cotas se expresan en mm				Tolerancias:		TRATAMIENTO TÉRMICO -		DESIGNACIÓN: Proyecto OSCARI	
						ESCALA: 1:2		Hoja 9 de 71	
								FORMATO A3	



TEC Tecnológico de Costa Rica						ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERIA MECATRÓNICA CURSO: Proyecto Final de Graduación		REVISIÓN: A	
DIBUJ.: A. Gómez VERIF.: A. Gómez APROB.: A. Gómez FABR.: A. Gómez		NOMBRE: A. Gómez FIRMA: FECHA: 4/10/2022		ACABADO GENERAL: -- REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		DENOMINACIÓN: Explosión base			
				MATERIAL: PLA MAX					
Si no se indica lo contrario: La cotas se expresan en mm		Tolerancias:		TRATAMIENTO TÉRMICO: -		DESIGNACIÓN: Proyecto OSCARI			
						ESCALA: 1:2		Hoja 10 de 71	
								FORMATO: A3	

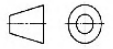


TEC Tecnológico de Costa Rica				ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERIA MECATRÓNICA		REVISIÓN: A
				CURSO: Proyecto Final de Graduación		
DIBUJ. A. Gómez		FIRMA		FECHA 4/10/2022		DENOMINACIÓN Art1Body
VERIF. A. Gómez				FECHA 4/10/2022		
APROB. A. Gómez				FECHA 4/10/2022		
FABR. A. Gómez				FECHA 4/10/2022		
ACABADO GENERAL: -- REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		MATERIAL: PLA MAX		TRATAMIENTO TÉRMICO -		FORMATO A3
Si no se indica lo contrario: La cotas se expresan en mm		Tolerancias:		DESIGNACIÓN: Proyecto OSCARI		
ESCALA: 1:2		Hoja 1 de 71				



TEC Tecnológico de Costa Rica				liana		ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERIA MECATRÓNICA REVISIÓN: A	
DIBUJ. VERIF. APROB. FABR.				CURSO: Proyecto Final de Graduación		DENOMINACIÓN Diagrama Eléctrico	
Si no se indica lo contrario: La cotas se expresan en mm				TOLERANCIAS: TRATAMIENTO TÉRMICO		DESIGNACIÓN: Proyecto OSCAR	
ESCALA: 1:1				Hoja 13 de 71		FORMATO A3	

PAG	FOR	ZONA	POS	DESIGNACIÓN	DENOMINACIÓN	CANT	OBSERVACIÓN
					DOCUMENTACIÓN		
1	A3			MT 10.02.00.00	Ensamble General		
2	A3				Explosión unión inferior		
3	A3				Explosión unión media		
4	A3				Explosión unión superior		
5	A3				Explosión ART1		
6	A3				Explosión ART2_1		
7	A3				Explosión ART2_2		
8	A3				Explosión ART34		
9	A3				Explosión ART56		
10	A3				Explosión Base		
11	A3				Explosión Case		
12	A3				Explosión Gripper		
13	A3				Diagrama eléctrico		
					Piezas		
18	A3		1	MT 10.02.01.01	ART1Body	1	
19	A3		2	MT 10.02.01.02	ART1Bot	1	
20	A4		3	MT 10.02.01.03	ART1GearMotor	1	
21	A4		4	MT 10.02.01.04	ART1GearPot	1	
22	A4		5	MT 10.02.01.05	ART1PotMount	1	
23	A3		6	MT 10.02.01.06	ART1Top	1	
24	A3		7	MT 10.02.02.01	Art2BodyA_Splitted_A	1	
25	A3		8	MT 10.02.02.02	Art2BodyA_Splitted_B	1	
26	A3		9	MT 10.02.02.03	Art2BodyACover1	1	
27	A3		10	MT 10.02.02.04	Art2BodyACover2	1	
28	A4		11	MT 10.02.02.05	Art2BodyAWindow	1	
29	A3		12	MT 10.02.02.06	Art2BodyB_Splitted_A	1	
30	A3		13	MT 10.02.02.07	Art2BodyB_Splitted_B	1	

TEC Tecnológico de Costa Rica						ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERIA MECATRÓNICA CURSO: Proyecto Final de Graduación		REVISIÓN: A	
DIBUJ. A. Gómez VERIF. A. Gómez APROB. A. Gómez FABR. A. Gómez		NOMBRE FIRMA FECHA		ACABADO GENERAL: -- REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS MATERIAL: PLA MAX		DENOMINACIÓN Documentación			
Si no se indica lo contrario: La cotas se expresan en mm		Tolerancias:		TRATAMIENTO TÉRMICO -		DESIGNACIÓN: Proyecto OSCAR		 FORMATO A3	
				ESCALA: 1:1		Hoja 14 de 71			

PAG	FOR	ZONA	POS	DESIGNACIÓN	DENOMINACIÓN	CANT	OBSERVACIÓN
31	A3		14	MT 10.02.02.08	Art2BodyBCover_Splitted_A	1	
32	A3		15	MT 10.02.02.09	Art2BodyBCover_Splitted_B	1	
33	A4		16	MT 10.02.02.10	Art2BodyUnion	1	
34	A4		17	MT 10.02.02.11	Art2MotorGear	2	
35	A3		18	MT 10.02.03.01	Art3Body	1	
36	A4		19	MT 10.02.03.02	Art3Pulley	1	
37	A4		20	MT 10.02.03.03	Art3TensionerBody	2	
38	A4		21	MT 10.02.03.04	Art3TensionerPulley	2	
39	A4		22	MT 10.02.03.05	Art23Optodisk	2	
40	A4		23	MT 10.02.04.01	Art4BearingPlug	1	
41	A4		24	MT 10.02.04.02	Art4BearingRing	1	
42	A3		25	MT 10.02.04.03	Art4Body	1	
43	A3		26	MT 10.02.04.04	Art4BodyBot	1	
44	A4		27	MT 10.02.04.05	Art4BodyFan	2	
45	A4		28	MT 10.02.04.06	Art4MotorFix	1	
46	A4		29	MT 10.02.04.07	Art4MotorGear	1	
47	A4		30	MT 10.02.04.08	Art4PotGear	1	
48	A4		31	MT 10.02.04.09	Art4PotMount	1	
49	A4		32	MT 10.02.04.10	Art4TransmissionColumn	1	
50	A4		33	MT 10.02.05.01	Art56GearPlate	1	
51	A4		34	MT 10.02.05.02	Art56MotorCoverRing	1	
52	A4		35	MT 10.02.05.03	Art56MotorHolderA	2	
53	A4		36	MT 10.02.05.04	Art56MotorHolderB	2	
54	A4		37	MT 10.02.05.05	Art56SmallGear	2	
55	A4		38	MT 10.02.05.06	CoverRingBolt	1	
56	A4		39	MT 10.02.05.07	CoverRingNut	1	
57	A4		40	MT 10.02.06.01	BaseBearingFix	1	
58	A3		41	MT 10.02.06.02	BaseBot	1	
59	A3		42	MT 10.02.06.03	BaseCase	1	
60	A4		43	MT 10.02.06.04	BaseTop	1	
61	A4		44	MT 10.02.06.05	CaseTop	1	

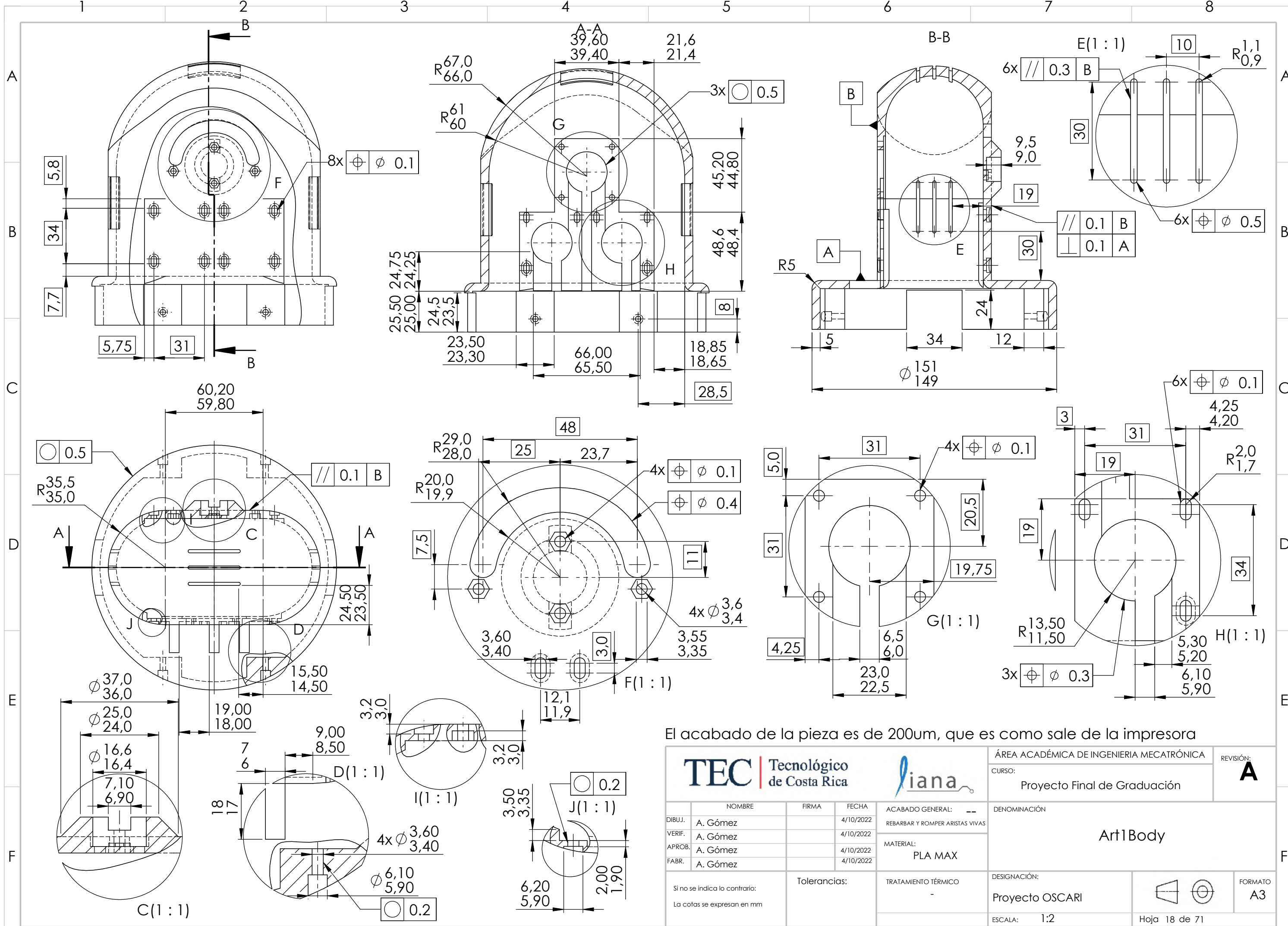
 Tecnológico de Costa Rica				ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA CURSO: Proyecto Final de Graduación		REVISIÓN: A
DIBUJ. A. Gómez VERIF. A. Gómez APROB. A. Gómez FABR. A. Gómez		FIRMA FECHA 4/10/2022 4/10/2022 4/10/2022 4/10/2022		ACABADO GENERAL: -- REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS MATERIAL: PLA MAX		DENOMINACIÓN Documentación
Si no se indica lo contrario: La cotas se expresan en mm		Tolerancias:		TRATAMIENTO TÉRMICO -		
				ESCALA: 1:1 Hoja 15 de 71		
				DESIGNACIÓN: Proyecto OSCAR		FORMATO A3

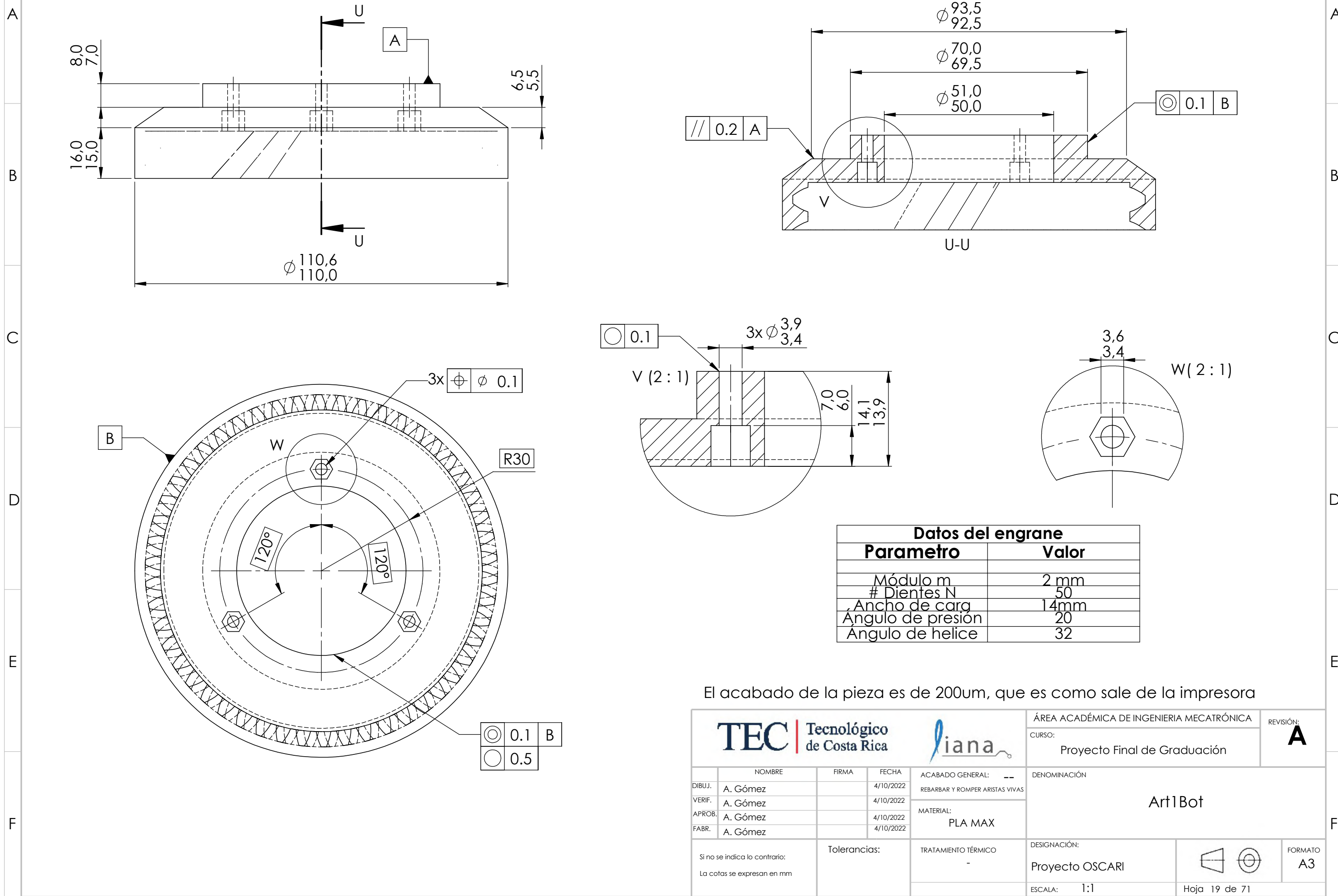
PAG	FOR	ZONA	POS	DESIGNACIÓN	DENOMINACIÓN	CANT	OBSERVACIÓN
62	A4		45	MT 10.02.07.01	GripperActiveArm	1	
63	A4		46	MT 10.02.07.02	GripperArm	2	
64	A4		47	MT 10.02.07.03	GripperBot	1	
65	A4		48	MT 10.02.07.04	GripperFinger	2	
66	A4		49	MT 10.02.07.05	GripperPassiveArm	1	
67	A4		50	MT 10.02.07.06	GripperTop	1	
68	A4		51	MT 10.02.08.01	AxisFix		
69	A4		52	MT 10.02.08.02	CommonBearingFix		
70	A4		53	MT 10.02.08.03	CommonBearingFixThrough		
71	A4		54	MT 10.02.08.04	EncoderMount		
Piezas Estandarizadas							
			55		Eje acero 142x5mm	1	
			56		Eje acero 66x5mm	2	
			57		Eje acero 46x5mm	1	
			58		Eje acero 14.5x5mm	1	
			59		Eje acero 14x4mm	2	
			60		Encoder	4	
			61		Potenciometro	2	
			62		Limit end stop	1	
			63		Optical end stop	2	
			64		Polea GT2_40	2	
			65		Polea GT2_16	3	
			66		Servo	1	
			67		NEMA17-40	1	
			68		NEMA17-34	3	
			69		NEMA17-34 5:1	3	
			70		Ventilador 40x10mm	10	
			71		Rodamiento MF84ZZ	2	
			72		Rodamiento 16014zz	1	
			73		Rodamiento 625	9	
			74		M3x8	15	Cilindricos/allen
			75		M3x10	46	Cilindricos/allen

 Tecnológico de Costa Rica						ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERIA MECATRÓNICA CURSO: Proyecto Final de Graduación		REVISIÓN: A
DIBUJ. A. Gómez VERIF. A. Gómez APROB. A. Gómez FABR. A. Gómez				ACABADO GENERAL: -- REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		DENOMINACIÓN: Documentación		
Si no se indica lo contrario: La cotas se expresan en mm				Tolerancias:		TRATAMIENTO TÉRMICO: -		DESIGNACIÓN: Proyecto OSCAR
						ESCALA: 1:1		Hoja 16 de 71

[illegible]

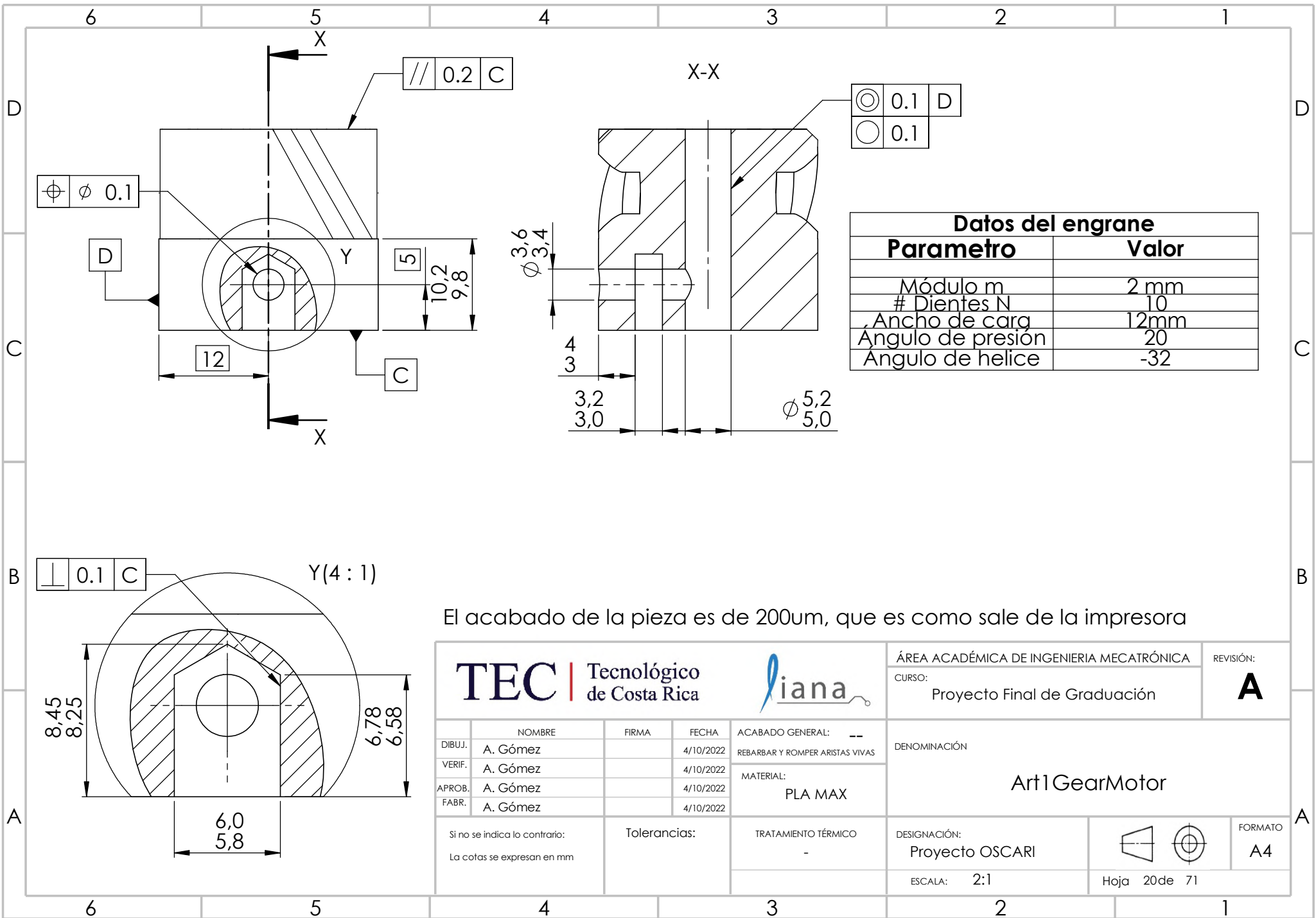
 Tecnológico de Costa Rica						ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERIA MECATRÓNICA		REVISIÓN: A	
				CURSO:		Proyecto Final de Graduación			
	NOMBRE	FIRMA	FECHA	ACABADO GENERAL: --		Documentación			
DIBUJ.	A. Gómez		4/10/2022	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS					
VERIF.	A. Gómez		4/10/2022						
APROB.	A. Gómez		4/10/2022	MATERIAL:					
FABR.	A. Gómez		4/10/2022	PLA MAX					
Si no se indica lo contrario: La cotas se expresan en mm		Tolerancias:		TRATAMIENTO TÉRMICO -		DESIGNACIÓN:		FORMATO	
						Proyecto OSCAR		A3	
						ESCALA: 1:1		Hoja 17 de 71	





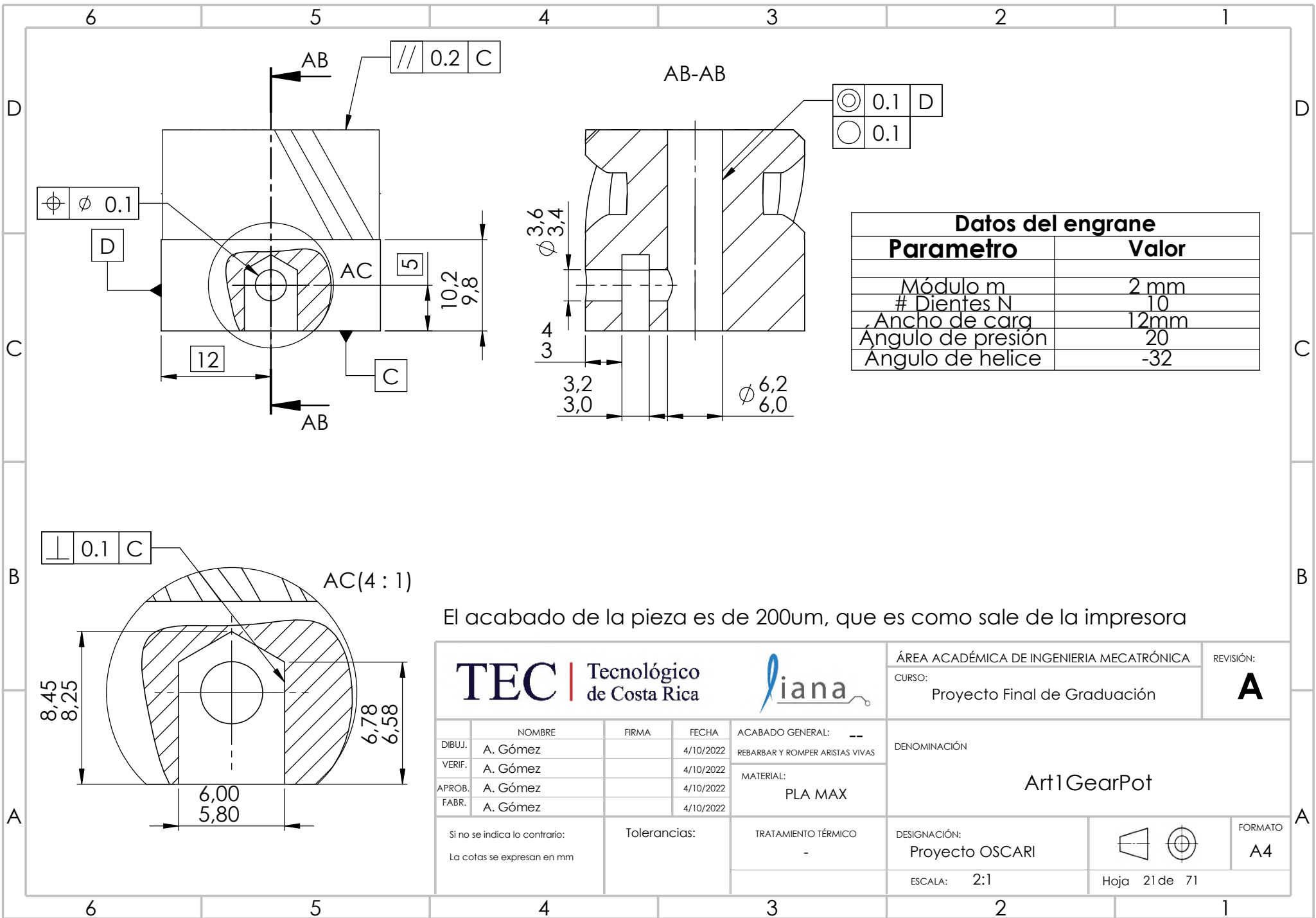
El acabado de la pieza es de 200um, que es como sale de la impresora

TEC Tecnológico de Costa Rica				liana		ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERIA MECATRÓNICA		REVISIÓN:
						CURSO:		A
						Proyecto Final de Graduación		
NOMBRE		FIRMA	FECHA	ACABADO GENERAL: --		DENOMINACIÓN		
DIBUJ. A. Gómez			4/10/2022	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS				
VERIF. A. Gómez			4/10/2022					
APROB. A. Gómez			4/10/2022	MATERIAL: PLA MAX				
FABR. A. Gómez			4/10/2022					
Si no se indica lo contrario: La cotas se expresan en mm		Tolerancias:		TRATAMIENTO TÉRMICO -		DESIGNACIÓN: Proyecto OSCARI		FORMATO A3
						ESCALA: 1:1		Hoja 19 de 71



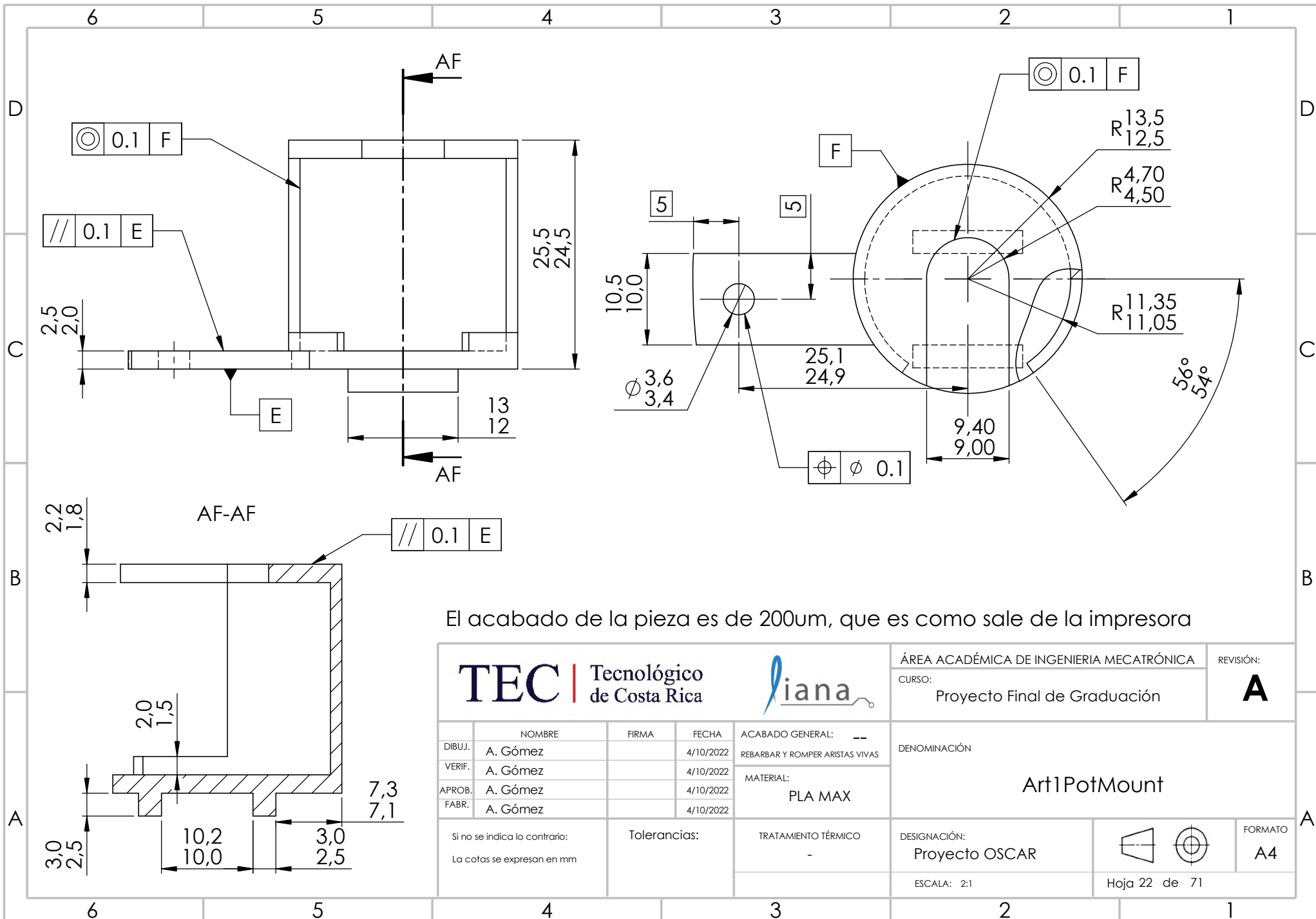
El acabado de la pieza es de 200um, que es como sale de la impresora

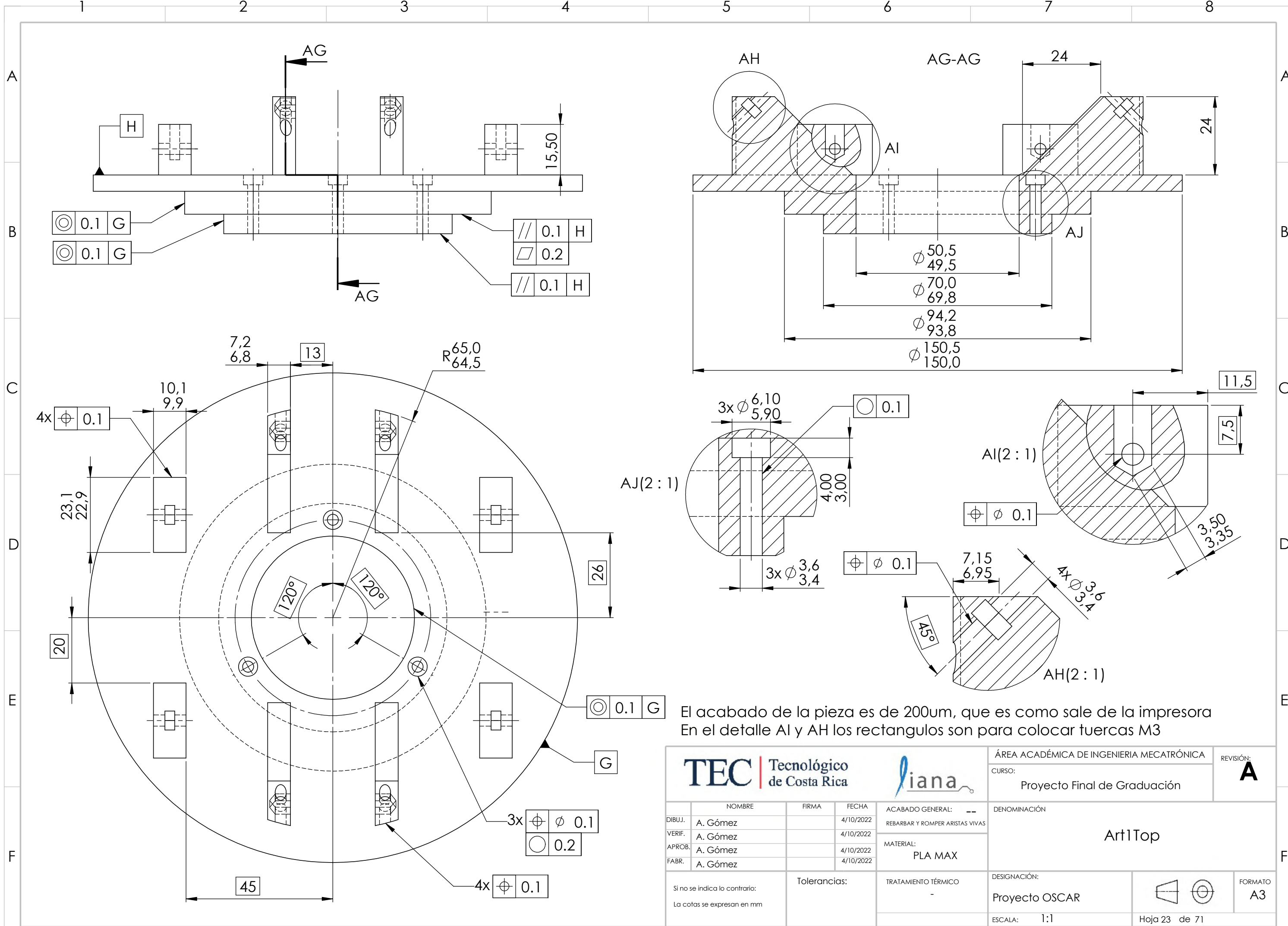
TEC Tecnológico de Costa Rica				liana		ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERIA MECATRÓNICA		REVISIÓN:	
						CURSO:		A	
						Proyecto Final de Graduación			
DIBUJ.		NOMBRE		FIRMA		FECHA		ACABADO GENERAL: --	
VERIF.		A. Gómez				4/10/2022		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	
APROB.		A. Gómez				4/10/2022		MATERIAL:	
FABR.		A. Gómez				4/10/2022		PLA MAX	
Si no se indica lo contrario: La cotas se expresan en mm				Tolerancias:		TRATAMIENTO TÉRMICO		DESIGNACIÓN:	
						-		Proyecto OSCARI	
								ESCALA: 2:1	
								Hoja 20 de 71	
								FORMATO	
								A4	



El acabado de la pieza es de 200um, que es como sale de la impresora

TEC Tecnológico de Costa Rica					ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERIA MECATRÓNICA	REVISIÓN:
					CURSO:	A
					Proyecto Final de Graduación	
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA	ACABADO GENERAL: --	DENOMINACIÓN	
VERIF.	A. Gómez		4/10/2022	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		
APROB.	A. Gómez		4/10/2022	MATERIAL:		
FABR.	A. Gómez		4/10/2022	PLA MAX		
Si no se indica lo contrario: La cotas se expresan en mm		Tolerancias:		TRATAMIENTO TÉRMICO	DESIGNACIÓN:	FORMATO
				-	Proyecto OSCARI	A4
					ESCALA: 2:1	Hoja 21 de 71





El acabado de la pieza es de 200um, que es como sale de la impresora
En el detalle AI y AH los rectángulos son para colocar tuercas M3

TEC | Tecnológico
de Costa Rica

liana

ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERIA MECATRÓNICA

CURSO:
Proyecto Final de Graduación

REVISIÓN:
A

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	A. Gómez		4/10/2022
VERIF.	A. Gómez		4/10/2022
APROB.	A. Gómez		4/10/2022
FABR.	A. Gómez		4/10/2022

ACABADO GENERAL: --
REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS

MATERIAL:
PLA MAX

DENOMINACIÓN

Art1Top

Si no se indica lo contrario:
La cotas se expresan en mm

Tolerancias:

TRATAMIENTO TÉRMICO
-

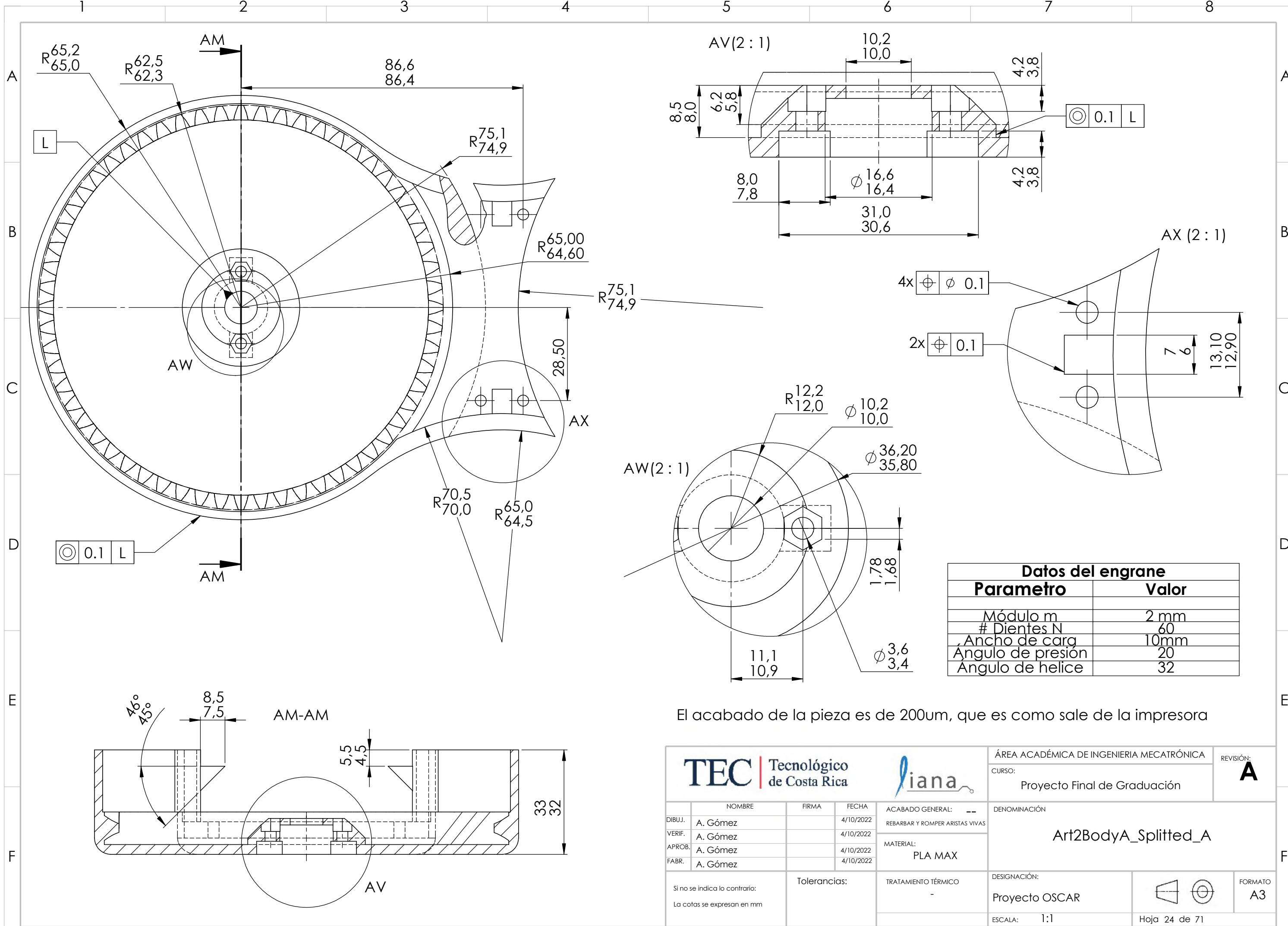
DESIGNACIÓN:
Proyecto OSCAR

ESCALA: 1:1



FORMATO
A3

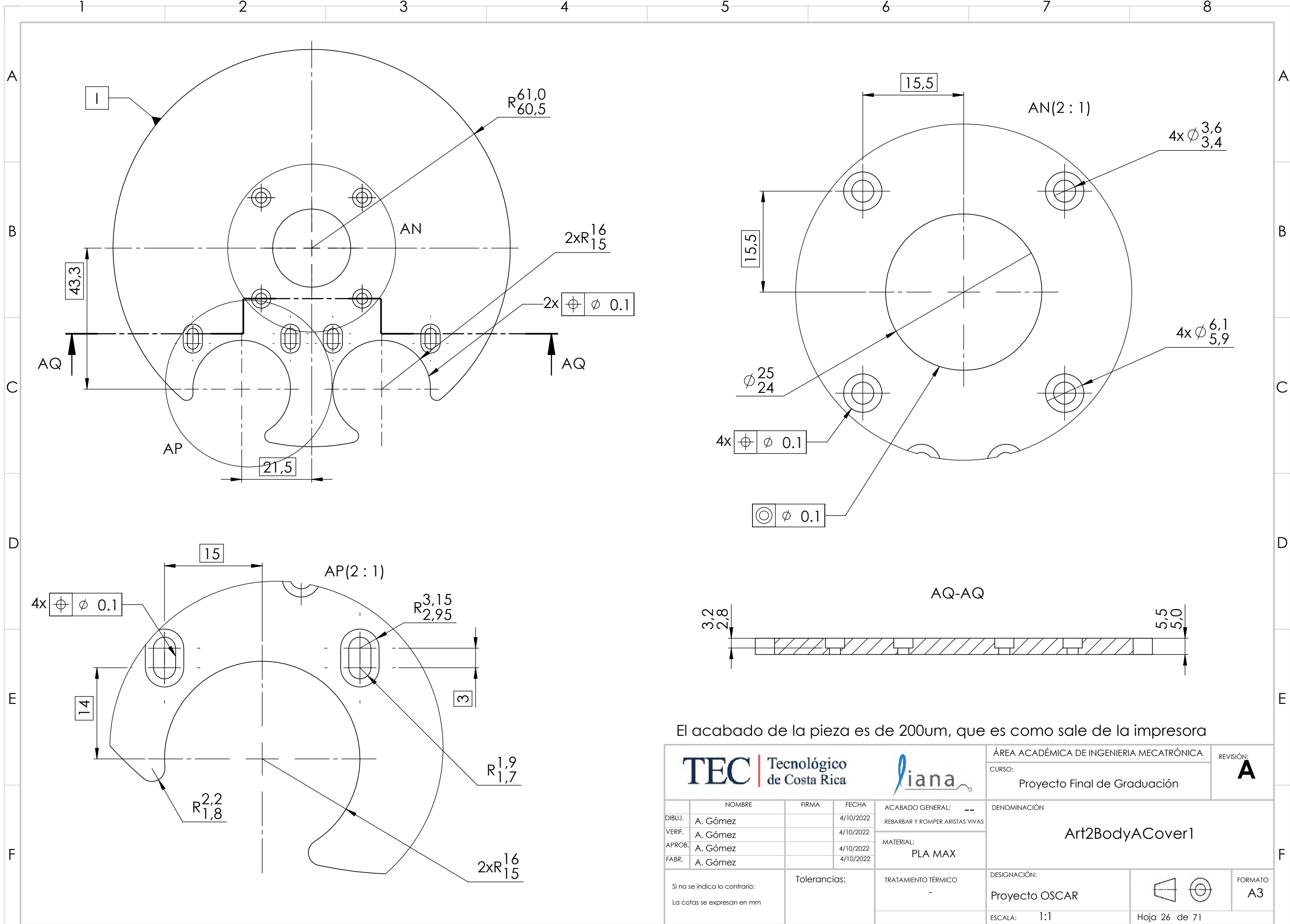
Hoja 23 de 71



Datos del engrane	
Parametro	Valor
Módulo m	2 mm
# Dientes N	60
Ancho de carga	10mm
Angulo de presión	20
Angulo de helice	32

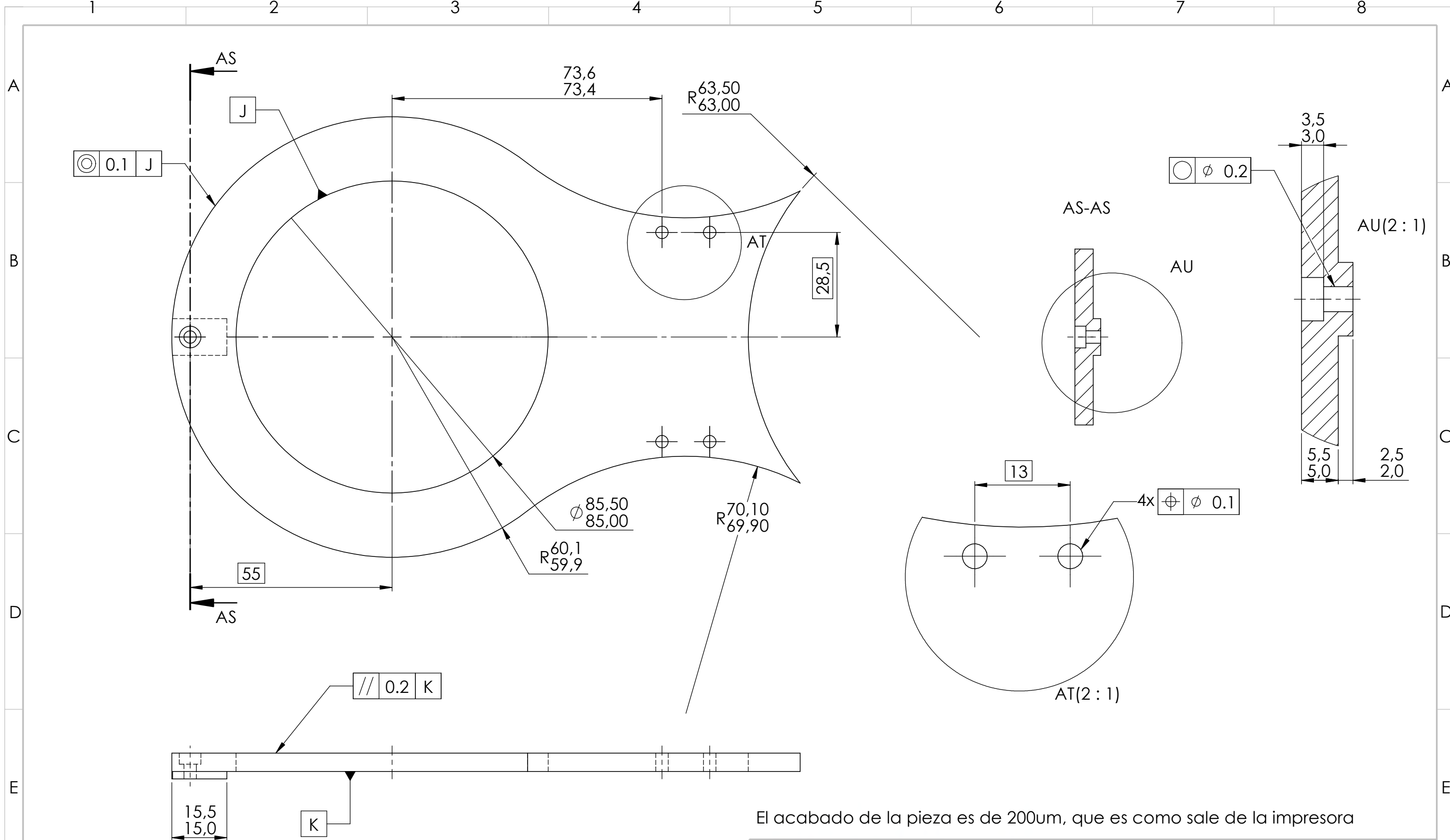
El acabado de la pieza es de 200um, que es como sale de la impresora

TEC Tecnológico de Costa Rica				liana		ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERIA MECATRÓNICA		REVISIÓN:	
						CURSO:		A	
						Proyecto Final de Graduación			
DIBUJ.		NOMBRE		FIRMA		FECHA		ACABADO GENERAL:	
VERIF.		A. Gómez				4/10/2022		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	
APROB.		A. Gómez				4/10/2022		MATERIAL:	
FABR.		A. Gómez				4/10/2022		PLA MAX	
Si no se indica lo contrario: La cotas se expresan en mm				Tolerancias:		TRATAMIENTO TÉRMICO		DESIGNACIÓN:	
						-		Proyecto OSCAR	
								ESCALA: 1:1	
								Hoja 24 de 71	
								FORMATO A3	

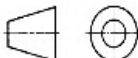


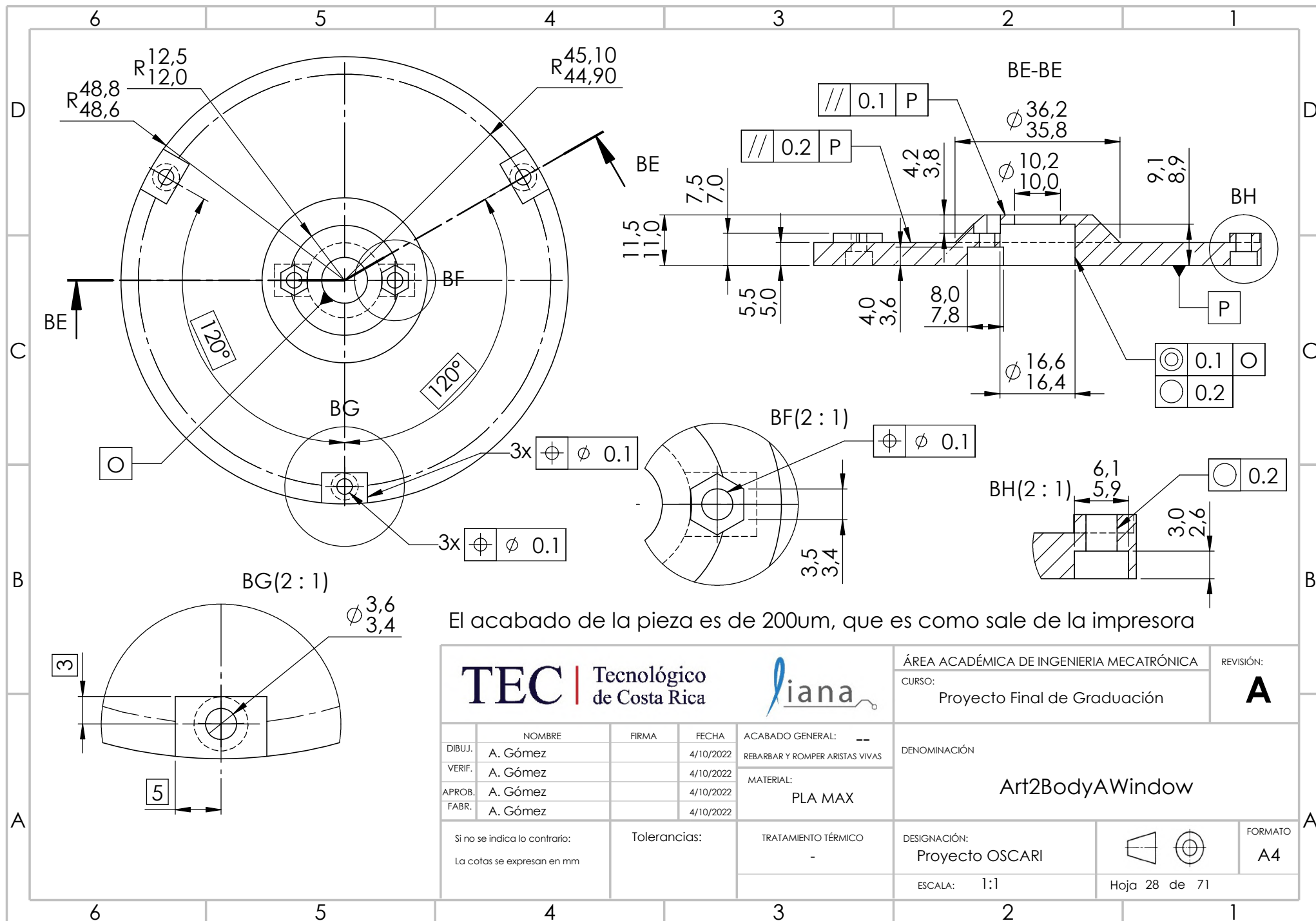
El acabado de la pieza es de 200um, que es como sale de la impresora

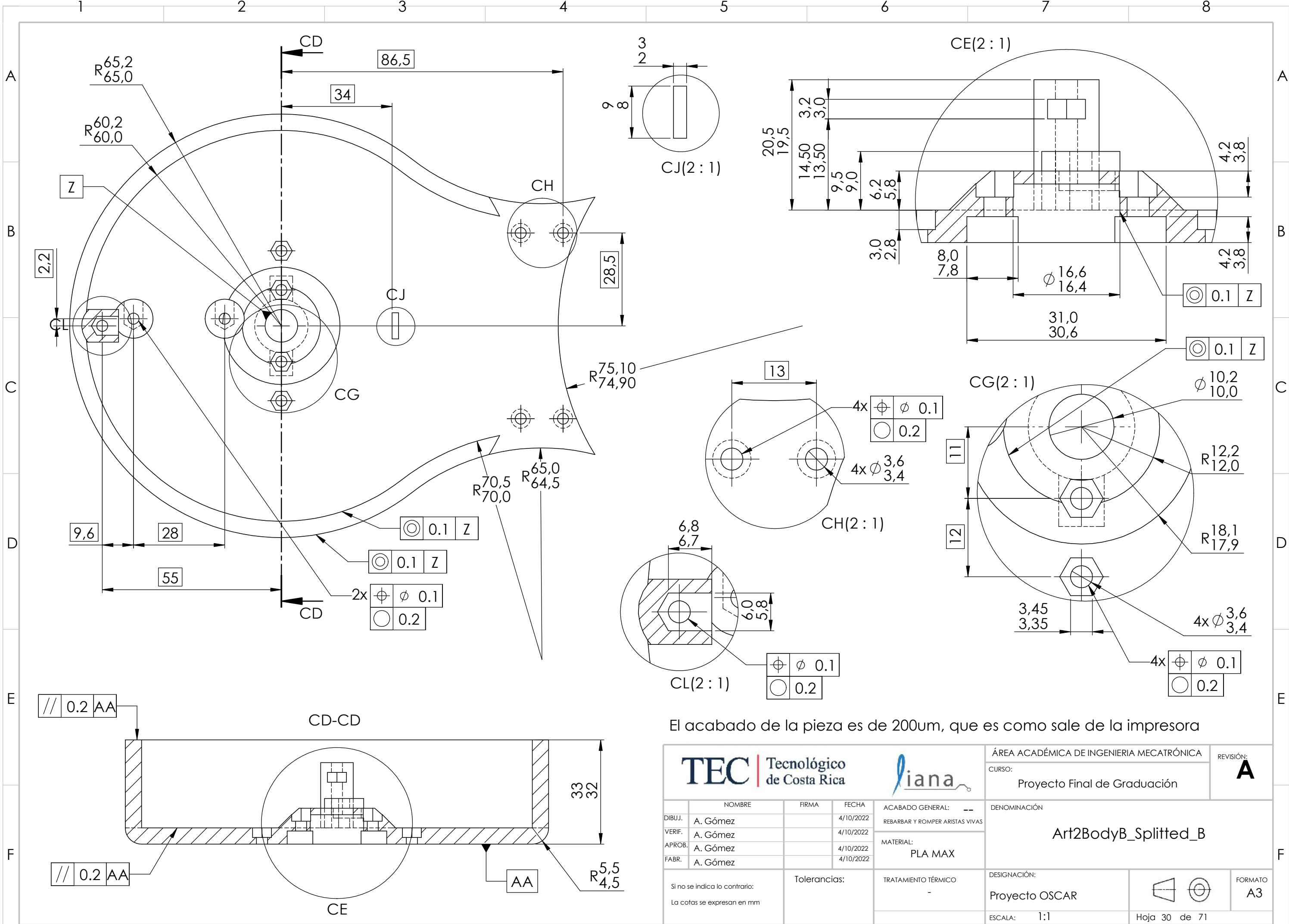
TEC Tecnológico de Costa Rica 				ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERIA MECATRÓNICA CURSO: Proyecto Final de Graduación		REVISIÓN: A					
DIBUJ. VERIF. APROB. FABR.		NOMBRE A. Gómez A. Gómez A. Gómez A. Gómez	FIRMA	FECHA 4/10/2022 4/10/2022 4/10/2022 4/10/2022	ACABADO GENERAL: -- REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS MATERIAL: PLA MAX			DENOMINACIÓN Art2BodyACover1			
Si no se indica lo contrario: La cotas se expresan en mm		Tolerancias:		TRATAMIENTO TÉRMICO -		DESIGNACIÓN: Proyecto OSCAR				FORMATO A3	
				ESCALA: 1:1		Hoja 26 de 71					



El acabado de la pieza es de 200um, que es como sale de la impresora

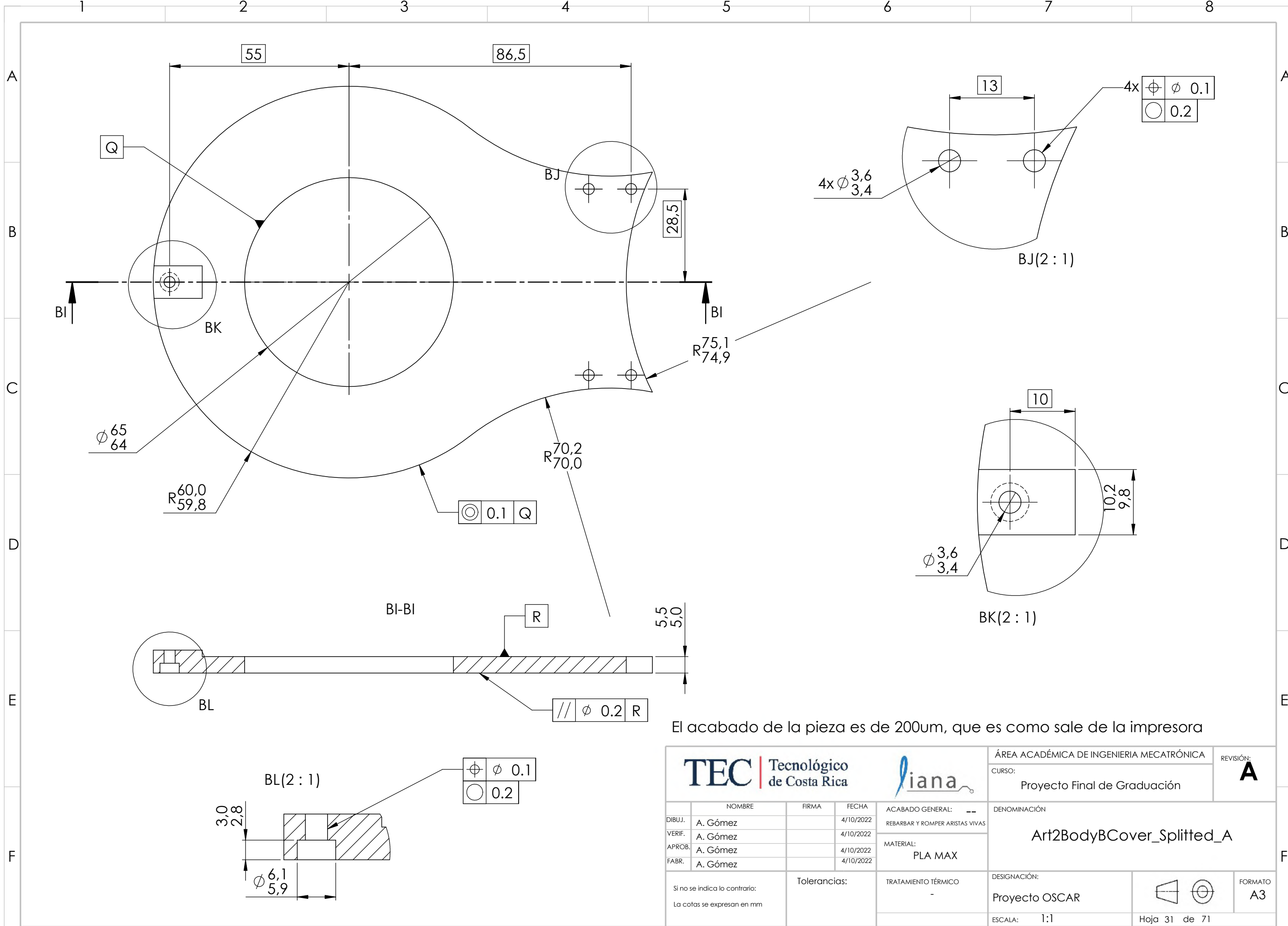
TEC Tecnológico de Costa Rica					ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERIA MECATRÓNICA		REVISIÓN: A
				CURSO: Proyecto Final de Graduación			
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA	ACABADO GENERAL: --	DENOMINACIÓN Art2BodyACover2		
VERIF.	A. Gómez		4/10/2022	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS			
APROB.	A. Gómez		4/10/2022	MATERIAL:			
FABR.	A. Gómez		4/10/2022	PLA MAX			
Si no se indica lo contrario: La cotas se expresan en mm		Tolerancias:		TRATAMIENTO TÉRMICO -	DESIGNACIÓN: Proyecto OSCAR		FORMATO A3
				ESCALA: 1:1	Hoja 27 de 71		





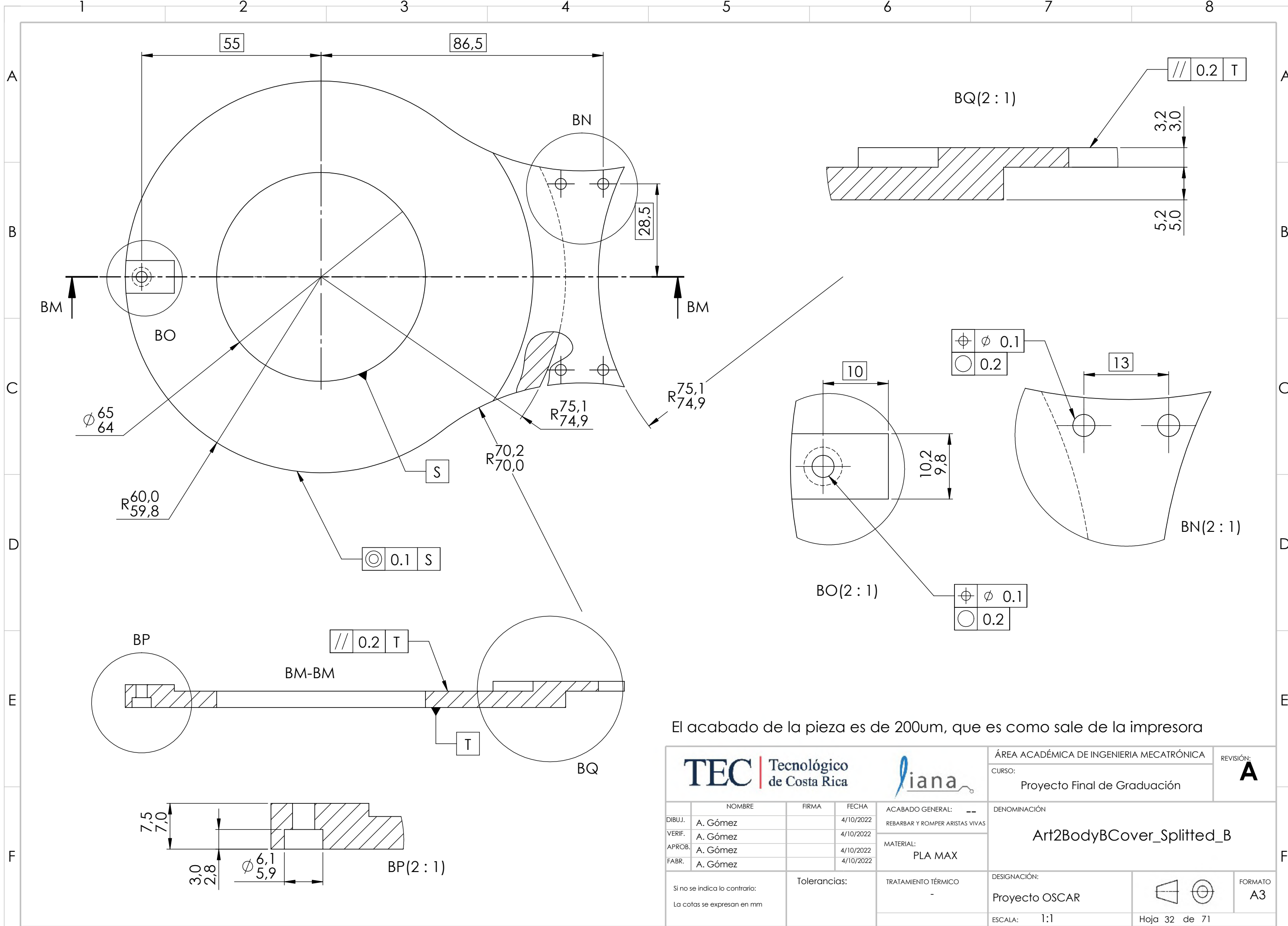
El acabado de la pieza es de 200um, que es como sale de la impresora

TEC Tecnológico de Costa Rica				ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERIA MECATRÓNICA	
				CURSO:	REVISIÓN: A
				Proyecto Final de Graduación	
				DENOMINACIÓN	
				Art2BodyB_Splitted_B	
				DESIGNACIÓN:	
				Proyecto OSCAR	
				FORMATO	
				A3	
				ESCALA:	
				1:1	
				Hoja 30 de 71	



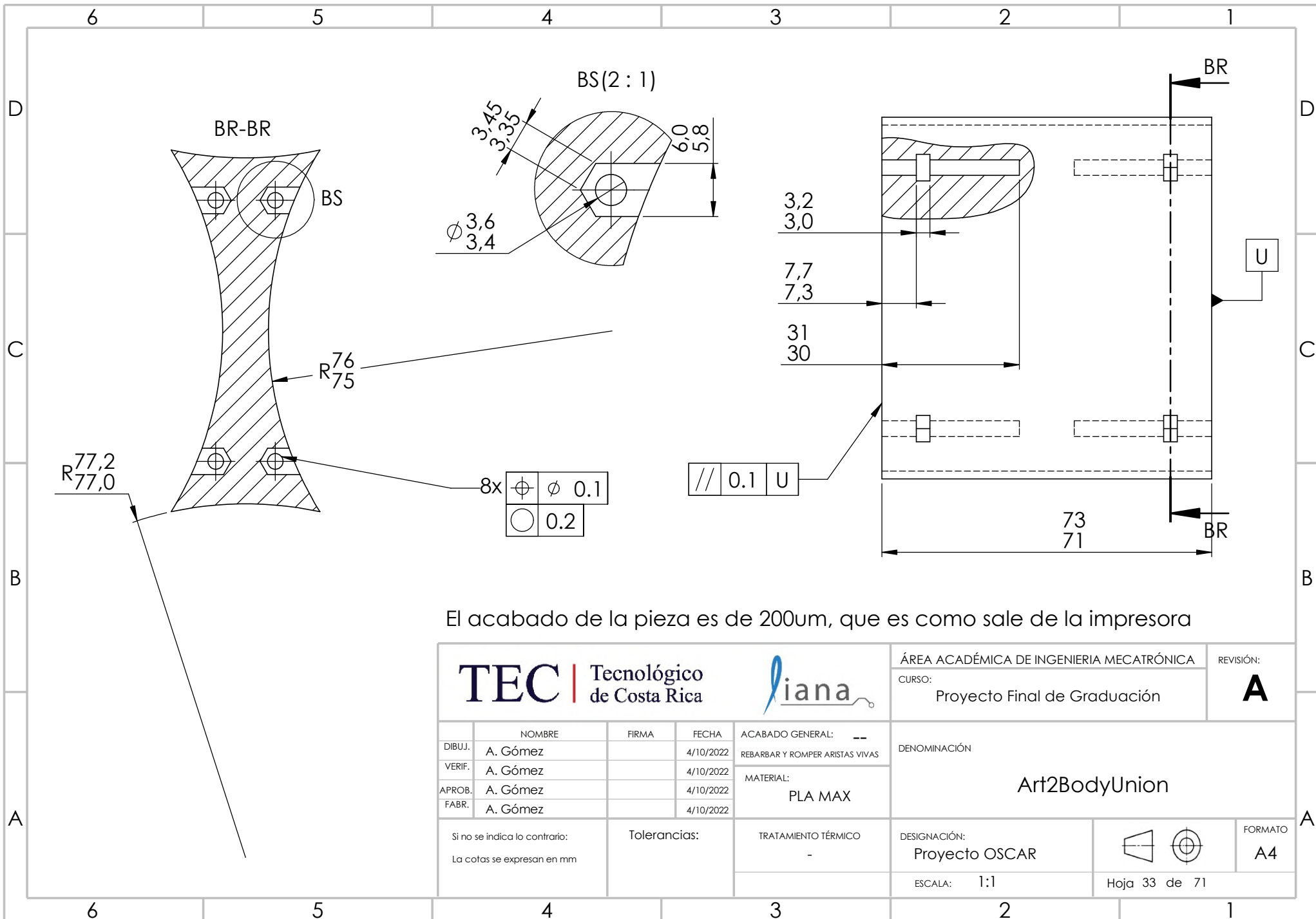
El acabado de la pieza es de 200um, que es como sale de la impresora

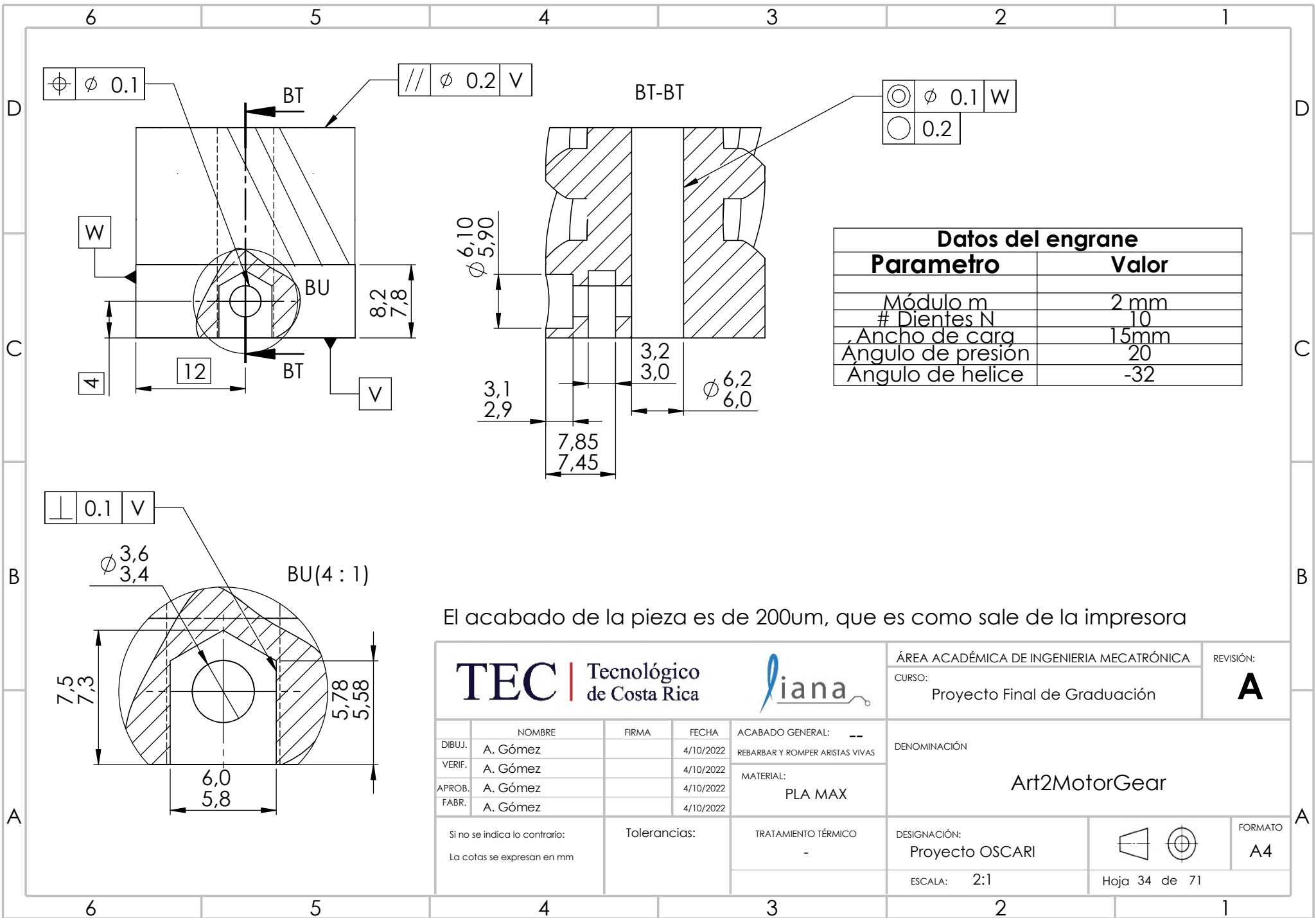
TEC Tecnológico de Costa Rica 				ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERIA MECATRÓNICA		REVISIÓN: A		
				CURSO: Proyecto Final de Graduación				
	NOMBRE	FIRMA	FECHA	ACABADO GENERAL: -- REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	DENOMINACIÓN Art2BodyBCover_Splitted_A			
DIBUJ.	A. Gómez		4/10/2022	MATERIAL: PLA MAX				
VERIF.	A. Gómez		4/10/2022					
APROB.	A. Gómez		4/10/2022					
FABR.	A. Gómez		4/10/2022					
Si no se indica lo contrario: La cotas se expresan en mm		Tolerancias:		TRATAMIENTO TÉRMICO -		DESIGNACIÓN: Proyecto OSCAR		FORMATO A3
						ESCALA: 1:1		Hoja 31 de 71



El acabado de la pieza es de 200um, que es como sale de la impresora

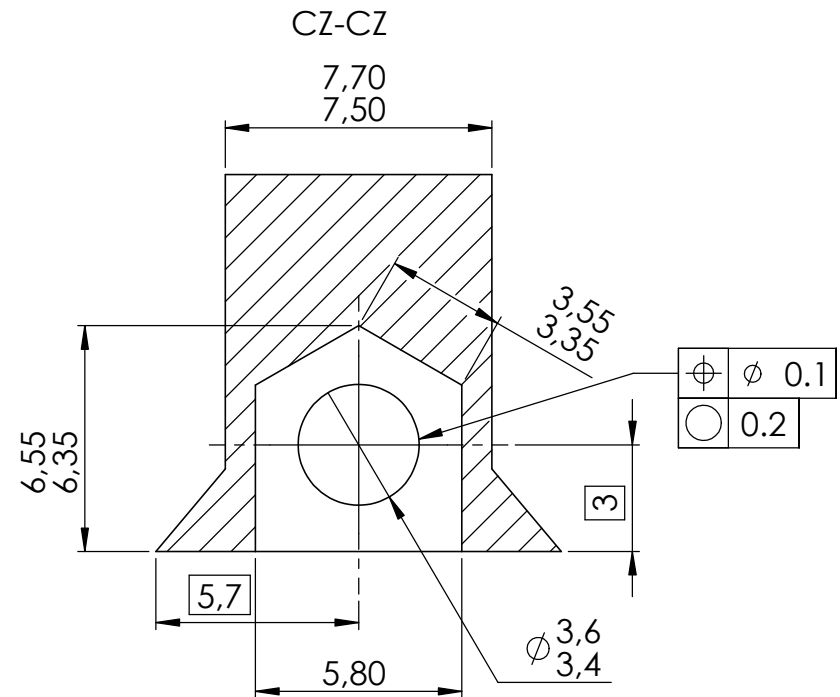
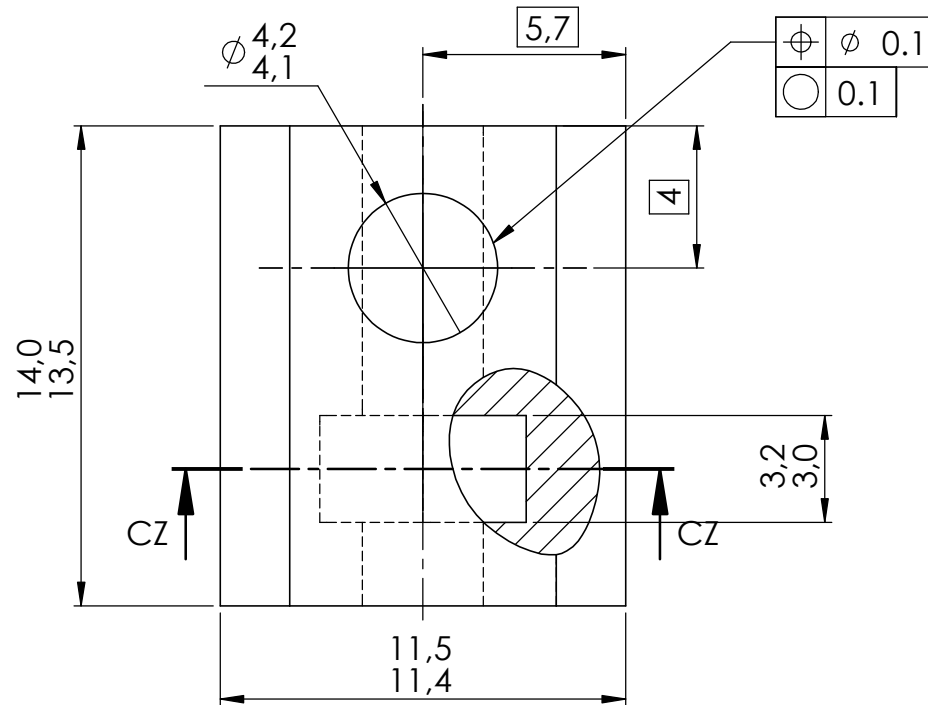
TEC Tecnológico de Costa Rica				ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERIA MECATRÓNICA		REVISIÓN:
				CURSO:		A
				Proyecto Final de Graduación		
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA	ACABADO GENERAL: --	DENOMINACIÓN	
VERIF.	A. Gómez		4/10/2022	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		
APROB.	A. Gómez		4/10/2022	MATERIAL:		
FABR.	A. Gómez		4/10/2022	PLA MAX		
Si no se indica lo contrario: La cotas se expresan en mm		Tolerancias:		TRATAMIENTO TÉRMICO	DESIGNACIÓN:	FORMATO
				-	Proyecto OSCAR	A3
					ESCALA: 1:1	Hoja 32 de 71





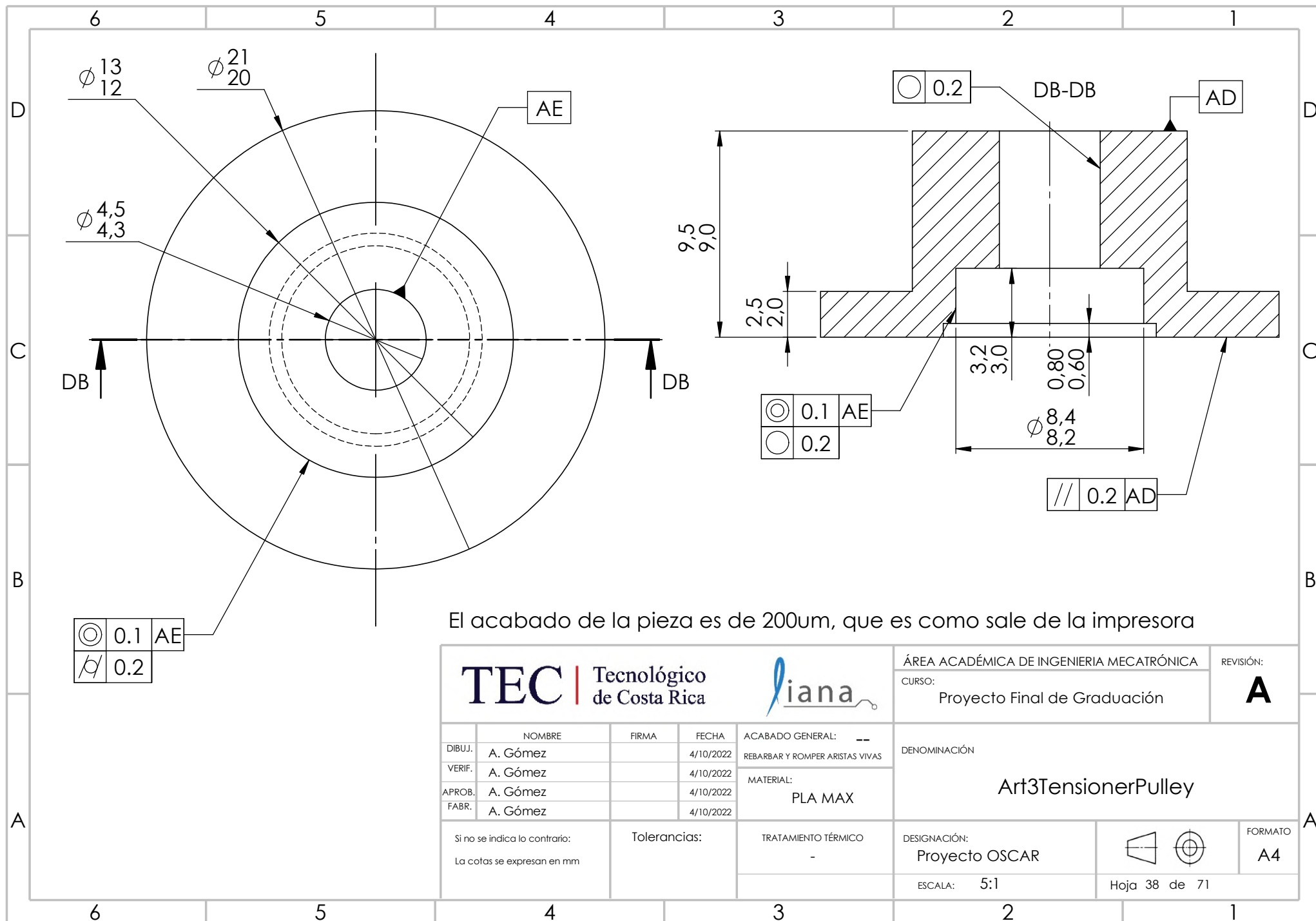
El acabado de la pieza es de 200um, que es como sale de la impresora

TEC Tecnológico de Costa Rica				liana		ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERIA MECATRÓNICA		REVISIÓN:	
						CURSO:		A	
						Proyecto Final de Graduación			
DIBUJ.		NOMBRE		FIRMA		FECHA		ACABADO GENERAL: --	
VERIF.		A. Gómez				4/10/2022		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	
APROB.		A. Gómez				4/10/2022		MATERIAL:	
FABR.		A. Gómez				4/10/2022		PLA MAX	
Si no se indica lo contrario: La cotas se expresan en mm				Tolerancias:		TRATAMIENTO TÉRMICO		DESIGNACIÓN:	
						-		Proyecto OSCARI	
								ESCALA: 2:1	
								Hoja 34 de 71	
								FORMATO	
								A4	



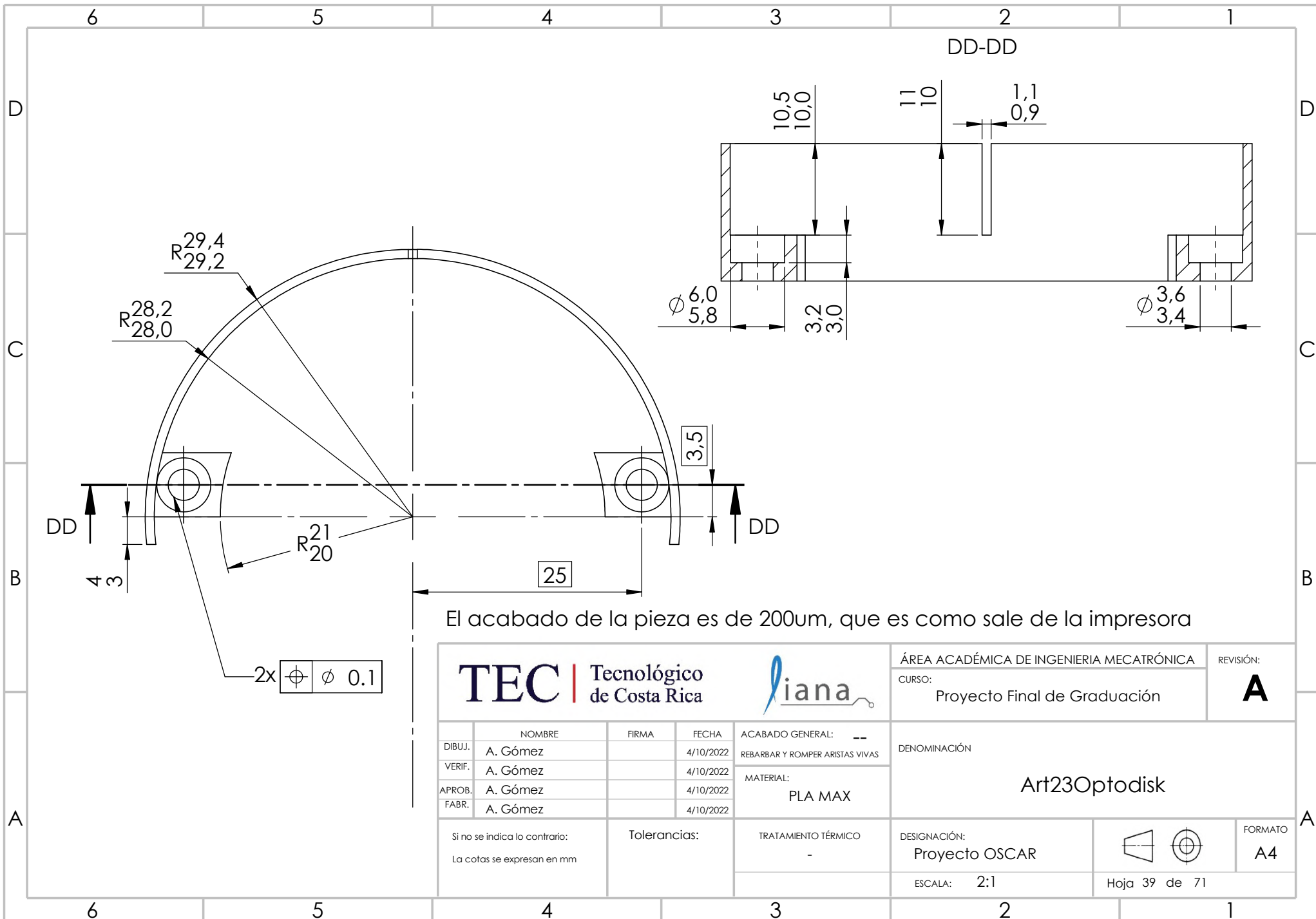
El acabado de la pieza es de 200um, que es como sale de la impresora

TEC Tecnológico de Costa Rica				ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERIA MECATRÓNICA		REVISIÓN: A
CURSO: Proyecto Final de Graduación				DENOMINACIÓN: Art3TensionerBody		
DIBUJ. A. Gómez VERIF. A. Gómez APROB. A. Gómez FABR. A. Gómez	FIRMA 	FECHA 4/10/2022 4/10/2022 4/10/2022 4/10/2022	ACABADO GENERAL: -- REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS MATERIAL: PLA MAX	TRATAMIENTO TÉRMICO: -		
Si no se indica lo contrario: La cotas se expresan en mm		Tolerancias:	DESIGNACIÓN: Proyecto OSCAR ESCALA: 5:1	FORMATO: A4 Hoja 37 de 71		



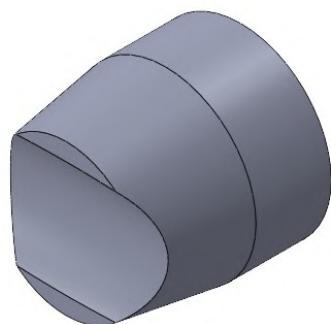
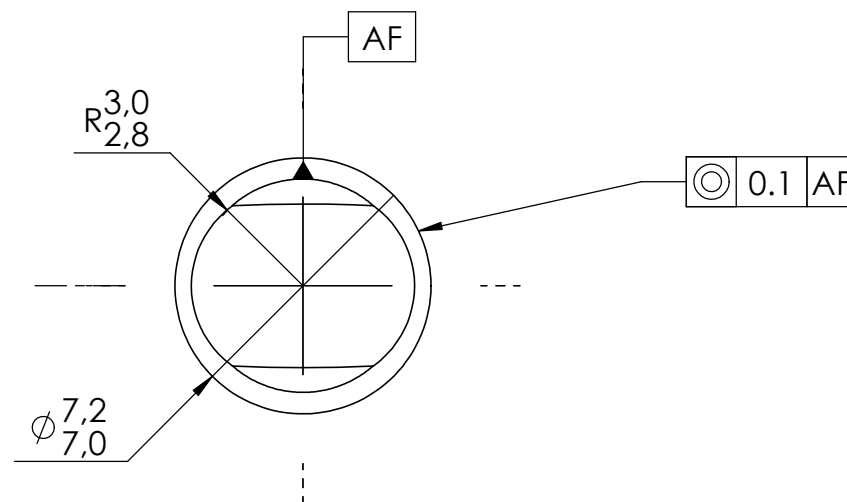
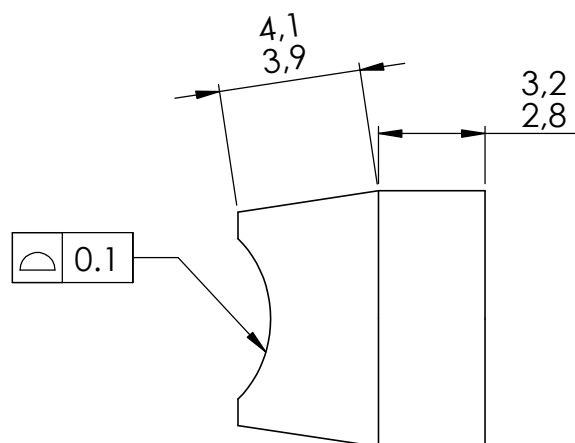
El acabado de la pieza es de 200um, que es como sale de la impresora

TEC Tecnológico de Costa Rica				ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERIA MECATRÓNICA		REVISIÓN: A
CURSO: Proyecto Final de Graduación				DENOMINACIÓN: Art3TensionerPulley		
DIBUJ. A. Gómez VERIF. A. Gómez APROB. A. Gómez FABR. A. Gómez	FIRMA 	FECHA 4/10/2022 4/10/2022 4/10/2022 4/10/2022	ACABADO GENERAL: -- REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	MATERIAL: PLA MAX		
Si no se indica lo contrario: La cotas se expresan en mm		Tolerancias:	TRATAMIENTO TÉRMICO: -	DESIGNACIÓN: Proyecto OSCAR	ESCALA: 5:1	FORMATO: A4 Hoja 38 de 71



El acabado de la pieza es de 200um, que es como sale de la impresora

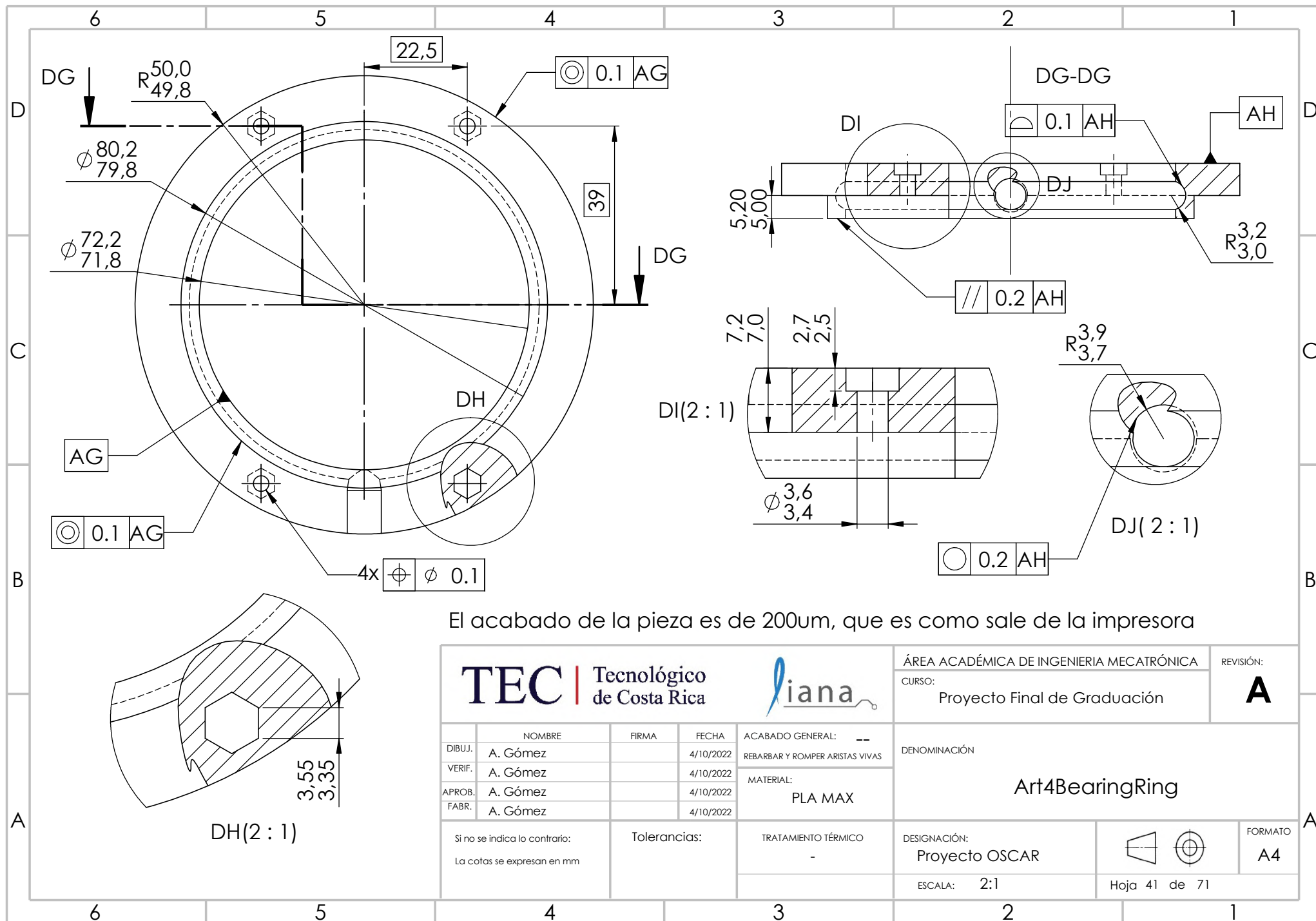
TEC Tecnológico de Costa Rica				ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERIA MECATRÓNICA		REVISIÓN: A	
CURSO: Proyecto Final de Graduación				DENOMINACIÓN: Art23Optodisk			
DIBUJ. A. Gómez		FIRMA		FECHA: 4/10/2022		ACABADO GENERAL: --	
VERIF. A. Gómez		FIRMA		FECHA: 4/10/2022		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	
APROB. A. Gómez		FIRMA		FECHA: 4/10/2022		MATERIAL: PLA MAX	
FABR. A. Gómez		FIRMA		FECHA: 4/10/2022		TRATAMIENTO TÉRMICO: -	
Si no se indica lo contrario: La cotas se expresan en mm		Tolerancias:		DESIGNACIÓN: Proyecto OSCAR		ESCALA: 2:1	
Hoja 39 de 71		FORMATO: A4		Hoja 39 de 71		Hoja 39 de 71	

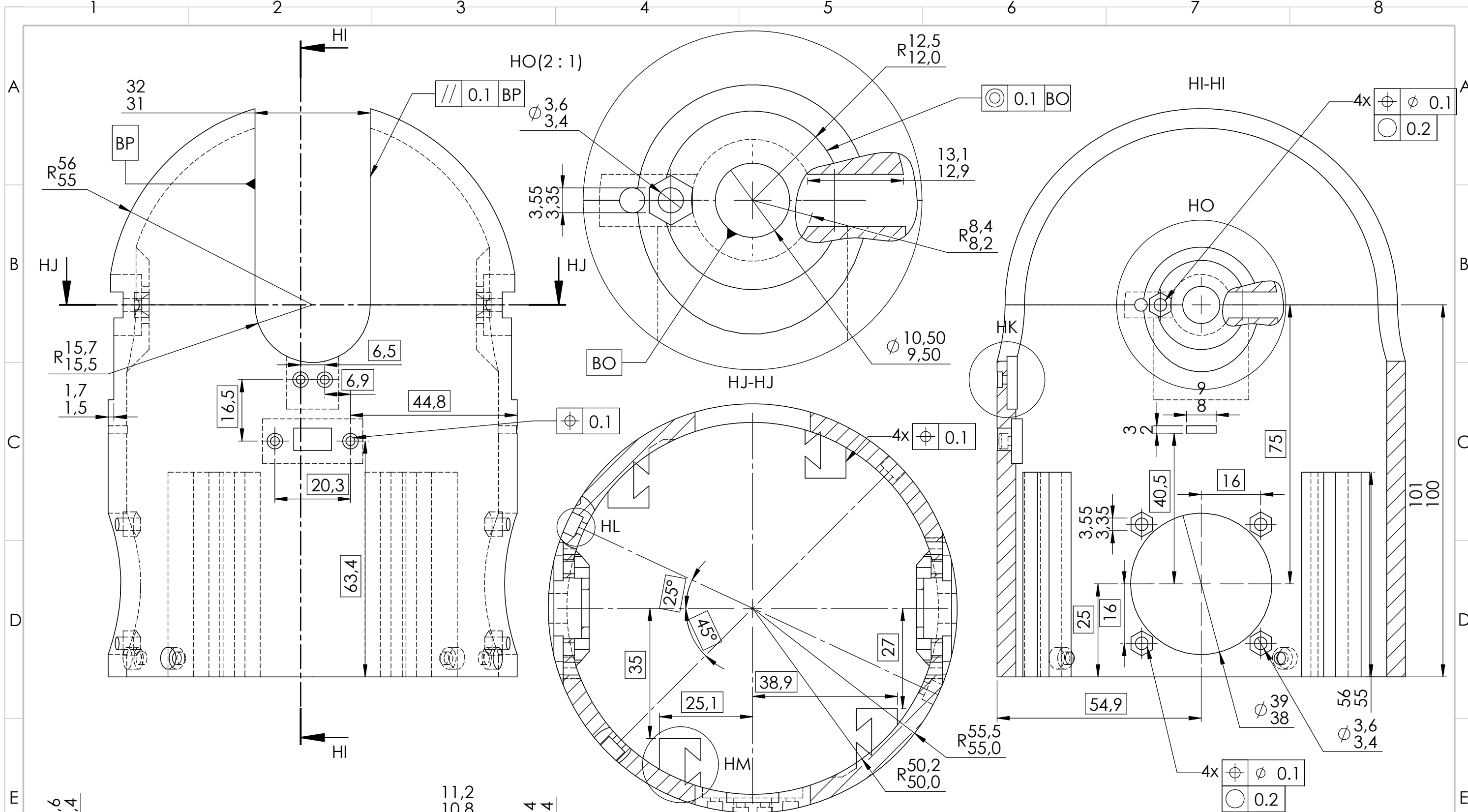


La ranura curva es de 6.1mm y es un corte de revolución

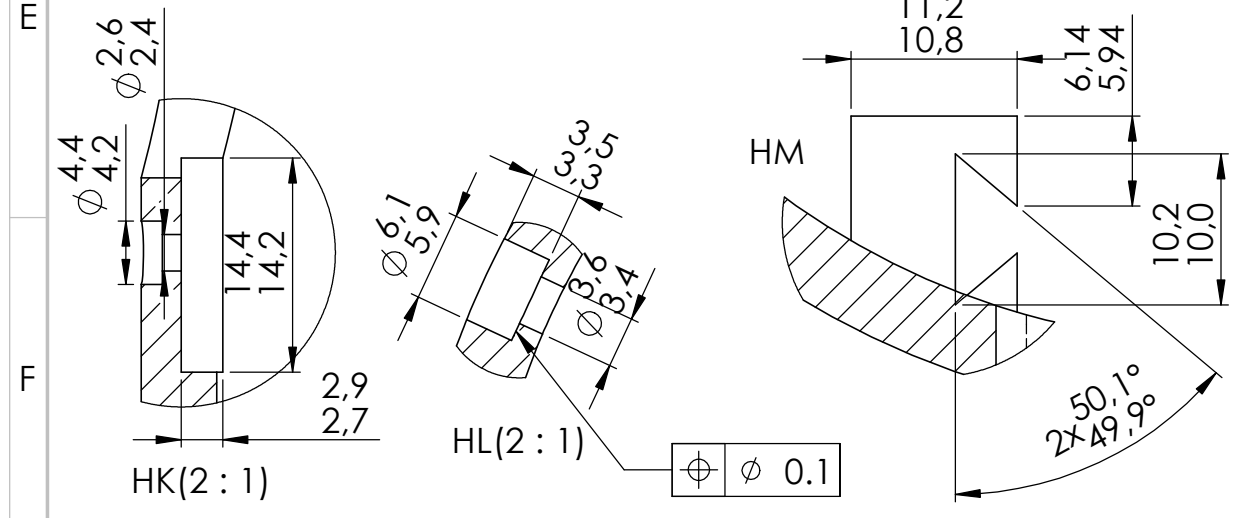
El acabado de la pieza es de 200um, que es como sale de la impresora

TEC Tecnológico de Costa Rica				ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERIA MECATRÓNICA		REVISIÓN:	
CURSO:				Proyecto Final de Graduación		A	
DENOMINACIÓN				Art4BearingPlug			
ACABADO GENERAL: --				MATERIAL:			
REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS				PLA MAX			
Si no se indica lo contrario: La cotas se expresan en mm				Tolerancias:		TRATAMIENTO TÉRMICO	
DIBUJ. A. Gómez				FIRMA		FECHA	
VERIF. A. Gómez				4/10/2022		4/10/2022	
APROB. A. Gómez				4/10/2022		4/10/2022	
FABR. A. Gómez				4/10/2022		4/10/2022	
DESIGNACIÓN:				Proyecto OSCAR		FORMATO	
ESCALA: 5:1				Hoja 40 de 71		A4	

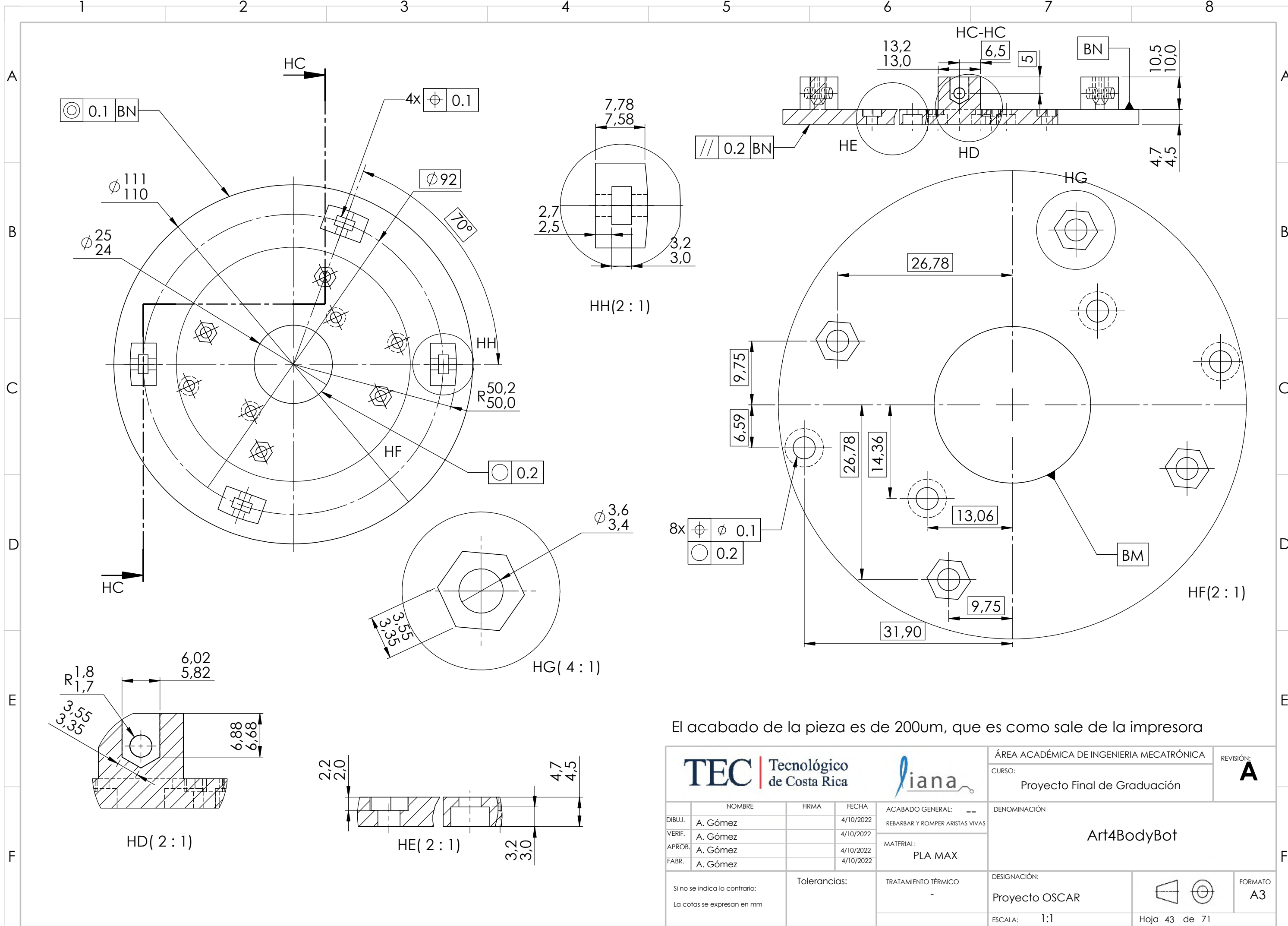




El acabado de la pieza es de 200um, que es como sale de la impresora

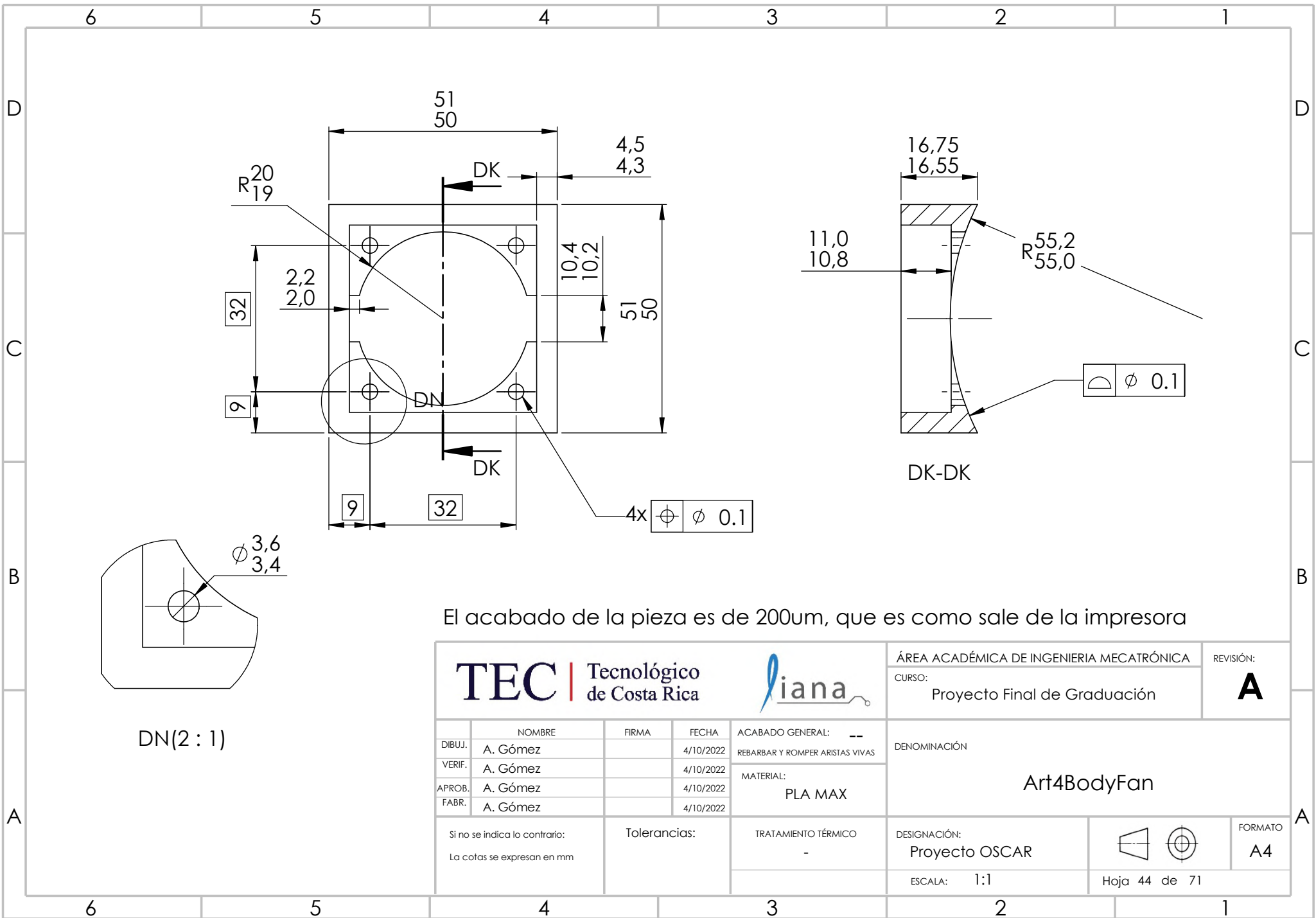


TEC Tecnológico de Costa Rica				ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERIA MECATRÓNICA	
				CURSO:	Proyecto Final de Graduación
				REVISIÓN: A	
				DENOMINACIÓN	
				Art4Body	
				DESIGNACIÓN:	
				Proyecto OSCAR	
				FORMATO	
				A3	
				ESCALA:	
				1:1	
				Hoja 42 de 71	



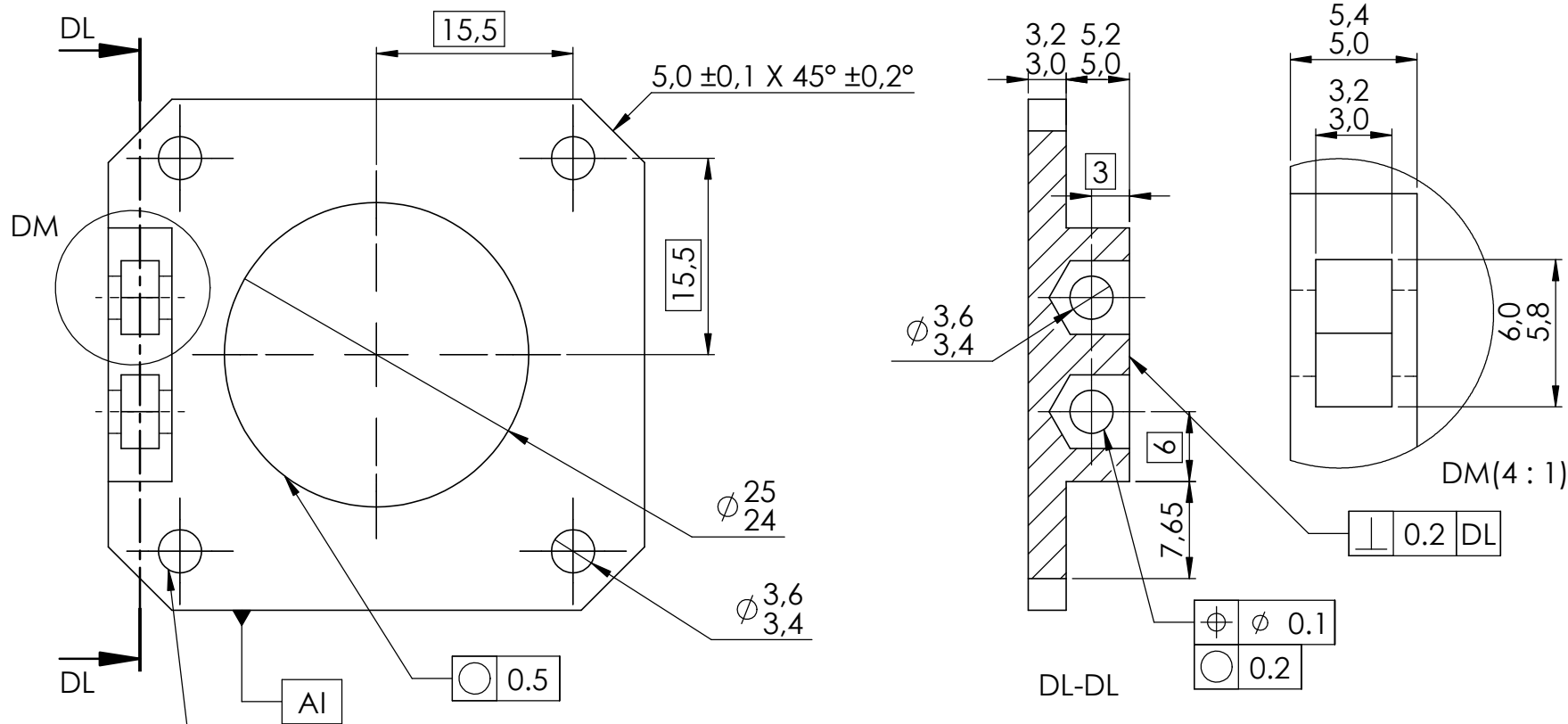
El acabado de la pieza es de 200um, que es como sale de la impresora

TEC Tecnológico de Costa Rica				ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERIA MECATRÓNICA		REVISIÓN:
				CURSO:		A
				Proyecto Final de Graduación		
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA	ACABADO GENERAL: -- REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS MATERIAL: PLA MAX		
VERIF.	A. Gómez		4/10/2022			
APROB.	A. Gómez		4/10/2022			
FABR.	A. Gómez		4/10/2022			
Si no se indica lo contrario: La cotas se expresan en mm		Tolerancias:		TRATAMIENTO TÉRMICO	DESIGNACIÓN:	FORMATO
				-	Proyecto OSCAR	A3
					ESCALA: 1:1	Hoja 43 de 71



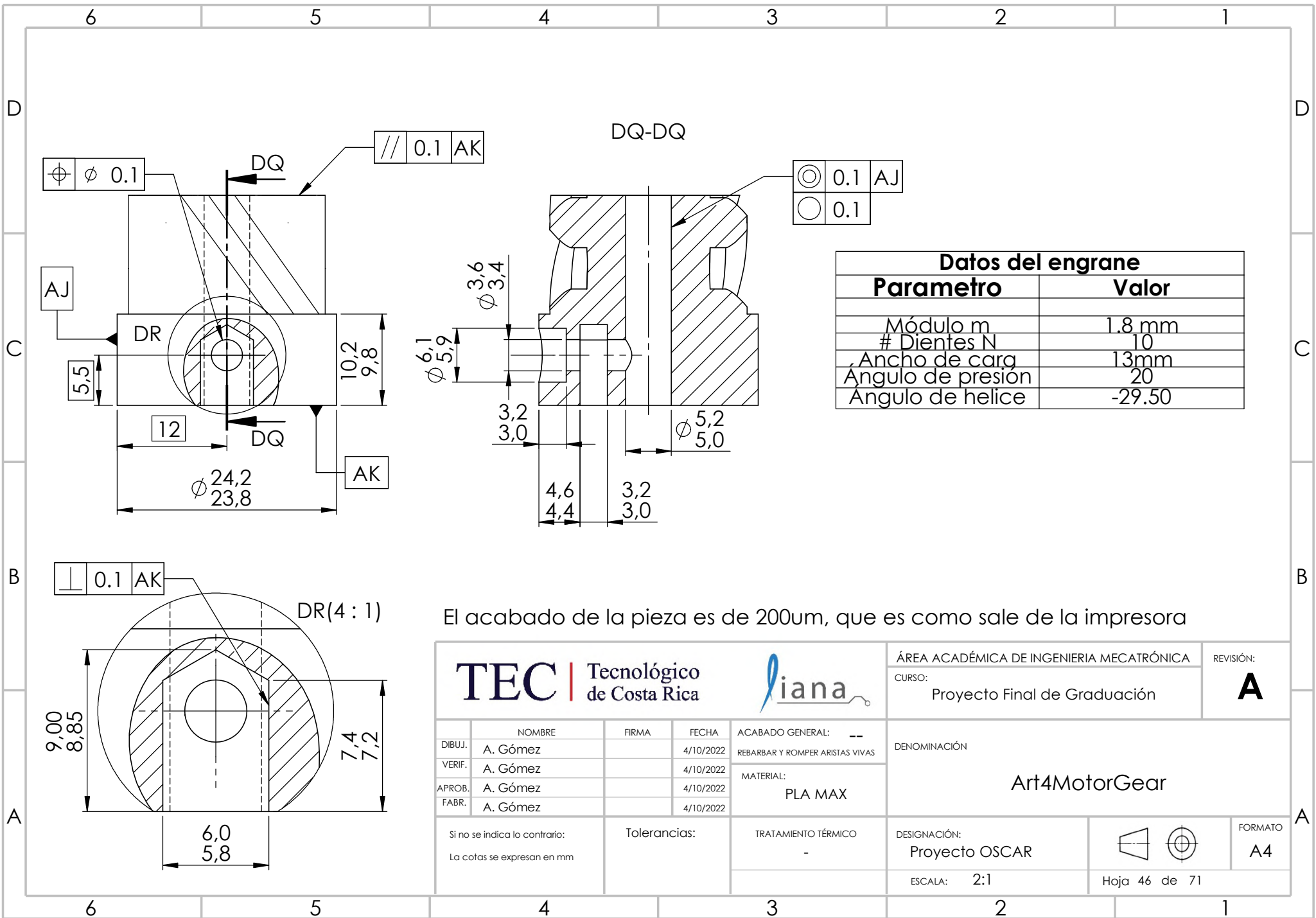
El acabado de la pieza es de 200um, que es como sale de la impresora

TEC Tecnológico de Costa Rica					ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERIA MECATRÓNICA		REVISIÓN:		
					CURSO:		A		
				Proyecto Final de Graduación					
		NOMBRE		FIRMA	FECHA	ACABADO GENERAL: --		DENOMINACIÓN	
DIBUJ.		A. Gómez			4/10/2022	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS			
VERIF.		A. Gómez			4/10/2022	MATERIAL:			
APROB.		A. Gómez			4/10/2022	PLA MAX			
FABR.		A. Gómez			4/10/2022				
Si no se indica lo contrario: La cotas se expresan en mm				Tolerancias:		TRATAMIENTO TÉRMICO		DESIGNACIÓN:	FORMATO
						-		Proyecto OSCAR	
						ESCALA: 1:1		Hoja 44 de 71	A4



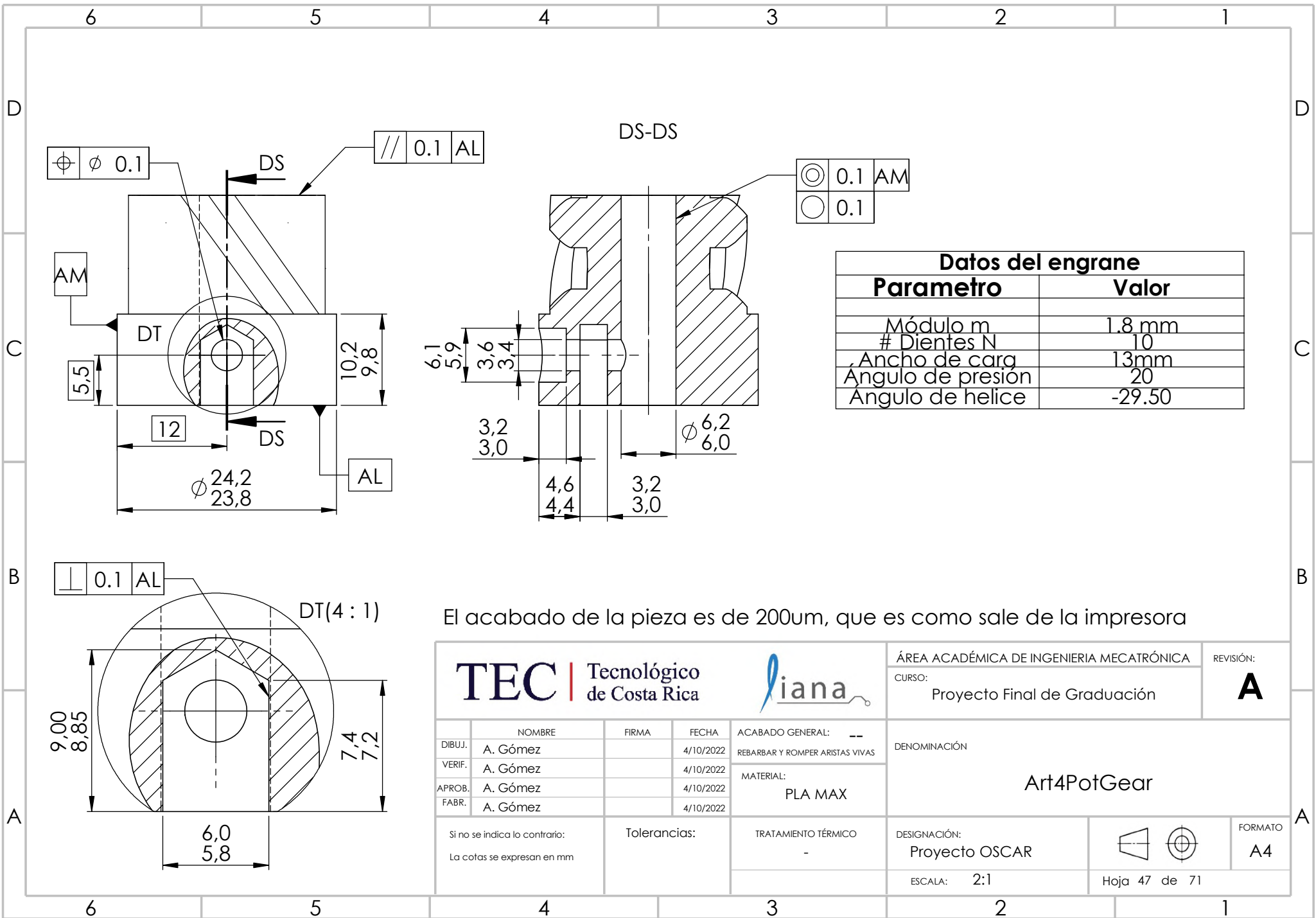
El acabado de la pieza es de 200um, que es como sale de la impresora

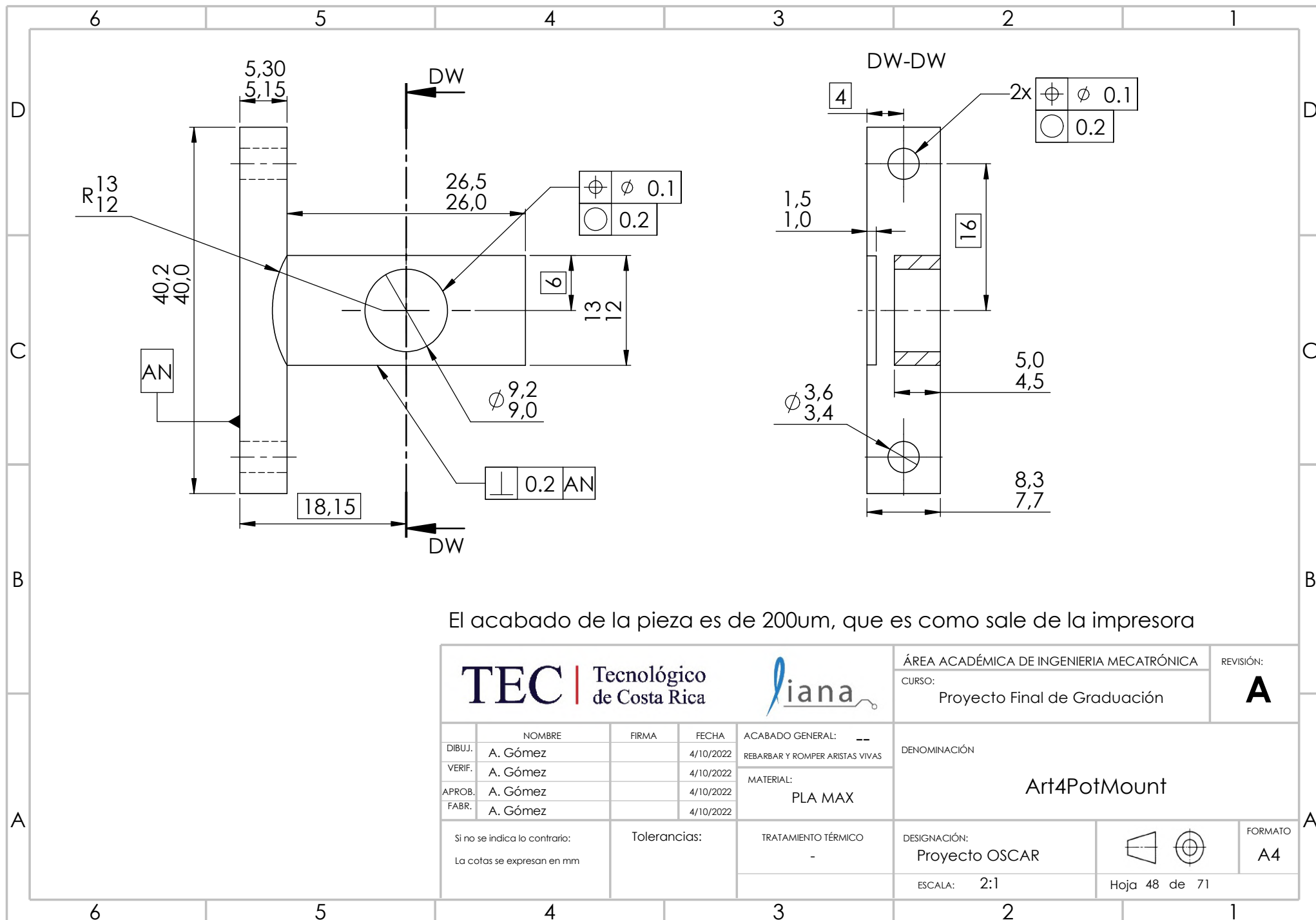
TEC Tecnológico de Costa Rica				ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERIA MECATRÓNICA		REVISIÓN: A
CURSO: Proyecto Final de Graduación				DENOMINACIÓN: Art4MotorFix		
DIBUJ. A. Gómez VERIF. A. Gómez APROB. A. Gómez FABR. A. Gómez	NOMBRE FIRMA FECHA	ACABADO GENERAL: -- REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	MATERIAL: PLA MAX			
Si no se indica lo contrario: La cotas se expresan en mm		Tolerancias:	TRATAMIENTO TÉRMICO: -	DESIGNACIÓN: Proyecto OSCAR	ESCALA: 2:1	FORMATO: A4



El acabado de la pieza es de 200um, que es como sale de la impresora

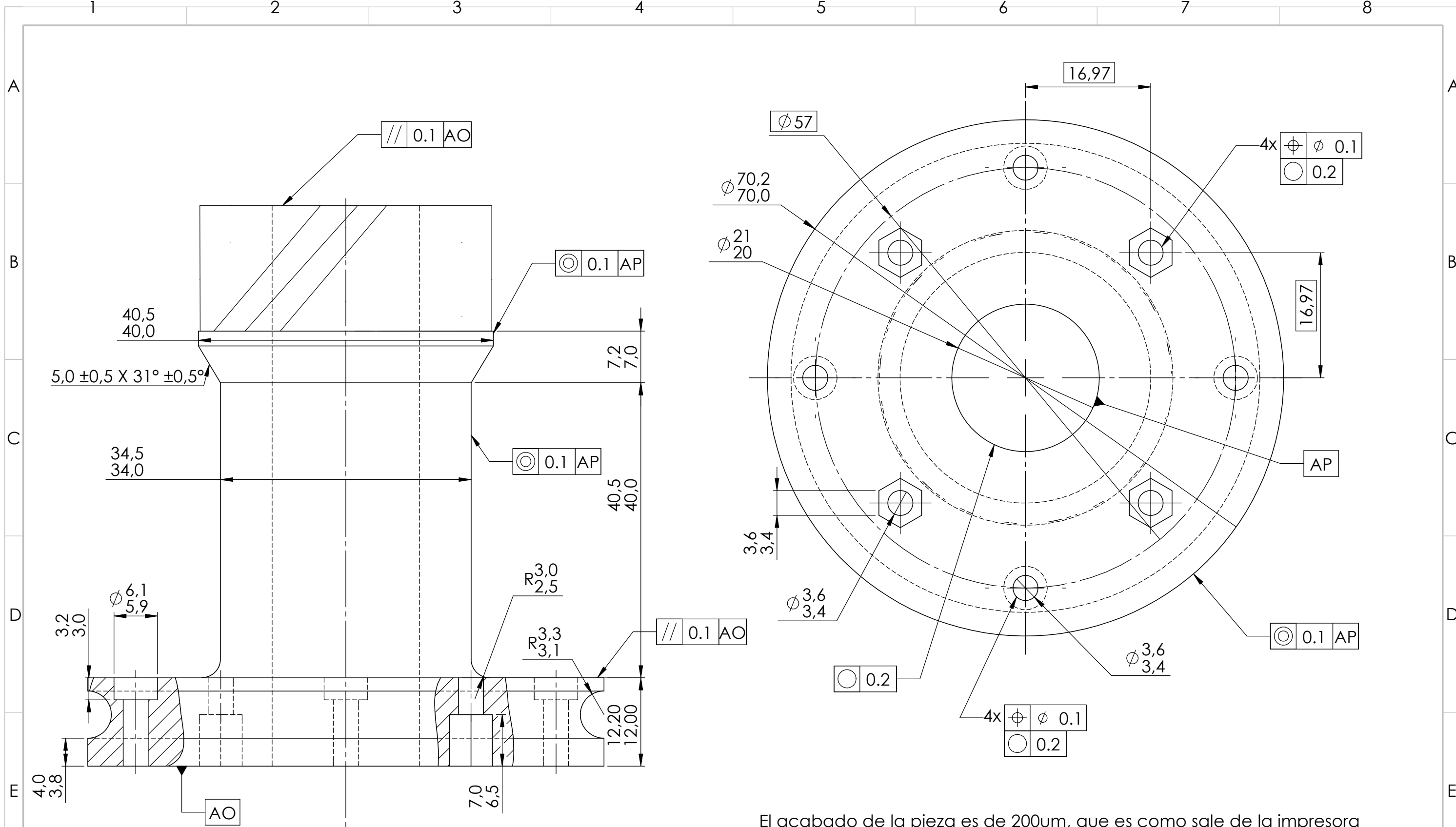
TEC Tecnológico de Costa Rica				liana		ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERIA MECATRÓNICA		REVISIÓN:	
						CURSO:		A	
						Proyecto Final de Graduación			
DIBUJ.		NOMBRE		FIRMA		FECHA		ACABADO GENERAL: --	
VERIF.		A. Gómez				4/10/2022		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	
APROB.		A. Gómez				4/10/2022		MATERIAL:	
FABR.		A. Gómez				4/10/2022		PLA MAX	
Si no se indica lo contrario: La cotas se expresan en mm				Tolerancias:		TRATAMIENTO TÉRMICO		DENOMINACIÓN	
						-		Art4MotorGear	
								FORMATO	
								A4	
								ESCALA: 2:1	
								Hoja 46 de 71	





El acabado de la pieza es de 200um, que es como sale de la impresora

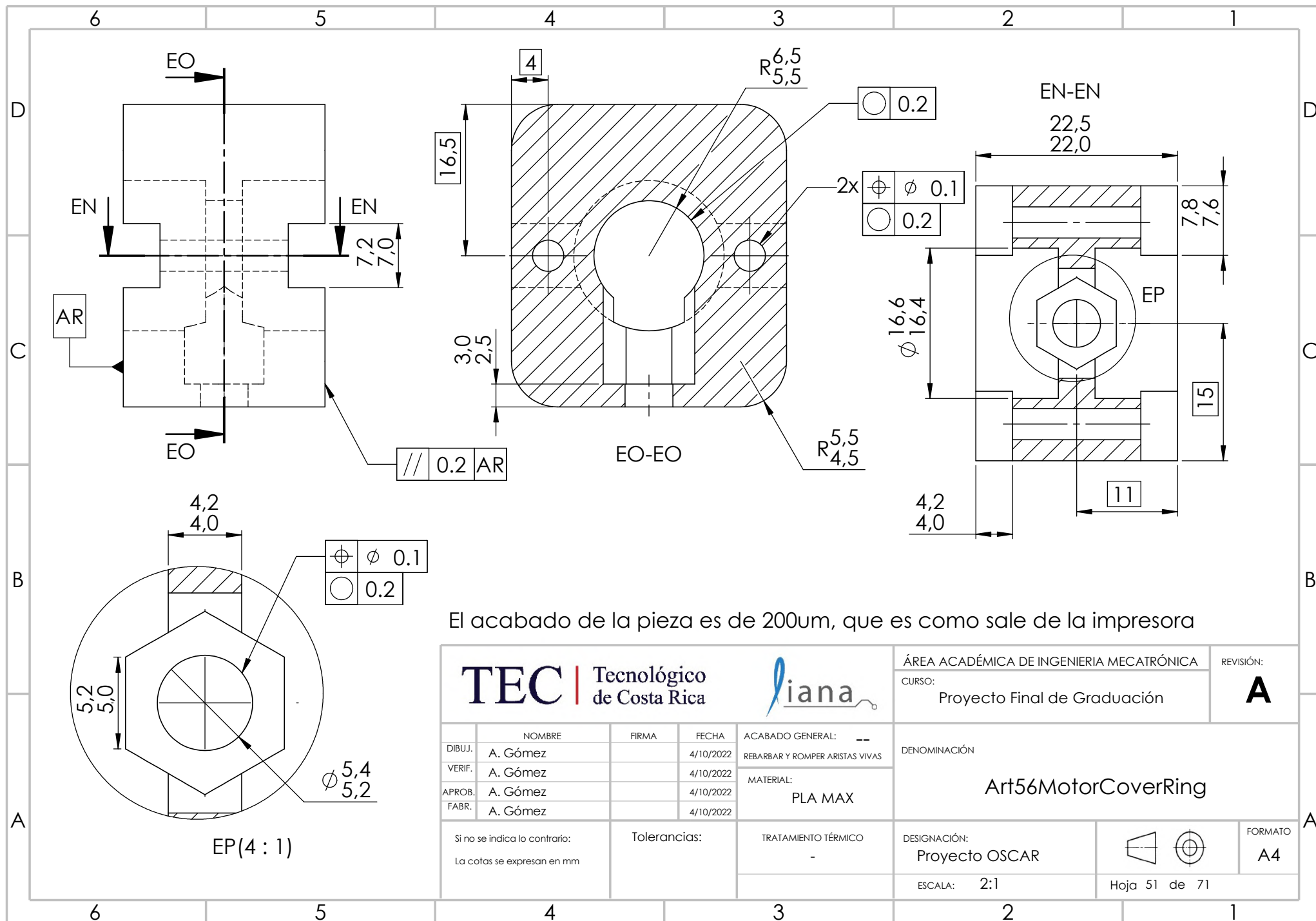
TEC Tecnológico de Costa Rica				liana		ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERIA MECATRÓNICA		REVISIÓN: A	
DIBUJ. A. Gómez				FIRMA		FECHA 4/10/2022		CURSO: Proyecto Final de Graduación	
VERIF. A. Gómez				FIRMA		FECHA 4/10/2022		DENOMINACIÓN	
APROB. A. Gómez				FIRMA		FECHA 4/10/2022		Art4PotMount	
FABR. A. Gómez				FIRMA		FECHA 4/10/2022		MATERIAL: PLA MAX	
Si no se indica lo contrario: La cotas se expresan en mm				Tolerancias:		TRATAMIENTO TÉRMICO -		DESIGNACIÓN: Proyecto OSCAR	
ESCALA: 2:1				Hoja 48 de 71		FORMATO A4		ESCALA: 2:1	

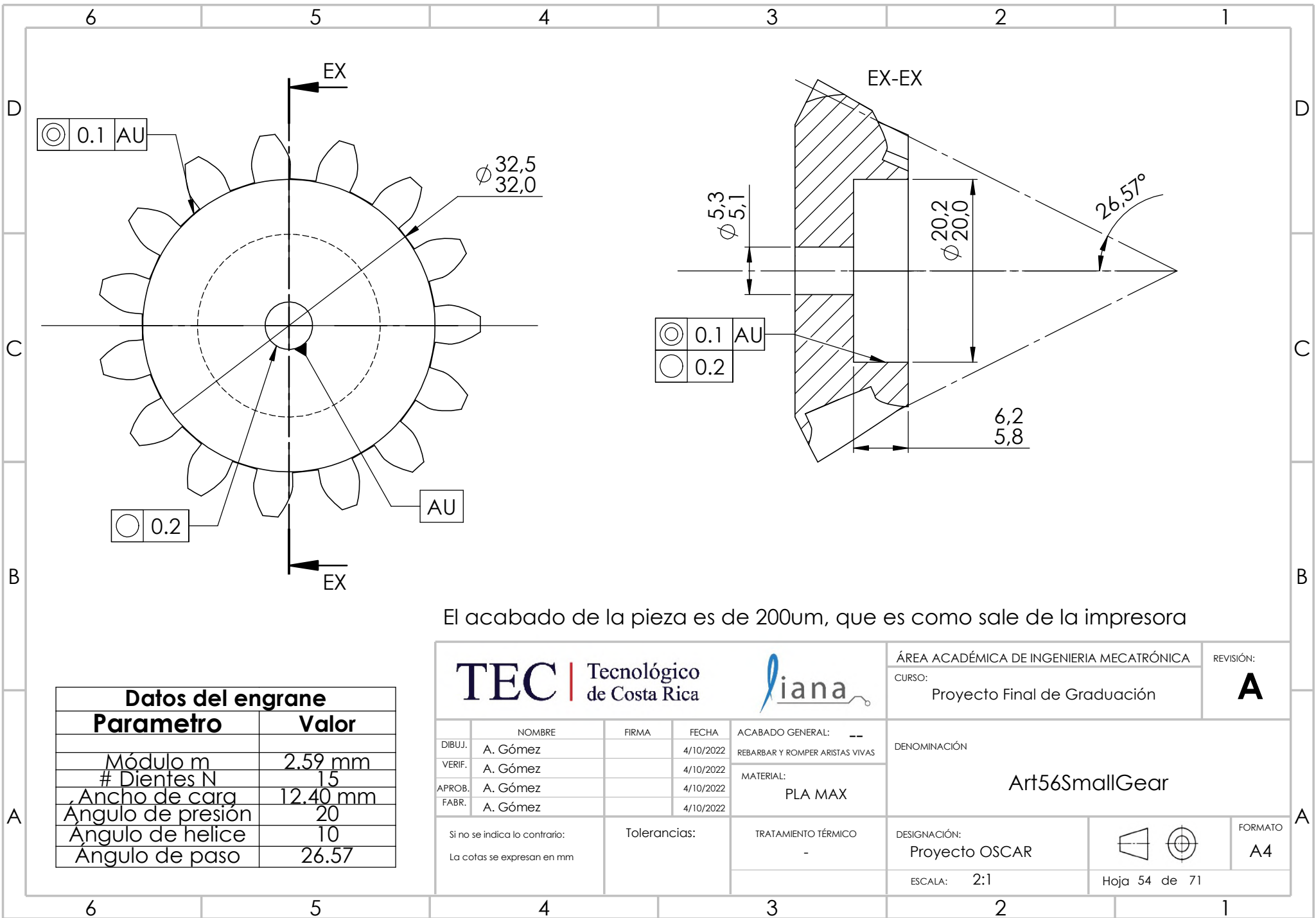


El acabado de la pieza es de 200um, que es como sale de la impresora

Datos del engrane	
Parametro	Valor
Módulo m	1.8 mm
# Dientes N	20
Ancho de cara	17mm
Angulo de presión	20
Angulo de helice	29.50

TEC Tecnológico de Costa Rica				liana		ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERIA MECATRÓNICA		REVISIÓN:
						CURSO:		A
						Proyecto Final de Graduación		
DIBUJ.		NOMBRE	FIRMA	FECHA	ACABADO GENERAL: --		DENOMINACIÓN	
VERIF.		A. Gómez		4/10/2022	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		Art4TransmissionColumn	
APROB.		A. Gómez		4/10/2022	MATERIAL:			
FABR.		A. Gómez		4/10/2022	PLA MAX			
Si no se indica lo contrario: La cotas se expresan en mm			Tolerancias:		TRATAMIENTO TÉRMICO		DESIGNACIÓN:	
					-		Proyecto OSCAR	
							ESCALA: 2:1	
							Hoja 49 de 71	
							FORMATO A3	

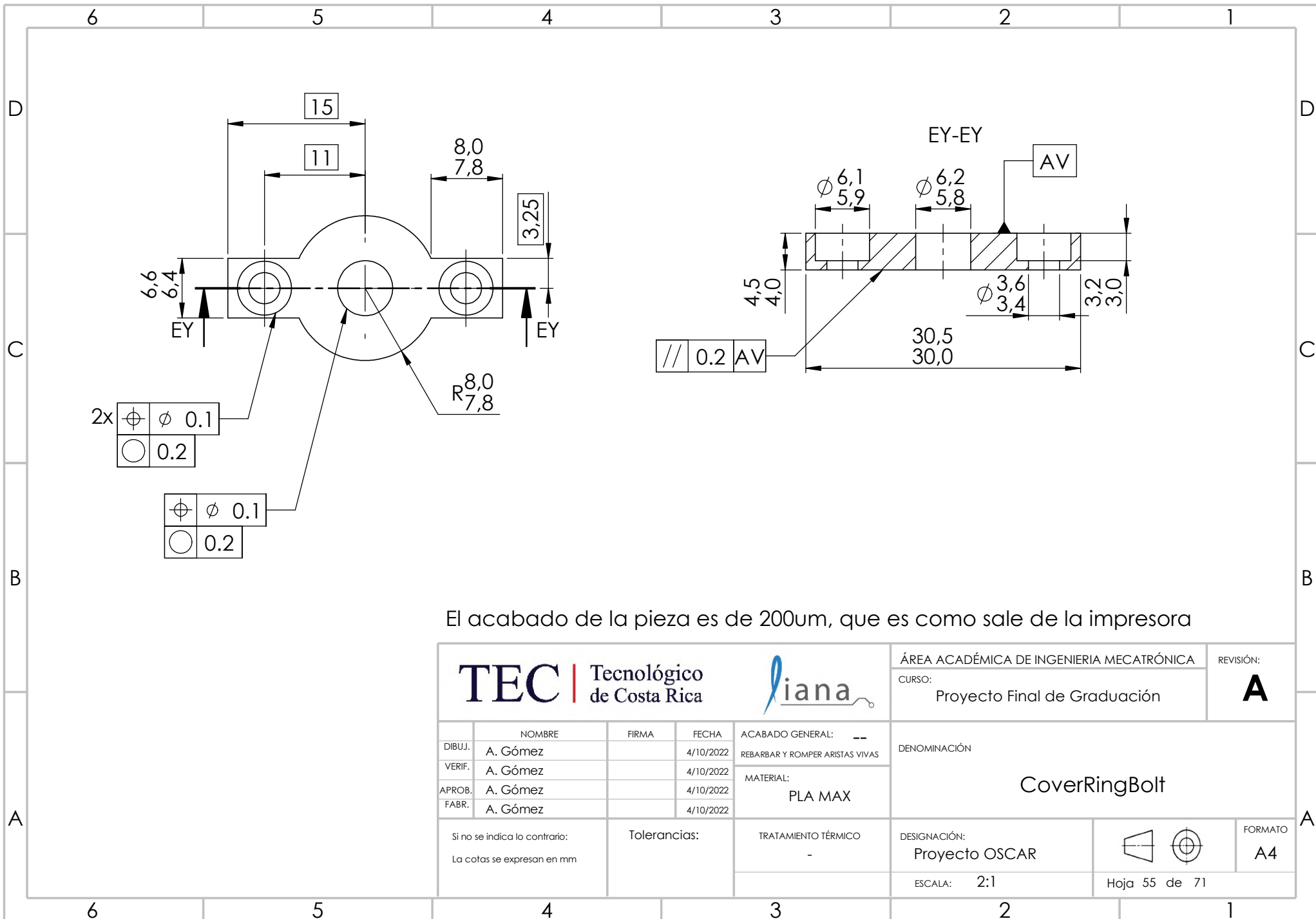




El acabado de la pieza es de 200um, que es como sale de la impresora

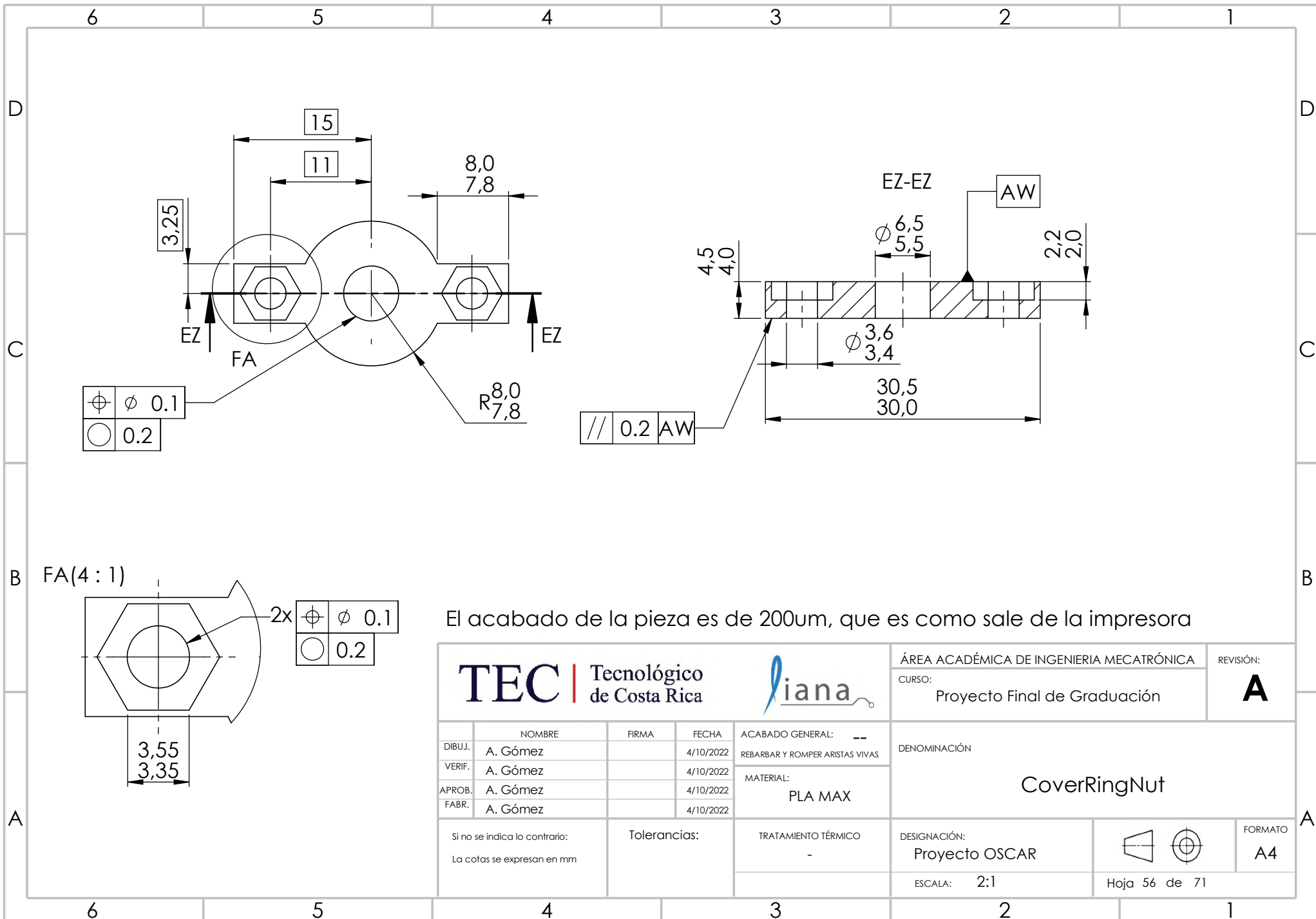
Datos del engrane	
Parametro	Valor
Módulo m	2.59 mm
# Dientes N	15
Ancho de carga	12.40 mm
Angulo de presión	20
Angulo de helice	10
Angulo de paso	26.57

TEC Tecnológico de Costa Rica				ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERIA MECATRÓNICA		REVISIÓN:
liana				CURSO:		A
				Proyecto Final de Graduación		
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA	ACABADO GENERAL:	DENOMINACIÓN	
VERIF.	A. Gómez		4/10/2022	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		
APROB.	A. Gómez		4/10/2022	MATERIAL:		
FABR.	A. Gómez		4/10/2022	PLA MAX		
Si no se indica lo contrario:		Tolerancias:		TRATAMIENTO TÉRMICO	DESIGNACIÓN:	FORMATO
La cotas se expresan en mm				-	Proyecto OSCAR	A4
					ESCALA: 2:1	Hoja 54 de 71



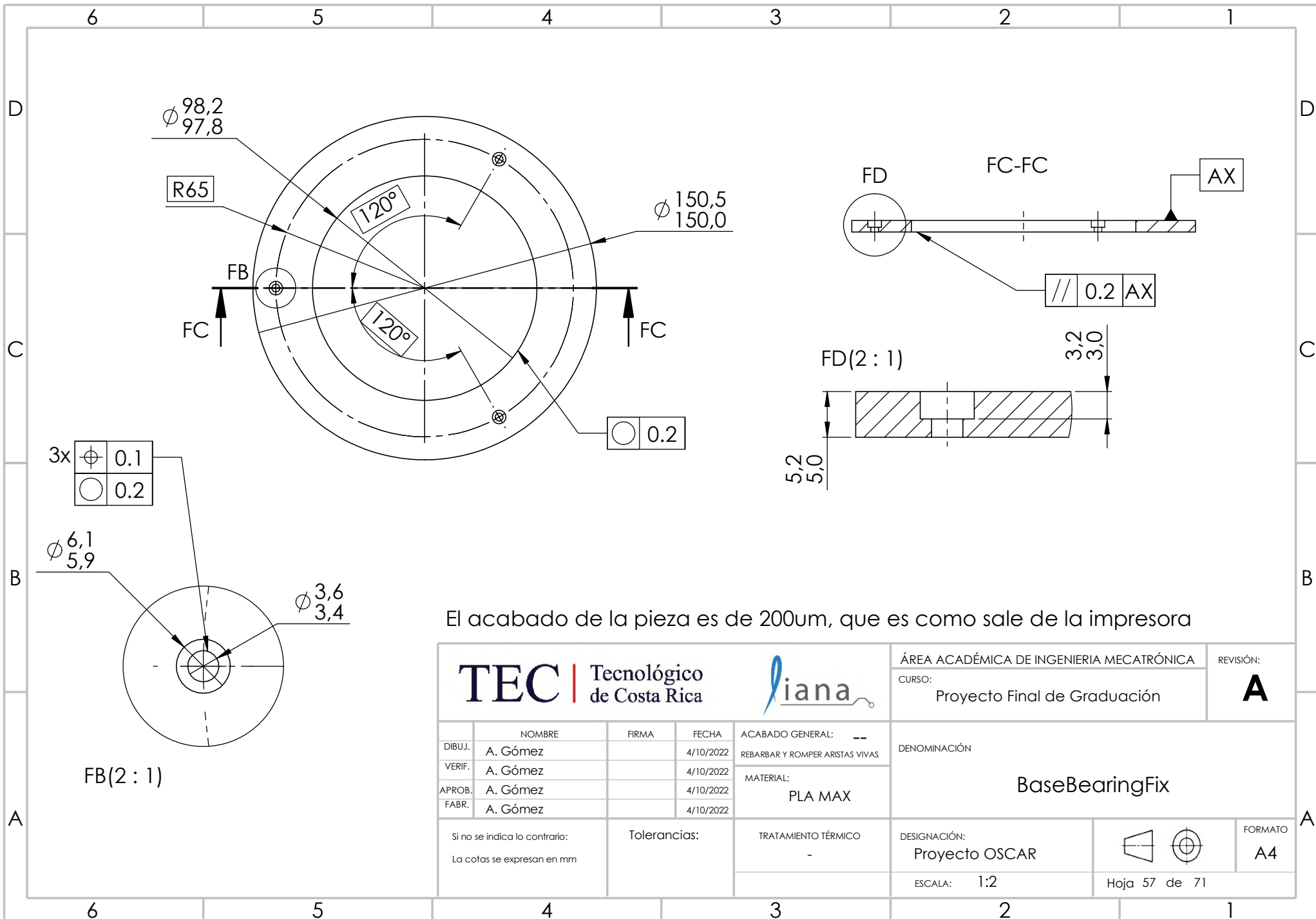
El acabado de la pieza es de 200um, que es como sale de la impresora

TEC Tecnológico de Costa Rica				ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERIA MECATRÓNICA		REVISIÓN: A
CURSO: Proyecto Final de Graduación				DENOMINACIÓN: CoverRingBolt		
DIBUJ. A. Gómez VERIF. A. Gómez APROB. A. Gómez FABR. A. Gómez	FIRMA 	FECHA 4/10/2022 4/10/2022 4/10/2022 4/10/2022	ACABADO GENERAL: -- REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	MATERIAL: PLA MAX		
Si no se indica lo contrario: La cotas se expresan en mm		Tolerancias:	TRATAMIENTO TÉRMICO: -	DESIGNACIÓN: Proyecto OSCAR	ESCALA: 2:1	Hoja 55 de 71
FORMATO: A4				Hoja 55 de 71		



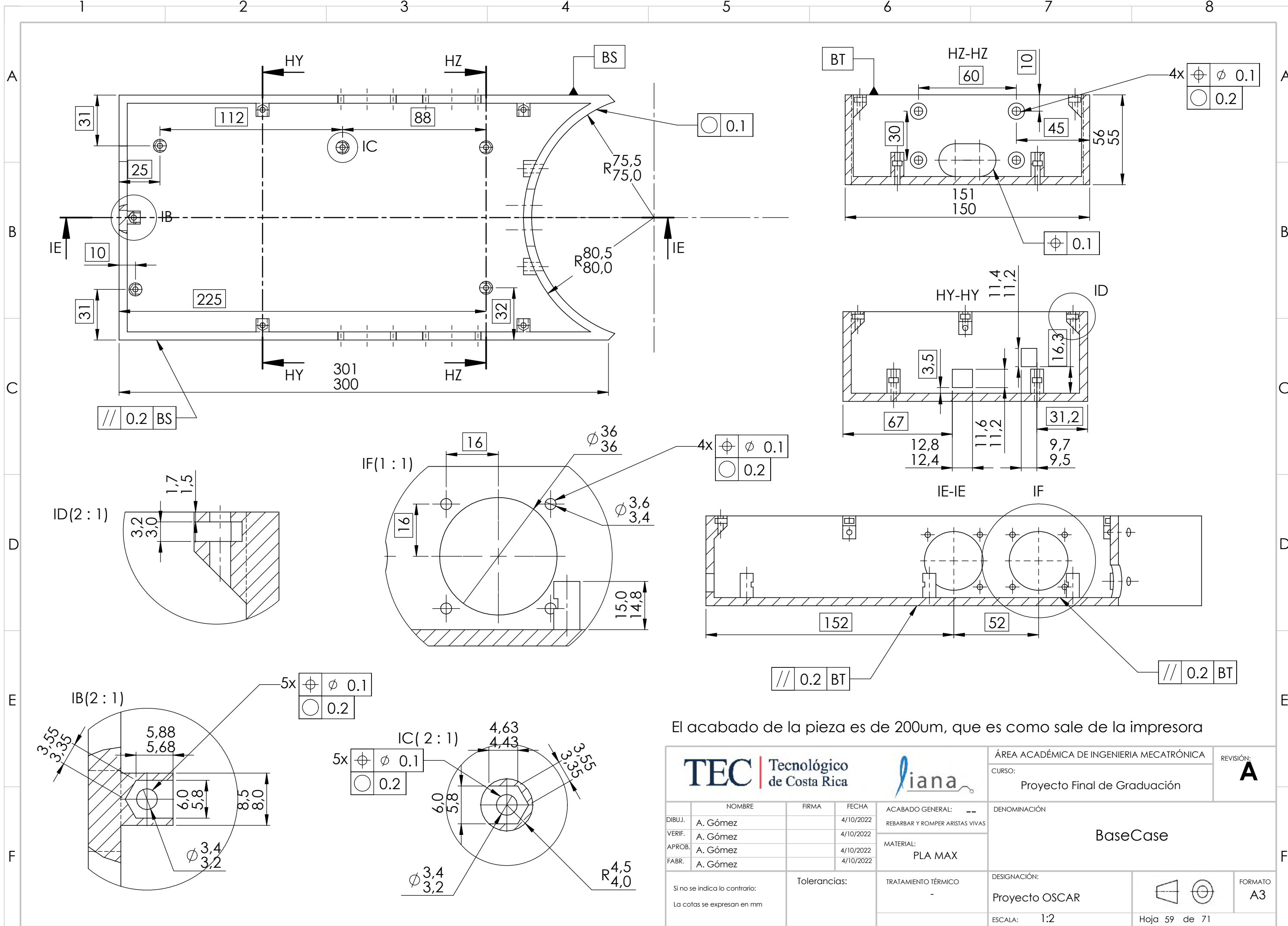
El acabado de la pieza es de 200um, que es como sale de la impresora

TEC Tecnológico de Costa Rica				ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERIA MECATRÓNICA		REVISIÓN: A
CURSO: Proyecto Final de Graduación				DENOMINACIÓN: CoverRingNut		
DIBUJ. A. Gómez VERIF. A. Gómez APROB. A. Gómez FABR. A. Gómez	FIRMA 	FECHA 4/10/2022 4/10/2022 4/10/2022 4/10/2022	ACABADO GENERAL: -- REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS MATERIAL: PLA MAX	DESIGNACIÓN: Proyecto OSCAR ESCALA: 2:1	FORMATO: A4	Hoja 56 de 71
Si no se indica lo contrario: La cotas se expresan en mm		Tolerancias:		TRATAMIENTO TÉRMICO: -		



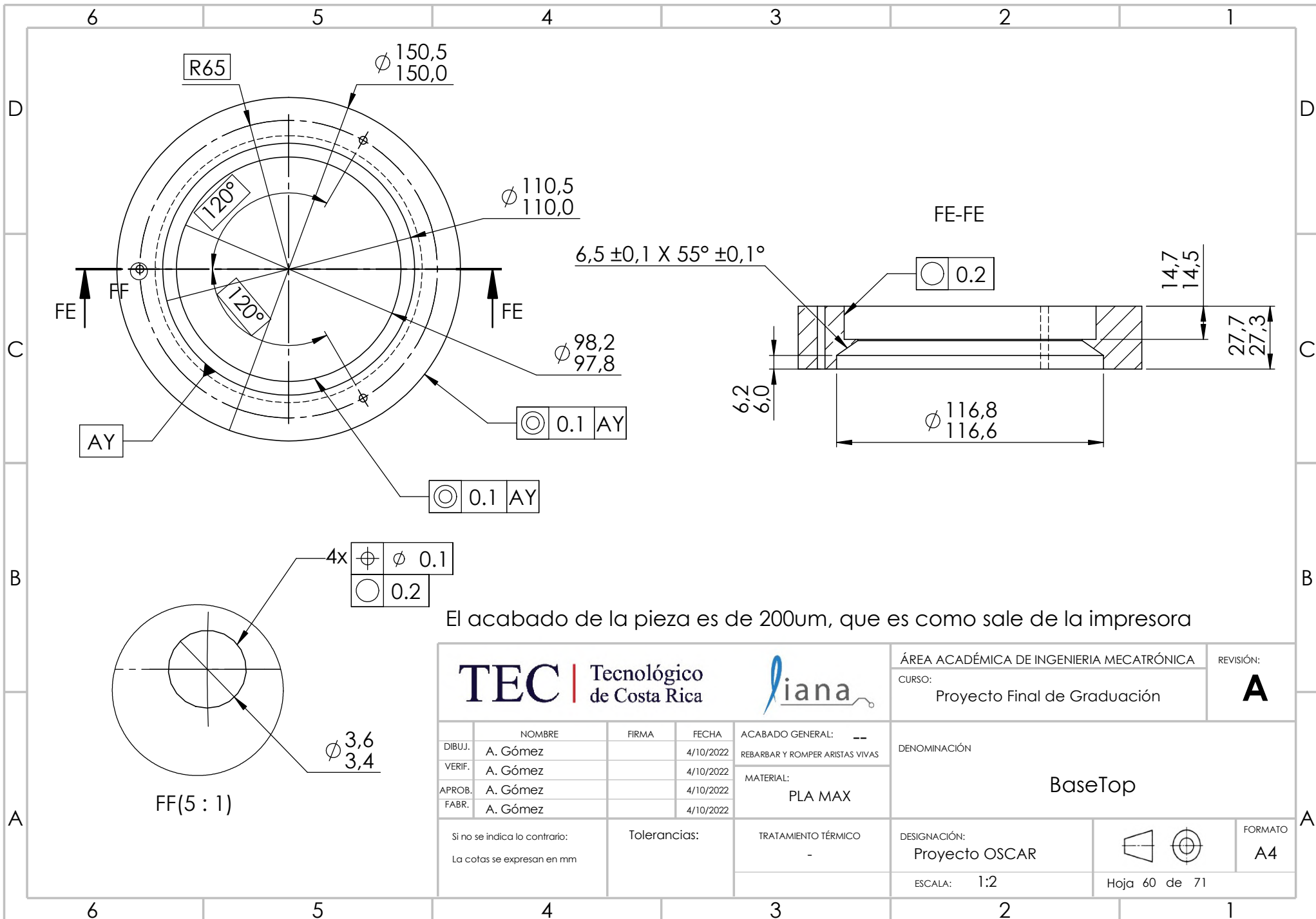
El acabado de la pieza es de 200um, que es como sale de la impresora

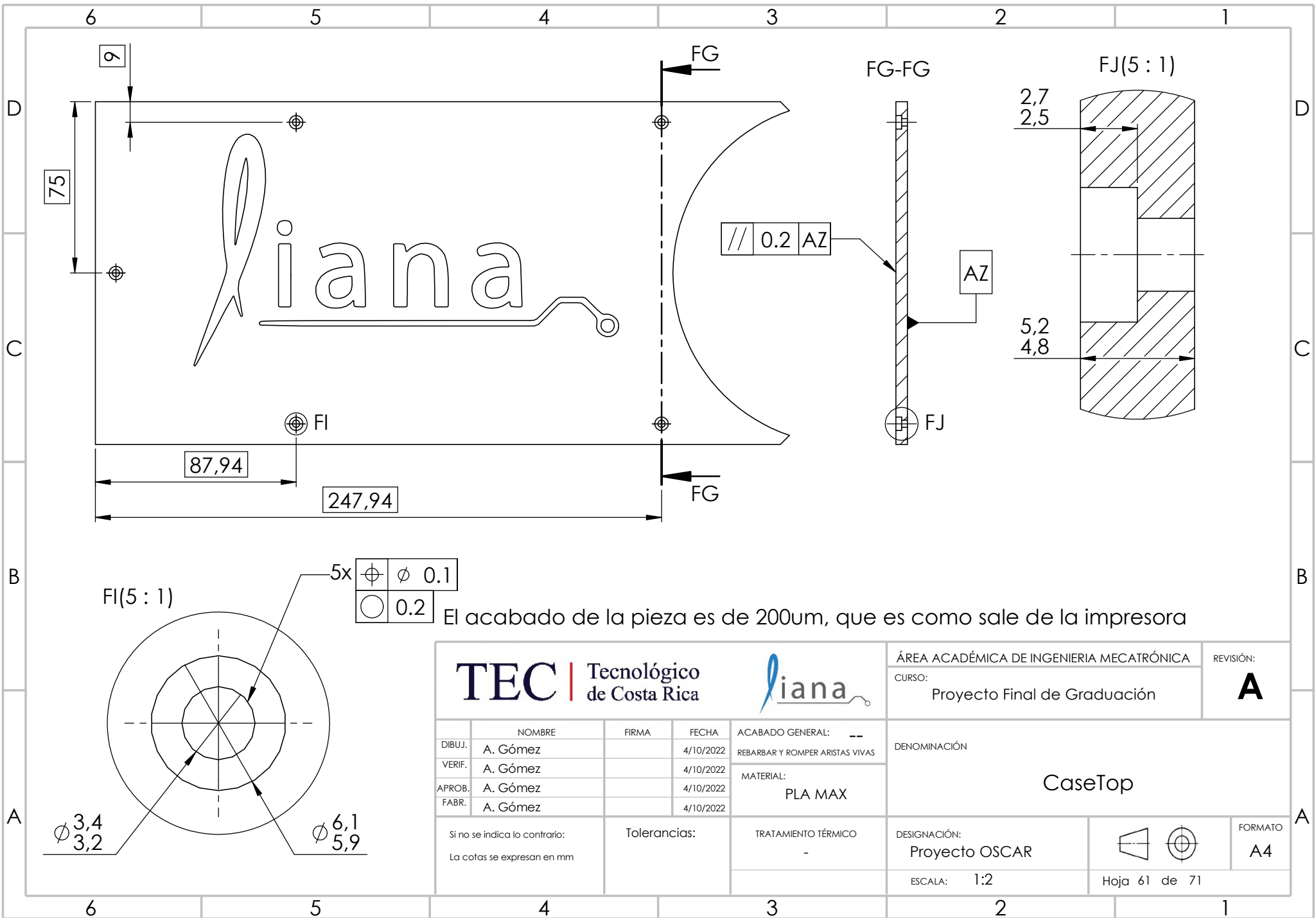
TEC Tecnológico de Costa Rica				Área Académica de Ingeniería Mecatrónica		REVISIÓN: A	
CURSO: Proyecto Final de Graduación				DENOMINACIÓN: BaseBearingFix			
DIBUJ. A. Gómez		FIRMA		FECHA: 4/10/2022		ACABADO GENERAL: --	
VERIF. A. Gómez		FIRMA		FECHA: 4/10/2022		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	
APROB. A. Gómez		FIRMA		FECHA: 4/10/2022		MATERIAL: PLA MAX	
FABR. A. Gómez		FIRMA		FECHA: 4/10/2022		TRATAMIENTO TÉRMICO: -	
Si no se indica lo contrario: La cotas se expresan en mm				Tolerancias:		DESIGNACIÓN: Proyecto OSCAR	
ESCALA: 1:2				Hoja 57 de 71		FORMATO: A4	

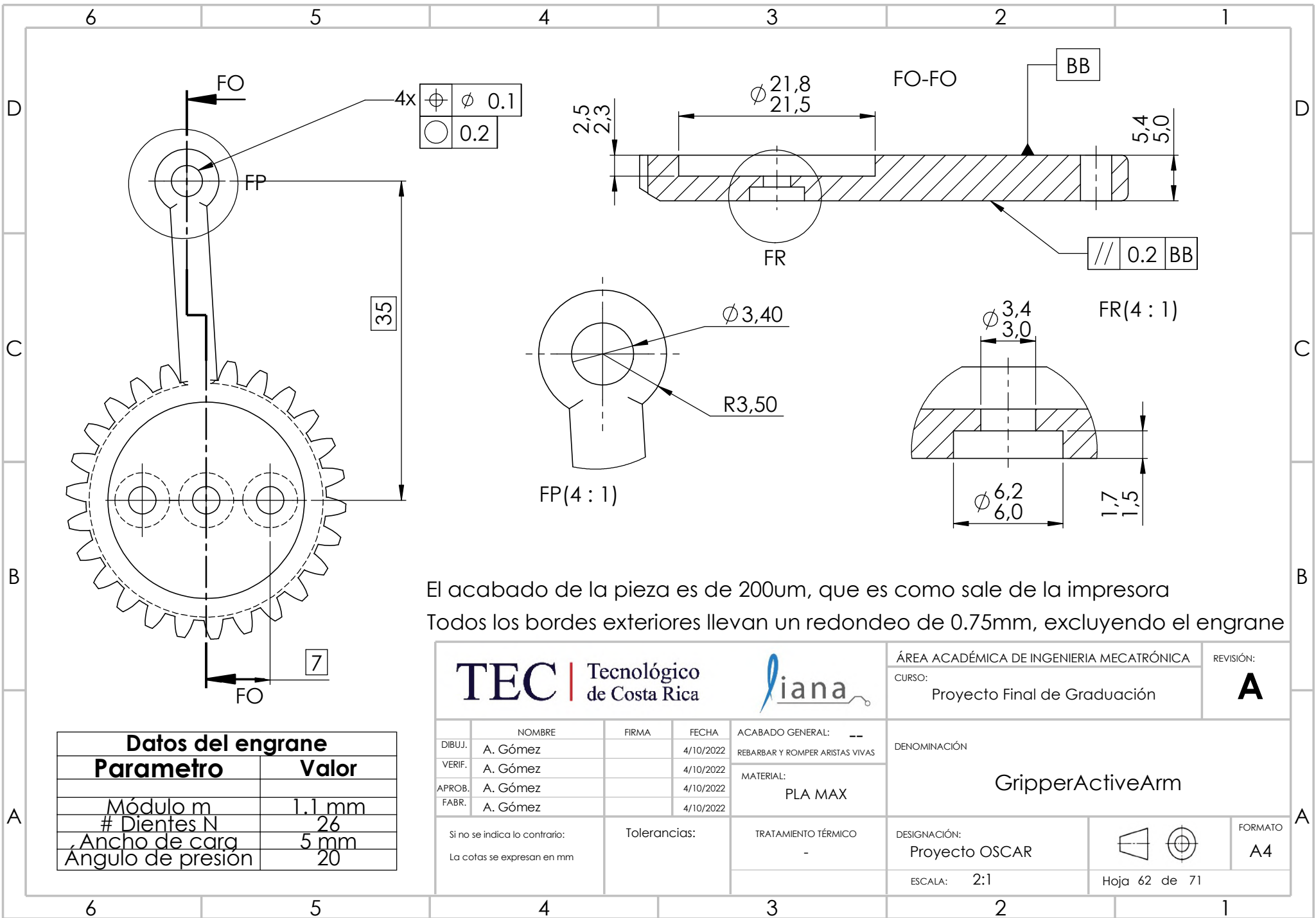


El acabado de la pieza es de 200um, que es como sale de la impresora

TEC Tecnológico de Costa Rica				liana		ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERIA MECATRÓNICA		REVISIÓN: A	
						CURSO: Proyecto Final de Graduación			
DIBUJ. A. Gómez		FIRMA		FECHA 4/10/2022		DENOMINACIÓN BaseCase			
VERIF. A. Gómez				4/10/2022					
APROB. A. Gómez				4/10/2022					
FABR. A. Gómez				4/10/2022					
Si no se indica lo contrario: La cotas se expresan en mm		Tolerancias:		ACABADO GENERAL: -- REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		MATERIAL: PLA MAX		DESIGNACIÓN: Proyecto OSCAR	
						TRATAMIENTO TÉRMICO -		ESCALA: 1:2	
								Hoja 59 de 71	
								FORMATO A3	



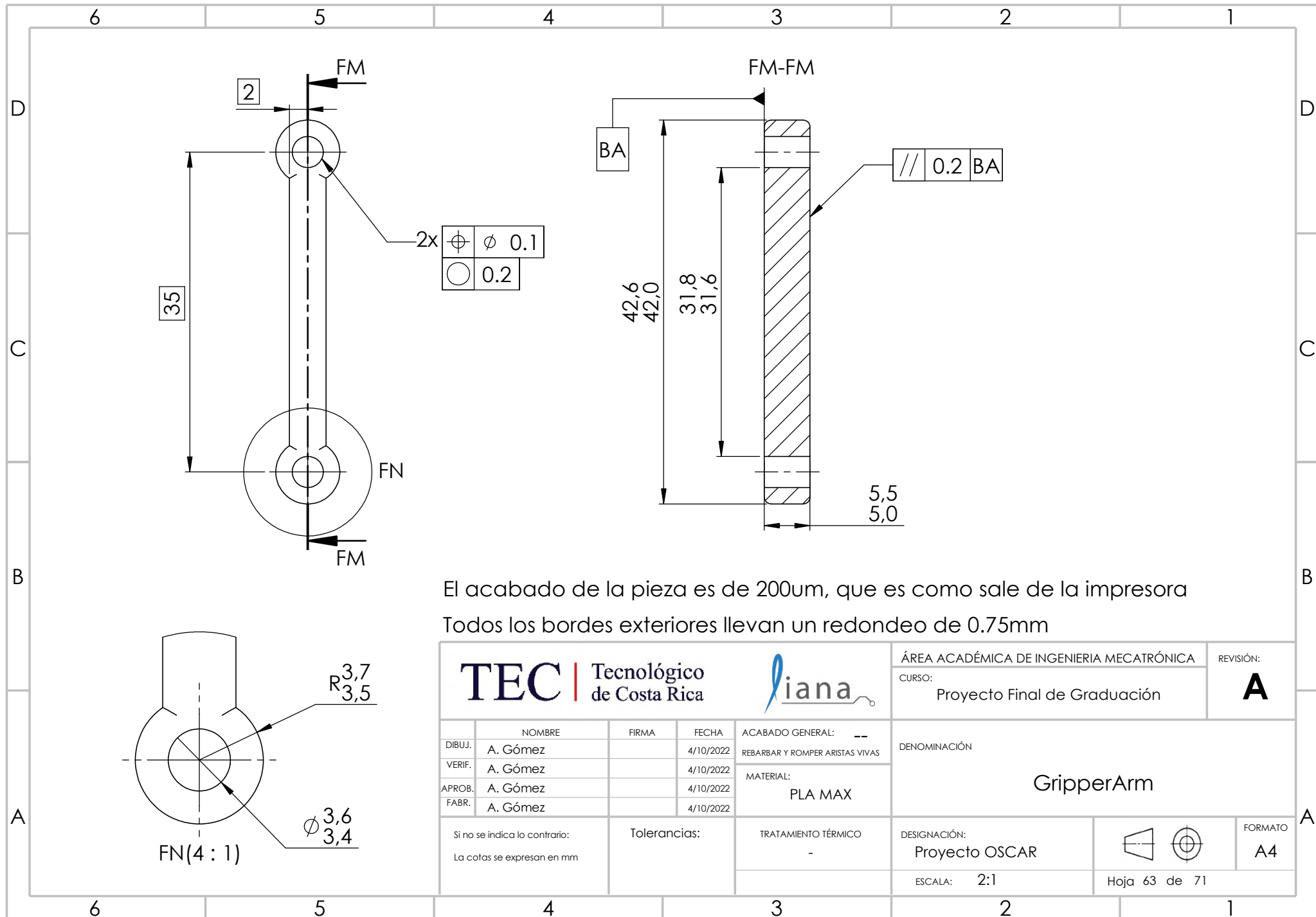


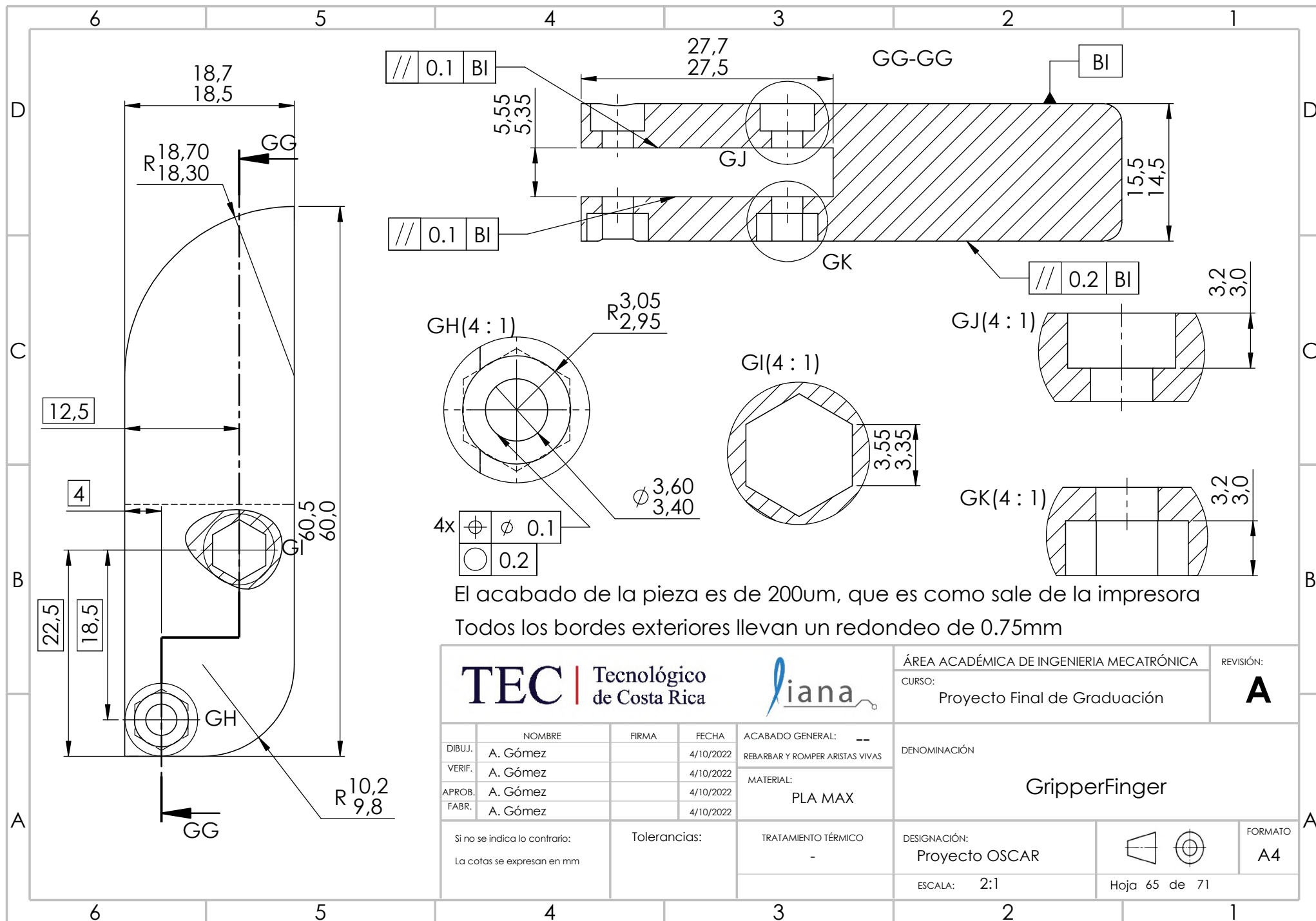


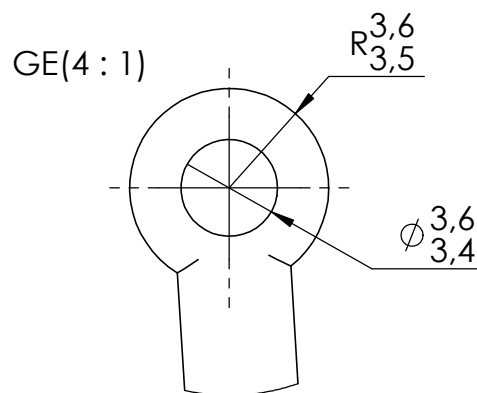
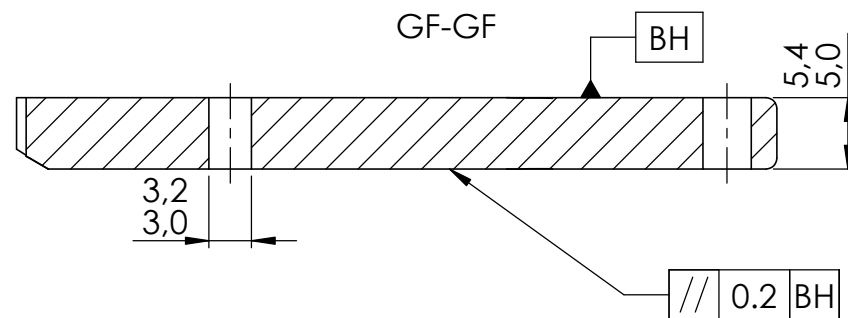
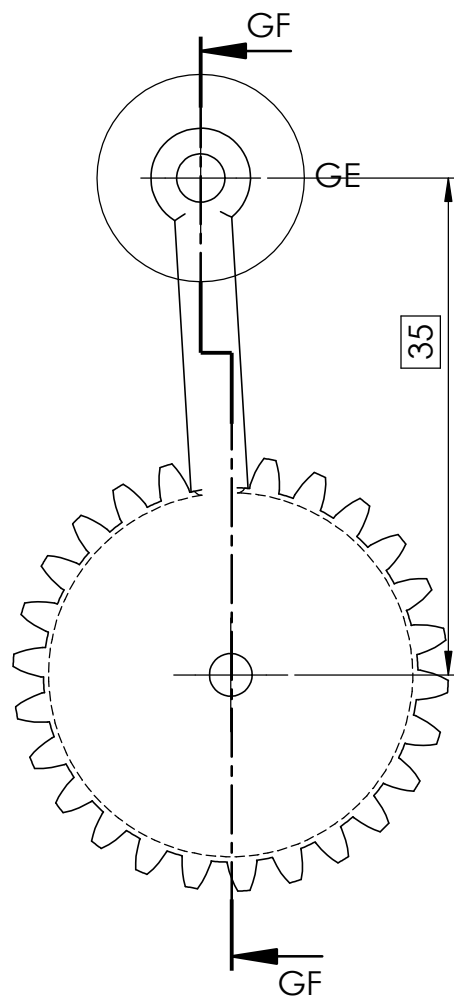
El acabado de la pieza es de 200um, que es como sale de la impresora
Todos los bordes exteriores llevan un redondeo de 0.75mm, excluyendo el engrane

Datos del engrane	
Parametro	Valor
Módulo m	1.1 mm
# Dientes N	26
Ancho de cara	5 mm
Ángulo de presión	20

TEC Tecnológico de Costa Rica					ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERIA MECATRÓNICA		REVISIÓN:
					CURSO: Proyecto Final de Graduación		A
DIBUJ. A. Gómez		FIRMA		FECHA 4/10/2022		DENOMINACIÓN GripperActiveArm	
VERIF. A. Gómez				4/10/2022			
APROB. A. Gómez				4/10/2022			
FABR. A. Gómez				4/10/2022			
ACABADO GENERAL: --				REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS			
MATERIAL: PLA MAX							
Si no se indica lo contrario: La cotas se expresan en mm		Tolerancias:		TRATAMIENTO TÉRMICO -		DESIGNACIÓN: Proyecto OSCAR	
						ESCALA: 2:1	
						Hoja 62 de 71	
						FORMATO A4	



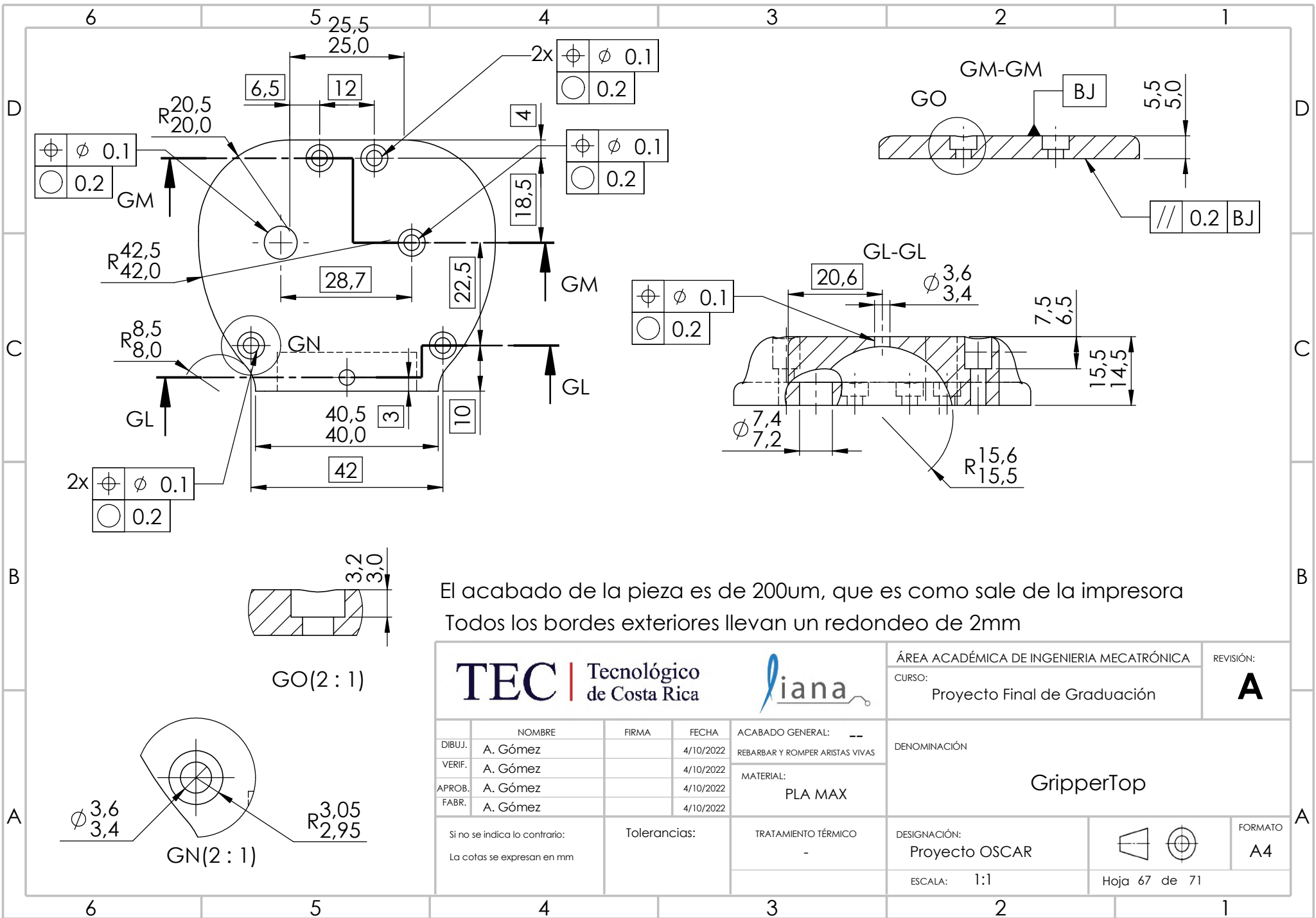




El acabado de la pieza es de 200um, que es como sale de la impresora
 Todos los bordes exteriores llevan un redondeo de 0.75mm, excluyendo el engrane

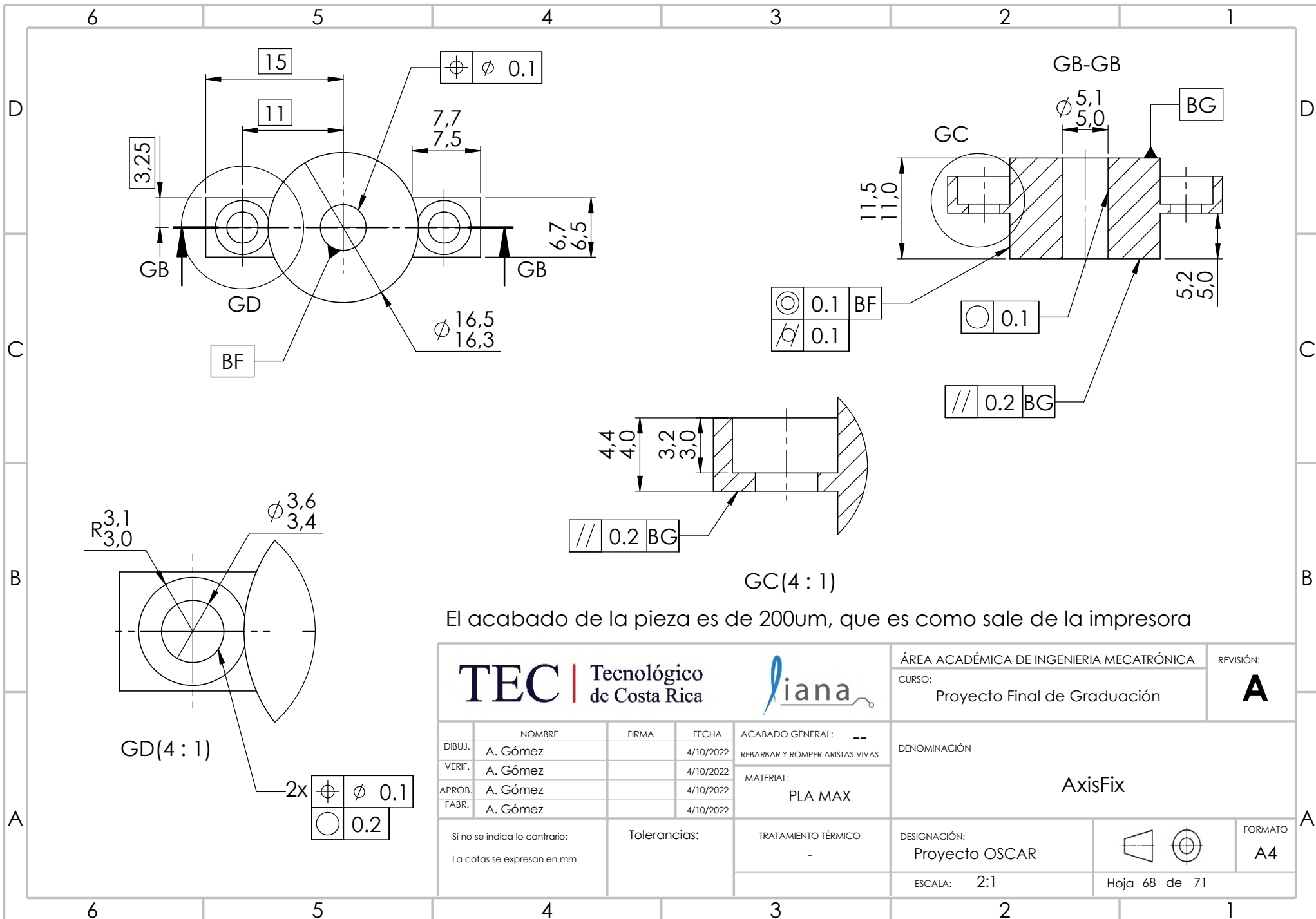
Datos del engrane	
Parametro	Valor
Módulo m	1.1 mm
# Dientes N	26
Ancho de carga	5 mm
Angulo de presión	20

TEC Tecnológico de Costa Rica				iana		ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERIA MECATRÓNICA		REVISIÓN:	
DIBUJ. A. Gómez				FIRMA		FECHA 4/10/2022		CURSO: Proyecto Final de Graduación	
VERIF. A. Gómez				ACABADO GENERAL: --		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		DENOMINACIÓN	
APROB. A. Gómez				MATERIAL:		PLA MAX		GripperPassiveArm	
FABR. A. Gómez				TRATAMIENTO TÉRMICO		-		DESIGNACIÓN: Proyecto OSCAR	
Si no se indica lo contrario: La cotas se expresan en mm				Tolerancias:		ESCALA: 2:1		Hoja 66 de 71	
FORMATO				A4		A		A	

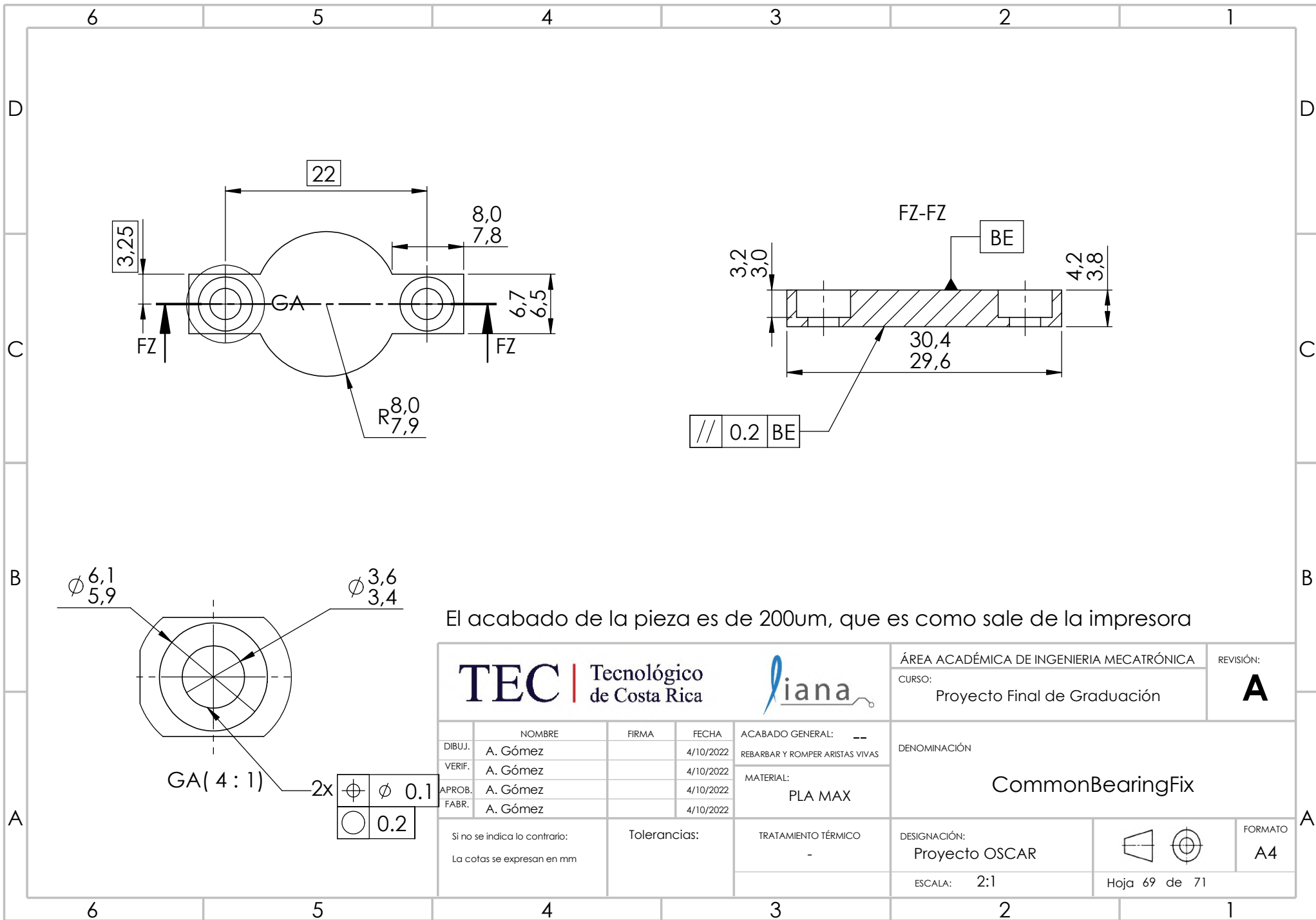


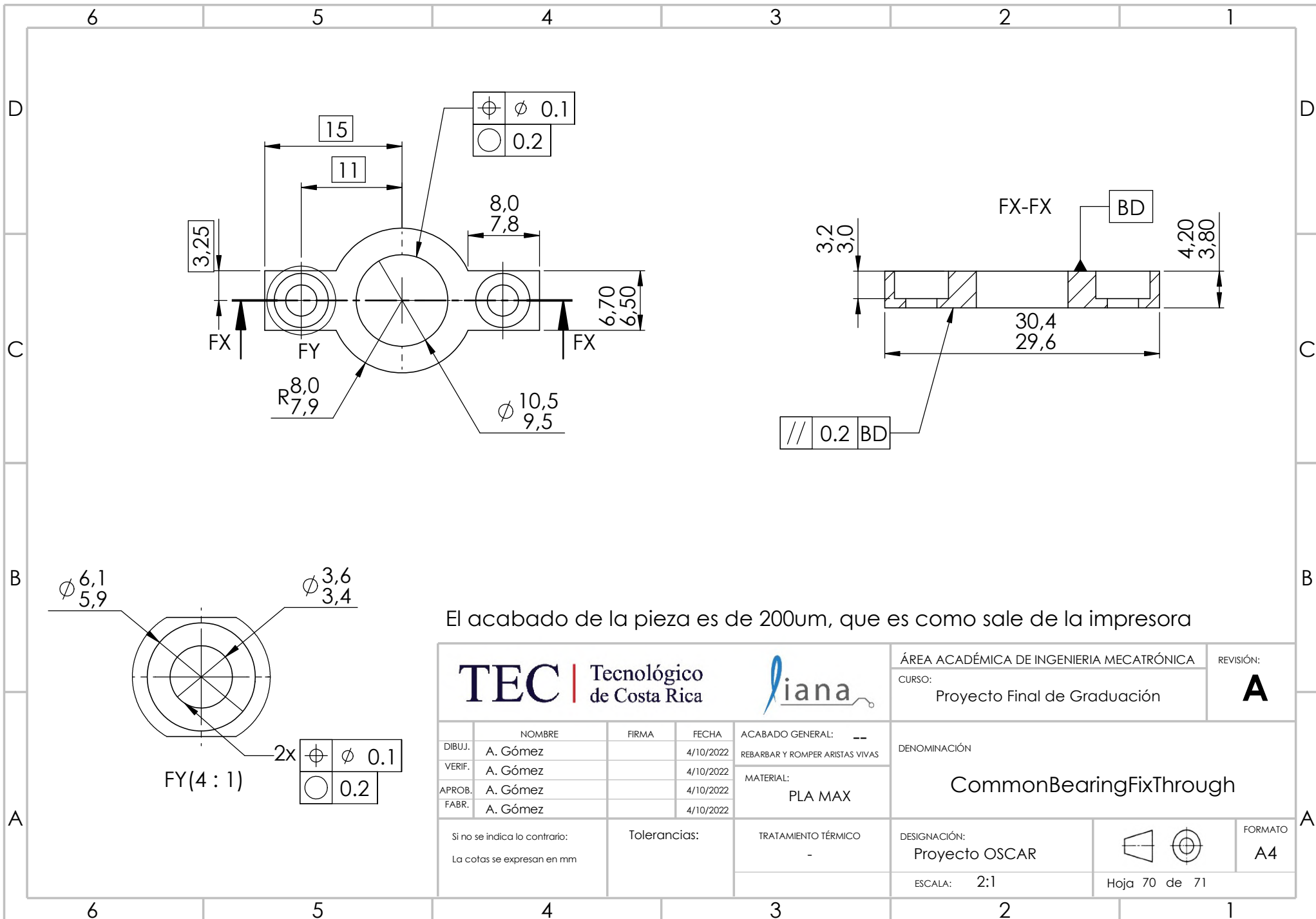
El acabado de la pieza es de 200um, que es como sale de la impresora
Todos los bordes exteriores llevan un redondeo de 2mm

TEC Tecnológico de Costa Rica				ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERIA MECATRÓNICA		REVISIÓN:
				CURSO:		A
				Proyecto Final de Graduación		
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA	ACABADO GENERAL: --	DENOMINACIÓN	
VERIF.	A. Gómez		4/10/2022	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		
APROB.	A. Gómez		4/10/2022	MATERIAL:		
FABR.	A. Gómez		4/10/2022	PLA MAX		
Si no se indica lo contrario: La cotas se expresan en mm		Tolerancias:		TRATAMIENTO TÉRMICO	DESIGNACIÓN:	FORMATO
				-	Proyecto OSCAR	A4
					ESCALA: 1:1	Hoja 67 de 71



TEC Tecnológico de Costa Rica				Área Académica de Ingeniería Mecatrónica		REVISIÓN: A
CURSO: Proyecto Final de Graduación				DENOMINACIÓN: AxisFix		
DIBUJ. A. Gómez VERIF. A. Gómez APROB. A. Gómez FABR. A. Gómez	FIRMA 	FECHA 4/10/2022 4/10/2022 4/10/2022 4/10/2022	ACABADO GENERAL: -- REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS MATERIAL: PLA MAX	DESIGNACIÓN: Proyecto OSCAR ESCALA: 2:1		
Si no se indica lo contrario: La cotas se expresan en mm		Tolerancias:	TRATAMIENTO TÉRMICO: -	FORMATO: A4 Hoja 68 de 71		





El acabado de la pieza es de 200um, que es como sale de la impresora

TEC Tecnológico de Costa Rica				Área Académica de Ingeniería Mecatrónica		REVISIÓN: A
CURSO: Proyecto Final de Graduación				DENOMINACIÓN: CommonBearingFixThrough		
DIBUJ. A. Gómez		FIRMA		ACABADO GENERAL: --		FORMATO: A4
VERIF. A. Gómez		FECHA: 4/10/2022		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		
APROB. A. Gómez		FECHA: 4/10/2022		MATERIAL: PLA MAX		
FABR. A. Gómez		FECHA: 4/10/2022		TRATAMIENTO TÉRMICO: -		
Si no se indica lo contrario: La cotas se expresan en mm		Tolerancias:		DESIGNACIÓN: Proyecto OSCAR		ESCALA: 2:1
Hoja 70 de 71						Hoja 70 de 71

