



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES**

Grado en Ingeniería Mecánica

**DESARROLLO DE UNA CABEZA ROBOTICA
CON ALTA CAPACIDAD GESTUAL**

Autor:

Román Ortega, Juan Antonio

Tutor:

Zalama Casanova, Eduardo

Ingeniería de Sistemas y Automática

Valladolid, Noviembre de 2019.

RESUMEN

El proyecto trata sobre el diseño y elaboración de una cabeza robótica con alta capacidad gestual. Su ejecución integra tareas de investigación sobre otros proyectos similares, estudio de diferentes tipos de soluciones mecánicas para los movimientos, diseño CAD empleando Catia V5 de todas las piezas funcionales y estéticas, programación para el control del movimiento, impresión 3D del conjunto de piezas diseñadas y montaje mecánico y electrónico.

El modelo real contiene en su interior un sistema de proyección que muestra sobre una máscara translúcida un rostro humano, lográndose a su vez, mediante los mecanismos, una elevada similitud con los movimientos de una persona. Para la ejecución de los giros se emplean dos servomotores, con los cuales se logra un control posicional elevado. De esta forma se logra una fuerte interacción humano-robot.

ABSTRACT

The project is about the design and elaboration of a robotic head with high gestural capacity. Its execution integrates research tasks on other similar projects, study of different types of mechanical solutions for movements, CAD design using Catia V5 of all functional and aesthetic parts, programming for motion control, 3D printing of the set of designed parts and mechanical and electronic assembly.

The real model contains in its interior a projection system that shows a human face on a translucent mask, achieving in turn, with the mechanisms, a high similarity with the movements of a person. For the execution of the turns two servo motors are used, with which a high positional control is achieved. In this way a strong human-robot interaction is achieved.

PALABRAS CLAVE

Robot, mecanismo, diseño, impresión 3D, antropomorfismo.

KEYWORDS

Robot, mechanism, design, 3D print, anthropomorphism.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE TABLAS	11
GLOSARIO DE TÉRMINOS Y ABREVIATURAS	13
CAPÍTULO 1: JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS DEL PROYECTO	15
JUSTIFICACIÓN	15
OBJETIVOS.....	16
FASES DEL TFG	17
CAPÍTULO 2: INTRODUCCIÓN AL MODELADO DE SISTEMAS ROBÓTICOS.....	19
CONCEPTO DE ROBOT SOCIAL.....	19
ROBOTS SOCIALES MÁS CONOCIDOS.....	20
ROBOT SOCIAL-AVATAR FÍSICO PROYECTADO EN LUZ.....	24
CAPÍTULO 3: EXPLICACIÓN DEL SISTEMA A CONSTRUIR.....	29
CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DEL SISTEMA A CONSTRUIR.....	29
DISEÑOS PREVIOS.....	31
SELECCIÓN DEL DISEÑO FINAL	36
CAPÍTULO 4: PARAMETRIZACIÓN Y DISEÑO DEL MODELO	37
CARACTERÍSTICAS DEL CONJUNTO	37
CÁLCULOS CINEMÁTICOS Y ESTRUCTURALES DEL MODELO.....	38
DISEÑO Y CARACTERÍSTICAS DE LAS DIFERENTES PIEZAS	50
SUBENSAMBLAJE MECANISMO SUPERIOR O PRINCIPAL.....	51
SUBENSAMBLAJE INTERMEDIO O DE CONEXIÓN.....	66
SUBENSAMBLAJE INFERIOR O TORSO	70
SUBENSAMBLAJE CASCO	84
CAPÍTULO 5: ELEMENTOS ELECTRÓNICOS Y SU CONFIGURACIÓN	97
CONFIGURACIÓN COMPONENTES ELECTRÓNICOS EN EL MODELO	97
CÓDIGO DE CONTROL DE LA CABEZA ROBÓTICA.....	101
CAPÍTULO 6: DESARROLLO Y MONTAJE DEL MODELO REAL	111
CONFIGURACIÓN E IMPRESORAS 3D EMPLEADAS.....	111
CARACTERÍSTICAS DEL MONTAJE	120
CAPÍTULO 7: RESULTADOS OBTENIDOS	139
CAPÍTULO 8: ESTUDIO ECONÓMICO.....	143
CAPÍTULO 9: CONCLUSIONES.....	149
LOGROS ALCANZADOS	149

LÍNEAS FUTURAS DE DESARROLLO	150
APLICACIONES PRÁCTICAS	151
CAPÍTULO 10: BIBLIOGRAFÍA	153
ANEXO 1: DISEÑO DEL CASCO	157
ANEXO 2: PLANOS.....	179

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Robot humanoide ASIMO.....	21
Figura 2. Robot humanoide Sophia.	22
Figura 3. Robot humanoide Nao.	23
Figura 4. Robot humanoide Furhat.....	24
Figura 5. Robot Furhat ayudando en una entrevista laboral.	25
Figura 6. Robot Furhat en el aeropuerto de Frankfurt, Alemania.	26
Figura 7. Robot Furhat realizando una preselección médica.	26
Figura 8. Robot Furhat dando vida animando un personaje de ficción.....	27
Figura 9. Libertades aproximadas de una cabeza humana [7].....	29
Figura 10. Movimientos genéricos de una cabeza humana [7].	30
Figura 11. Giros básicos de una cabeza humana [8].....	30
Figura 12. Valores aproximados de rangos, velocidades y aceleraciones [7].	31
Figura 13. Robot plano paralelo.	32
Figura 14. Diseño base [9] y modelo 3D del robot plano paralelo.....	32
Figura 15. Mecanismo pan-tilt.	33
Figura 16. Diseño base [9] y modelo 3D del mecanismo pan-tilt.	33
Figura 17. Modelo 3D del mecanismo compuesto por tres servomotores.	34
Figura 18. Sistema mecánico robot Furhat.....	35
Figura 19. Montaje cabeza robot Furhat.	35
Figura 20. Ejemplo del mecanismo de cuadrilátero articulado [10].....	40
Figura 21. Mecanismo de cuadrilátero articulado sobre el modelo 3D.....	40
Figura 22. Gráfico relación angular servomotor superior-cabeza.	43
Figura 23. Despiece del conjunto de piezas del subensamblaje superior.	53
Figura 24. Subensamblaje superior completo.	54
Figura 25. Modelo Catia V5 pieza soporte cuello.	55
Figura 26. Árbol de operaciones de la pieza soporte cuello.	56
Figura 27. Modelo Catia V5 pieza sección cabeza intermedia.....	57
Figura 28. Árbol de operaciones de la pieza sección cabeza intermedia.....	58
Figura 29. Modelo Catia V5 pieza soporte proyector y servomotor.....	59
Figura 30. Árbol de operaciones de la pieza soporte proyector y servomotor.	60
Figura 31. Modelo Catia V5 pieza biela.....	61
Figura 32. Árbol de operaciones de la pieza biela.....	61
Figura 33. Modelo Catia V5 pieza manivela.	62
Figura 34. Árbol de operaciones de la pieza manivela	62
Figura 35. Modelo Catia V5 pieza eje posterior servomotor.....	63
Figura 36. Árbol de operaciones de la pieza eje posterior servomotor.....	63
Figura 37. Modelos Catia V5 piezas soporte lente.	64
Figura 38. Árboles de operaciones de las piezas soporte lente.	64
Figura 39. Modelo Catia V5 recubrimiento cuello.	65
Figura 40. Árbol de operaciones de la pieza recubrimiento cuello.	65
Figura 41. Despiece del conjunto de piezas del subensamblaje intermedio..	67
Figura 42. Subensamblaje intermedio completo.	67
Figura 43. Modelo Catia V5 pieza anclaje superior al eje central.	68
Figura 44. Árbol de operaciones de la pieza anclaje superior al eje central..	68

Figura 45. Modelo Catia V5 pieza anclaje inferior al eje central.	69
Figura 46. Árbol de operaciones de la pieza anclaje inferior al eje central. ...	69
Figura 47. Despiece del conjunto de piezas del subensamblaje inferior.....	71
Figura 48. Subensamblaje inferior completo.	72
Figura 49. Modelo Catia V5 pieza base modelo torso.	73
Figura 50. Árbol de operaciones de la pieza base modelo torso.	74
Figura 51. Modelo Catia V5 pieza elemento lateral torso.	75
Figura 52. Árbol de operaciones del elemento lateral torso.	75
Figura 53. Modelo Catia V5 pieza elemento central torso.	76
Figura 54. Árbol de operaciones del elemento central torso.	76
Figura 55. Modelo Catia V5 pieza elemento de sujeción.	77
Figura 56. Árbol de operaciones del elemento de sujeción.	77
Figura 57. Modelo Catia V5 pieza soporte servomotor inferior.	78
Figura 58. Árbol de operaciones de la pieza soporte servomotor inferior.	78
Figura 59. Superficie inferior hueco servomotor.....	79
Figura 60. Árbol de operaciones de superficies soporte servomotor inferior.	79
Figura 61. Modelo Catia V5 pieza soporte de rodamiento inferior.	80
Figura 62. Árbol de operaciones de la pieza soporte de rodamiento inferior.	80
Figura 63. Modelo Catia V5 pieza soporte electrónica.	81
Figura 64. Árbol de operaciones de la pieza soporte electrónica.	81
Figura 65. Modelo Catia V5 pieza recubrimiento torso.	82
Figura 66. Árbol de operaciones de la pieza recubrimiento torso.	83
Figura 67. Despiece del conjunto de piezas del subensamblaje casco.....	85
Figura 68. Subensamblaje casco completo.	86
Figura 69. Modelo Catia V5 pieza casco.....	87
Figura 70. Árbol de operaciones del conjunto de piezas del casco.....	88
Figura 71. Sets de operaciones de superficies del casco.	89
Figura 72. Publicaciones piezas casco.	89
Figura 73. Árbol de operaciones para generar la pieza máscara.	90
Figura 74. Modelo Catia V5 pieza máscara.....	91
Figura 75. Modelo Catia V5 pieza orejera izquierda.	92
Figura 76. Modelo Catia V5 pieza orejera derecha.....	92
Figura 77. Modelo Catia V5 pieza saliente superior cámara.	93
Figura 78. Modelo Catia V5 pieza saliente posterior.	94
Figura 79. Modelo Catia V5 pieza soporte cámara.....	95
Figura 80. Modelo Catia V5 piezas elementos inferiores de sujeción.	96
Figura 81. Servomotor modelo HS-M7990TH.	97
Figura 82. Microprocesador modelo Esp32 DevKit v1.	100
Figura 83. Diagrama de flujo del programa de control, parte 1.....	102
Figura 84. Diagrama de flujo del programa de control, parte 2.....	103
Figura 85. Conjuntos de parámetros que afectan a la impresión 3D.	112
Figura 86. Parámetros de calidad en las impresiones 3D.	112
Figura 87. Parámetros de perímetros en las impresiones 3D.	113
Figura 88. Parámetros de relleno en las impresiones 3D.....	113
Figura 89. Parámetros de material en las impresiones 3D.	114

Figura 90. Parámetros de velocidad en las impresiones 3D.....	114
Figura 91. Parámetros de desplazamiento en las impresiones 3D.....	115
Figura 92. Parámetros de refrigeración en las impresiones 3D.....	115
Figura 93. Parámetros de soporte en las impresiones 3D.....	116
Figura 94. Parámetros de adherencia en las impresiones 3D.....	116
Figura 95. Parámetros de extrusión doble en las impresiones 3D.....	117
Figura 96. Impresora 3D Ultimaker 3 Extended.....	118
Figura 97. Impresora 3D Ender 3.....	119
Figura 98. Fotografía pieza manivela.....	121
Figura 99. Fotografía piezas biela.....	122
Figura 100. Fotografía pieza sección cabeza intermedia.....	122
Figura 101. Fotografía pieza soporte servomotor y proyector.....	123
Figura 102. Fotografía pieza soporte cuello.....	123
Figura 103. Fotografía montaje completo del subensamblaje superior.....	124
Figura 104. Fotografía elemento superior de anclaje al eje.....	125
Figura 105. Fotografía elemento inferior de anclaje al eje.....	125
Figura 106. Fotografía elemento central torso.....	126
Figura 107. Fotografía elemento lateral torso.....	126
Figura 108. Fotografía soporte de rodamiento inferior.....	127
Figura 109. Fotografía soporte servomotor inferior.....	127
Figura 110. Fotografía elementos de sujeción y base modelo torso.....	128
Figura 111. Fotografía montaje subensamblajes inferior e intermedio.....	128
Figura 112. Fotografía máscara.....	129
Figura 113. Fotografía reborde máscara.....	130
Figura 114. Fotografía rebordes máscara y máscara.....	130
Figura 115. Fotografía orejeras.....	131
Figura 116. Fotografía saliente superior hueca.....	131
Figura 117. Fotografía saliente posterior.....	131
Figura 118. Vistas principales pieza principal del subensamblaje casco. ...	132
Figura 119. Fotografías subensamblaje casco a excepción de la máscara.....	133
Figura 120. Fotografía mecanismo completo ensamblado.....	134
Figura 121. Fotografías vistas mecanismo completo ensamblado.....	135
Figura 122. Fotografía cabeza robótica completa ensamblada.....	136
Figura 123. Fotografías vistas cabeza robótica completa ensamblada.....	137
Figura 124. Imágenes diseño completo en Catia V5.....	139
Figura 125. Montaje real completo.....	140
Figura 126. Posiciones límite de giro panorámico.....	140
Figura 127. Posiciones límite de giro de cabeceo.....	141
Figura 128. Posiciones límite de giro conjuntas.....	141
Figura 129. Resultado montaje con la máscara proyectada.....	142
Figura 130. Sketch Catia V5 de la sección facial frontal.....	157
Figura 131. Sketch Catia V5 de la sección lateral del casco.....	158
Figura 132. Suavizado del sketch sección lateral cráneo.....	159
Figura 133. Sketch Catia V5 guía inferior de seguimiento.....	159
Figura 134. Sketch Catia V5 guía intermedia de seguimiento.....	160

Figura 135. Configuración multisección superficie exterior del casco.	160
Figura 136. Superficie auxiliar de tangencia obtenida por una extrusión	161
Figura 137. Guías, secciones y superficies auxiliares multisección.....	161
Figura 138. Unión de las superficies exteriores del casco.....	162
Figura 139. Primera parte sólida del casco.....	162
Figura 140. Configuración superficie paralela a la exterior del casco.	163
Figura 141. Recortes para obtener la superficie de rebordes frontales.	163
Figura 142. Recortes para obtener la superficie de rebordes inferiores.	164
Figura 143. Unión de los rebordes frontal e inferior.....	164
Figura 144. Generación del reborde sólido.	165
Figura 145. Sketch que contiene la forma de la cresta superior del casco.	165
Figura 146. Generación de la superficie superior de la cresta.....	166
Figura 147. Generación de la superficie izquierda de la cresta.	166
Figura 148. Generación de la superficie derecha de la cresta.	167
Figura 149. Unión de las tres superficies de la cresta.	167
Figura 150. Recorte con el que se consigue la cresta final.	168
Figura 151. Resultado final de la superficie cresta superior.	168
Figura 152. Adhesión al casco del sólido cresta.....	169
Figura 153. Sketch de generación del saliente posterior.	170
Figura 154. Obtención de la superficie posterior del saliente.	170
Figura 155. Superficies laterales del saliente posterior.....	171
Figura 156. Obtención de la superficie anterior del saliente posterior.....	171
Figura 157. Recorte de la superficie lateral derecha saliente posterior.....	172
Figura 158. Recorte de la superficie lateral izquierda saliente posterior.	172
Figura 159. Obtención de la cara superior del saliente posterior.	173
Figura 160. Obtención de la cara inferior del saliente posterior.	173
Figura 161. Unión de las superficies del saliente posterior.....	174
Figura 162. Sólido obtenido tras la solidificación del saliente posterior.	174
Figura 163. Geometría básica para la obtención de la orejera derecha.....	175
Figura 164. Obtención de la esfera base de la orejera.	176
Figura 165. Recorte de la parte lateral de la esfera.....	176
Figura 166. Obtención de superficie en el hueco recortado.....	177
Figura 167. Unión de la superficie plana y la esférica.	177
Figura 168. Obtención de la superficie final de la oreja.....	178

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos geométricos mecanismo superior.	42
Tabla 2. Incógnitas geométricas mecanismo superior.....	42
Tabla 3. Posiciones relativas servomotor superior-cabeza.....	44
Tabla 4. Piezas subensamblaje superior.....	51
Tabla 5. Piezas subensamblaje intermedio.	66
Tabla 6. Piezas subensamblaje inferior.	70
Tabla 7. Piezas subensamblaje casco.....	84
Tabla 8. Especificaciones de rendimiento de los servomotores.	97
Tabla 9. Especificaciones físicas servomotores.	98
Tabla 10. Especificaciones técnicas del microprocesador.....	99
Tabla 11. Resumen características impresora Ultimaker 3 Extended.....	118
Tabla 12. Resumen características impresora Ender 3.....	119
Tabla 13. Variables de los costes de impresión.	144
Tabla 14. Resumen del conjunto de amortizaciones.	145
Tabla 15. Distribución temporal del trabajo.	146
Tabla 16. Elementos adquiridos y su valor económico.....	147

GLOSARIO DE TÉRMINOS Y ABREVIATURAS

Antropomorfismo: atribución de cualidades o rasgos humanos a un animal o cosa.

Mecatrónica: área multidisciplinar que incorpora elementos de la electrónica, la mecánica, la robótica, los sistemas de computación y la manufactura.

IA: inteligencia artificial.

PLA: poliácido láctico.

ABS: poli (Acrilonitrilo Butadieno Estireno).

PVA: acetato de polivinilo.

TPU: poliuretano termoplástico.

GDL: grados de libertad.

CAPÍTULO 1: JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS DEL PROYECTO

JUSTIFICACIÓN

A día de hoy, se está buscando el desarrollo de sistemas de robótica de interacción humana realista para su implementación en muchos y diferentes ámbitos como pueden ser la medicina, la enseñanza, la atención personal, etc. Estos sistemas suelen denominarse robots sociales, definiéndose éstos como aquellos que consiguen comunicarse con los seres humanos y que son capaces de comprenderles hasta el punto de llegar a relacionarse con ellos.

La interacción entre humanos y robots es un carácter básico para muchos de los robots llevados a cabo en la actualidad, ésta depende de una amplia cantidad de características pero, sin lugar a dudas, la más importante es el antropomorfismo. Esta cualidad de muchos de los robots actuales facilita la interacción con los mismos al estar dotados de expresiones semejantes a las del ser humano.

Para lograr la apariencia antropomórfica se han seguido diferentes caminos a lo largo de los últimos años, siendo los más importantes las cabezas mecatrónicas, los androides, los avatares en pantalla y los avatares físicos proyectados en luz.

En cuanto a las cabezas mecatrónicas, se trata de proyectos con un elevado coste en desarrollo debido a la complejidad de los sistemas mecánicos y electrónicos a introducir en un espacio muy reducido. La reproducibilidad de los movimientos faciales humanos es muy alta, los cuales se consiguen gracias a la gran cantidad de grados de libertad que poseen.

Los androides, a su vez, son robots que se asemejan a los seres humanos en aspecto y movimientos, además suelen poseer alguna función característica propia de los mismos.

Los avatares por pantalla, en contraste a todo lo anterior, poseen un coste de desarrollo inferior, eliminando del proceso cualquier tipo de elemento físico de montaje. Consiguen un alto rango expresivo gracias a la eliminación de las limitaciones físicas de los anteriores. Su mayor defecto es la falta de antropomorfismo, ya que la interacción se realiza directamente con una pantalla.

Y, por último, se encuentran los avatares físicos proyectados en luz, con un coste de desarrollo ligeramente superior al avatar por pantalla pero inferior a los dos primeros. Como ocurre con el caso anterior, logran una gran cantidad

de expresiones al eliminar la limitación física que suponen los mecanismos faciales. La notable diferencia positiva que tiene, es el antropomorfismo que se logra gracias a la parte física del modelo y a la imagen facial proyectada.

La cabeza robótica de este proyecto entra dentro de esta última categoría, dividiéndose el proyecto completo en dos ramas y siendo éstas el diseño mecánico y la elaboración del avatar a proyectar, las cuales deben colaborar en conjunto para lograr la mayor similitud con respecto a una cabeza humana y, por lo tanto, lograr una elevada interacción humano-máquina. Esta interacción se lleva a cabo gracias a las altas capacidades gestuales que producen este tipo de robots al mezclar los sistemas faciales de proyección con los movimientos mecánicos propios de una cabeza humana.

OBJETIVOS

El objetivo principal del proyecto consiste en desarrollar una cabeza robótica con alta capacidad gestual, empleando para ello la herramienta de diseño Catia V5 con la que se llevará a cabo el diseño de los diferentes componentes estructurales y estéticos. El resultado final debe incluir la adaptación de un sistema de proyección, con el cometido de que muestre sobre una pantalla translúcida las expresiones faciales de una persona humana, siendo esta idea una de las más importantes a tener en cuenta en la etapa de diseño.

El primer paso importante, y uno de los principales subobjetivos a completar, consiste en escoger un sistema mecánico que satisfaga las principales necesidades del proyecto, siendo éstas la obtención de un mecanismo que permita la generación de unos movimientos lo más similares a los que posee una cabeza humana y la implementación del sistema completo de proyección. Para ello se debe llevar a cabo un estudio cinemático y dimensional, además de una caracterización de las diferentes singularidades de cada diseño antes de escoger el que sería el modelo final a ejecutar.

La selección del proyector a emplear debe preceder a la de la elaboración final del diseño, ya que la distancia y configuración de proyección afecta en gran medida al mismo. Es por ello que se trata de una prioridad la búsqueda de un proyector del menor tamaño y peso posibles, además de un estudio del método de proyección, siendo la distancia mínima una variable limitante característica de este proyecto. Dentro de este subobjetivo, la selección del proyector queda de mano de la otra rama del proyecto dedicada a la elaboración del avatar a proyectar.

En el momento en el que se determina el tipo de diseño y modelo del mecanismo, la siguiente meta es la de conseguir una apariencia lo más

antropomórfica posible para el conjunto, finalidad que recae sobre las piezas exteriores estéticas a diseñar del modelo.

Una vez obtenido el mecanismo completo y la estructuración del mismo, se deben determinar los requerimientos funcionales que muestran el tipo de sistemas de impulsión a implementar, dependiendo éste principalmente del peso y del estudio cinemático ya realizado. La elección de los mismos indicará a su vez la electrónica de control necesaria para manejar el sistema, pudiéndose ya en este punto llevar a cabo la determinación de los elementos necesarios.

Para la elaboración física de la cabeza robótica se debe buscar realizar el modelo final de la forma más resistente, económica y práctica posible, por lo que se analizará el conjunto de piezas con el objetivo de elegir la solución más viable.

Por último, una vez se han alcanzado el resto de metas propuestas, el objetivo final será el de desarrollar un programa de control del mecanismo, el cual respete todos los apartados anteriores, como sería por ejemplo el estudio cinemático. De esta forma la obtención correcta del resto de subobjetivos haría posible en este punto analizar la meta inicial o propósito del proyecto.

FASES DEL TFG

A continuación se describen los diferentes capítulos en los que se encuentra dividido el proyecto, definiendo los temas principales tratados en cada uno de ellos.

El primer capítulo es este mismo, denominado justificación y objetivos del proyecto, donde se define por qué se ha decidido realizar el proyecto, los objetivos a conseguir tras su elaboración y un escueto resumen de las partes del mismo.

El segundo, denominado introducción, se encarga de introducir al lector en el ámbito de los robots humanoides y de dar ciertas características de las que se hablará en capítulos posteriores.

Una vez determinada la introducción al proyecto comienzan los capítulos en los cuales se describe el desarrollo de éste, comenzando con la explicación del sistema a construir donde se definen las principales características deseadas, la búsqueda de información y la elaboración de los primeros diseños.

Con la selección del diseño final a elaborar, en el siguiente apartado se define la elaboración del mismo, determinando el número de piezas y los pasos

seguidos para la obtención de cada una de ellas, así como el conjunto principal de cálculos cinemáticos y dinámicos que influyen en dicho diseño.

En el capítulo siguiente se tratan los temas relacionados con las conexiones electrónicas necesarias para llevar a cabo el control del sistema, así como de los programas de control utilizados.

En este punto, con el diseño completamente elaborado, se encuentra un apartado donde se mencionan diferentes características de la elaboración del modelo real, indicando entre otras cosas las características de impresión a partir de las que se generan las piezas del mismo.

El siguiente capítulo consiste en discusión de los resultados obtenidos, donde se mencionan las características de las pruebas llevadas a cabo, discutiéndose dichos ensayos y los resultados obtenidos.

Es importante también la elaboración de un pequeño estudio económico que dé unos valores del coste de producción del sistema, así como una aproximación de los costes en investigación.

Ya para terminar, es imprescindible la determinación de las conclusiones obtenidas tras la realización y observación del resultado obtenido, definiéndose en este apartado la conformidad con dicho resultado.

En el apartado de bibliografía se incluyen las diferentes fuentes utilizadas para llevar a cabo el proyecto.

Por último se encuentran los anexos, incluyéndose en este caso dos bloques. En el anexo 1 se lleva a cabo una guía, lo más escueta posible, del proceso de generación de las piezas del casco y, en el anexo 2, se encuentran los planos de cada una de las piezas de las que se compone el modelo real.

CAPÍTULO 2: INTRODUCCIÓN AL MODELADO DE SISTEMAS ROBÓTICOS

CONCEPTO DE ROBOT SOCIAL

Se define a los robots sociales [1] como aquellos que interactúan con los humanos, empleando formas de actuación y normas sociales. Estos pertenecen a una rama de la robótica que tiene aproximadamente tres décadas de historia, pero que posee una gran rama evolutiva ya que ha sido de las más desarrolladas en los últimos años.

Para lograr que la interacción humano-robot sea lo más óptima los robots, por norma general, son de apariencia humanoide, además de que suelen poseer ciertas habilidades que les acercan a la apariencia humana y que son incluidas dentro de la denominada inteligencia social, tales como la capacidad de gesticular, la de reconocer las emociones de una persona, etc.

El proceso de diseño de este tipo de robots es de especial dificultad, debido principalmente a la necesidad que poseen de interpretar correctamente su entorno para responder adecuadamente a los estímulos que le rodean. Los diferentes mecanismos de respuesta son algunos como: la gesticulación, la respuesta por voz, el cambio de expresión facial, etc.

El estudio sobre este tipo de robots se lleva a cabo con diferentes propósitos, como podría ser enseñar una determinada tarea de forma repetitiva. Los robots sociales son de gran utilidad para llevar a cabo acciones como ésta, ya que poseen la capacidad de atraer la atención de la población con sus características humanoides, además muchos ya tienen el suficiente número de sensores como para interactuar a un alto nivel para resolver algún problema que surgiese durante la tarea.

En la actualidad, existen multitud de funciones de ayuda a la humanidad que los robots sociales serían capaces de ejecutar. Muchos de los robots humanoides de cuerpo entero, se desarrollan con propósitos como los de ayudar a las personas con necesidades especiales que no pueden valerse por sí mismos. Al dotar a este tipo de robots de habilidades sociales no solo será un simple mecanismo para lograr un determinado propósito, sino que podría llegar a ser incluso un compañero.

Otro de los enfoques que se le da a estas investigaciones está relacionado con la interacción humano-robot ya existente en gran parte de las empresas de hoy en día, la cual podría mejorar con la incorporación de algunas de estas

características, sin necesidad siquiera de que el robot posea aspecto humanoide.

Cada vez este tipo de robots son más de actualidad, hasta el punto que ya se mencionan términos como “robot hogareño” que hacen referencia a los robots que cualquiera podría tener en su casa para colaborar en las tareas cotidianas.

El amplio campo de aplicación llega hasta temas educativos, ya que en diversas partes del mundo ya se emplean robots para ayudar a la educación de los más jóvenes.

ROBOTS SOCIALES MÁS CONOCIDOS

En la actualidad, muchos proyectos de investigación y desarrollo están dedicados al campo del modelado de sistemas robóticos, estudiando diferentes ámbitos como pueden ser los sistemas de seguimiento, de equilibrio, de movimientos, de interacción, etc. Existen muy pocos casos en los que se trate de englobar todos y cada uno de los campos dentro del mismo modelo robótico debido a que, ya por separado, cada uno de los ámbitos de estudio ya supone un importante reto de mejora.

Dentro de todos estos robots hay una gran variedad de modelos con diferentes formas y utilidades, es por ello que a partir de este momento la explicación se centrará en robots antropomórficos diseñados con el objetivo de interactuar de forma activa con los humanos de su entorno.

Algunos de los sistemas robóticos de este tipo más conocidos en la actualidad son ASIMO [2], Sophia [3] y Robot humanoide Nao [4], aunque también hay otros que han logrado un alto prestigio como es Kenshiro, pero no se hablará de ellos en este proyecto ya que su principal función no es la de interacción directa con los humanos.

A continuación se determinarán las principales características de los sistemas robóticos ya mencionados, haciendo hincapié sobre todo en su funcionalidad y su nivel de interacción humano-robot.

ASIMO [2], acrónimo de *Advanced Step in Innovative Mobility*, es uno de los primeros robots en llegar a un nivel de calidad alto en cuanto a los robots humanoides con movimiento. Desarrollado por la empresa Honda (*Honda Motor Co., Ltd.*) en el año 2000, éste ha llegado a ser el embajador de la misma ya que muestra muchos de los avances que ha llevado a cabo la empresa en diferentes ámbitos. Se muestra una imagen del mismo en la Figura 1. Robot humanoide ASIMO. figura 1.



Figura 1. Robot humanoide ASIMO.

Se desarrolló con el objetivo de ayudar a los humanos en su vida cotidiana y más en especial a personas que carecen de movilidad, aunque también en un futuro servirá para realizar tareas que son extremadamente peligrosas como son la extinción de incendios o la limpieza de escapes tóxicos. Además de las anteriores funcionalidades, se declaró que otra de las intenciones con la creación de ASIMO fue la de inspirar a los jóvenes a dedicarse al estudio de las ciencias.

En sus comienzos, sobre el año 1986, se trató simplemente de un proyecto con el que se pretendía lograr unas piernas que pudieran simular las de una persona humana, logrando habilidades como andar y subir escalones. Más adelante se le implementó la parte superior del cuerpo para mejorar el equilibrio y dotarlo de mayor funcionalidad.

A día de hoy se trata de un robot muy completo que puede caminar, correr a 9 kilómetros por hora y que se encuentra capacitado para mantener el equilibrio, incluso en el caso en que sus dos pies se encuentren despegados del suelo. A su vez, también es capaz de comprender y responder a comandos de voz simples, reconocer la cara de ciertos individuos y, mapeando su entorno y registrando los objetos del mismo, esquivarlos en su movimiento.

Se trata de un robot que ha requerido de más de dos décadas de estudio pero que ha sido de gran utilidad para la evolución de todo el ámbito de robots humanoides, siendo los avances logrados con él también de gran utilidad para muchos de los otros proyectos de la marca Honda.

Sophia [3], robot mostrado en la figura 2, es un robot humanoide creado por la empresa *Hanson Robotics* con la idea de colaborar con las personas en usos

reales como la medicina y la educación, además de su utilidad en la investigación de la inteligencia artificial. Es en este último campo donde más avances se han llevado a cabo, y es por ello que el proyecto de creación de dicho robot se ha centrado en gran medida en este aspecto, logrando grandes avances en la interacción humano-robot. La naturalidad y antropomorfismo que la caracterizan son logrados gracias a tres de sus características principales que son la inteligencia artificial, el procesamiento de datos faciales y la imitación de gestos humanos.



Figura 2. Robot humanoide Sophia.

La IA es la que le permite a Sophia aprender de su entorno, está capacitada para aprender palabras nuevas y emplearlas en futuras conversaciones. Es por esto anterior que se creó, entre otras posibilidades, con la idea de ser una compañera para personas de avanzada edad.

Entre todos los premios y reconocimientos que el robot Sophia ha recibido en los últimos años a continuación se destacarán dos de ellos, ya que ambos dan una idea de la situación de los robots dentro de nuestra sociedad y de la evolución futura de los mismos.

El primero de los premios a comentar es uno de los más recientes que ha recibido, y es que el 27 de febrero de 2019 en la conferencia “*Nueva Era, Nueva Educación y Creando el Futuro*” en Shangai, organizada por *iTutorGroup*, se anunció a Sophia como la nueva embajadora y futura tutora de IA. Allí se comentó la idea de dejar la educación social e inculcación de valores a cargo de los maestros mientras que la IA, como Sophia, se encargaría de la educación en cuanto al aprendizaje de conocimientos. En este aspecto califican a Sophia como un gran elemento para llevar a cabo este proyecto, ya que es capaz de atraer fácilmente la atención con sus características y comportamiento humano.

En segundo lugar, uno de los acontecimientos que más controversia ha traído en el mundo de la robótica desde la existencia de Sophia es que ha sido

reconocida como la primera ciudadana robot del mundo, habiendo recibido en el año 2017 la nacionalidad Saudí, lo cual le da la posibilidad de contraer matrimonio o votar, además de que una desconexión deliberada de su sistema operativo podría ser considerado como un asesinato.

Todo esto hace de Sophia un robot de gran influencia en la actualidad y una base de gran importancia en una amplia variedad de proyectos futuros de investigación que se irán desarrollando en los siguientes años.

En el caso de NAO [4], se trata de un robot humanoide desarrollado por la empresa *Aldebaran Robotics* y el cual se muestra en la figura 3. Éste, al igual que los dos anteriores, es creado con la misma finalidad que es la de conseguir una interacción natural con el ser humano. Siendo el de menores características físicas humanoides de los tres, consigue un gran resultado en su carácter de relación con humanos gracias principalmente a la gestualización.



Figura 3. Robot humanoide Nao.

En cuanto a su utilidad, cabe destacar que de los tres se trata del más usado ya que es ampliamente adquirido para labores tanto de investigación como de enseñanza o educación.

Las características principales que definen a NAO son el reconocimiento de rostros, el reconocimiento de voz automático, la capacidad de dictar en diecinueve idiomas distintos y la alta capacidad gestual gracias a los veinticinco grados de libertad que posee. Éste recaba una gran información del exterior para llevar a cabo las funciones antes mencionadas gracias a que posee dos cámaras, cuatro micrófonos, un telémetro de sonda, dos emisores y receptores IR, una placa inercial, nueve sensores táctiles y ocho sensores de presión que facilitan su interacción.

ROBOT SOCIAL-AVATAR FÍSICO PROYECTADO EN LUZ

Estos robots definidos anteriormente dejan ver claramente la gran evolución que ha sufrido el mundo de la robótica en los últimos años y, más en concreto, en el ámbito de la interacción humano-robot. En el caso de este proyecto en cuestión debemos centrarnos en robots que se engloben en el campo de avatares físicos proyectados en luz. Éste es el caso del robot Furhat [5], sistema robótico del cual se han obtenido gran parte de las ideas del diseño del proyecto.

El robot Furhat, mostrado en la figura 4, es un robot social desarrollado por la empresa *FurhatRobotics*. Fue diseñado con la idea de ser un robot de interacción directa con los humanos, con funciones propias de los mismos como hablar, escuchar, mostrar emociones y mantener el contacto visual como lo haría un ser humano. Sus utilidades son muy amplias, como: crear simulaciones de interacciones cotidianas, enseñar una determinada tarea, servir de ayuda para personas con necesidades especiales o incluso, en un futuro, ser un elemento de uso habitual como lo son las tabletas o los teléfonos móviles, al igual que ocurre en la actualidad con sistemas como Alexa.



Figura 4. Robot humanoide Furhat.

Como avatar físico que es, permite mostrar emociones complejas sin las limitaciones mecánicas que existen en otras tecnologías. Posee una cámara gran angular y micrófonos estéreo que le dan una conciencia situacional para adaptar actuaciones a cada momento en concreto. Añadido a lo anterior también posee tres grados de libertad que le permiten simular movimientos naturales como los de una cabeza humana. Es por este conjunto de características que le dan una gran capacidad gestual que le permite una interacción humano-robot de mucha proximidad.

Para ver la utilidad de este tipo de sistemas robóticos no es necesario desplazarse al futuro ya que en la actualidad existen empresas que están tratando de adaptarles para diferentes puestos de trabajo [6]. El robot Furhat ya se encuentra en algunas como *TNG Group AB*, *Deutsche Bahn*, *Merck*, *Bandai Namco*, *EAI Lab* y colegios como *Stockholms stad*, donde poseen un modelo del robot Furhat en cada una de las aulas.

La empresa *TNG Group AB* se encarga de la contratación de personal, en esta empresa decidieron introducir los modelos de robot Furhat ya que serían los perfectos entrevistadores imparciales, teniendo en cuenta únicamente las características laborales de cada persona. En la figura 5 se observa a un conjunto de robots Tengai ayudando a los seleccionadores en la primera etapa de una entrevista donde las preguntas se basan en habilidades y competencias.



Figura 5. Robot Furhat ayudando en una entrevista laboral.

En cuanto a *Deutsche Bahn*, se trata de una empresa dedicada a los transportes, principalmente al ferrocarril. Ésta posee un contrato de colaboración con *FurhatRobotics* para desarrollar un robot multilingüe capaz de asistir a viajeros en treinta y cinco lenguas distintas en aeropuertos, estaciones, etc. En la figura 6 se puede ver al robot FRAnny atendiendo a los viajeros en el aeropuerto de Frankfurt, Alemania.



Figura 6. Robot Furhat en el aeropuerto de Frankfurt, Alemania.

En la empresa *Merck*, dedicada al cuidado de la salud se decidió implementar modelos del robot Furhat para realizar las preselecciones, lo cual sería posible gracias a la alta capacidad de interacción humano-robot. Esto sería de gran ayuda para los servicios de salud que se encuentran sobrecargados de trabajo. En la figura 7 se observa al robot PETRA realizando la preselección de un paciente.

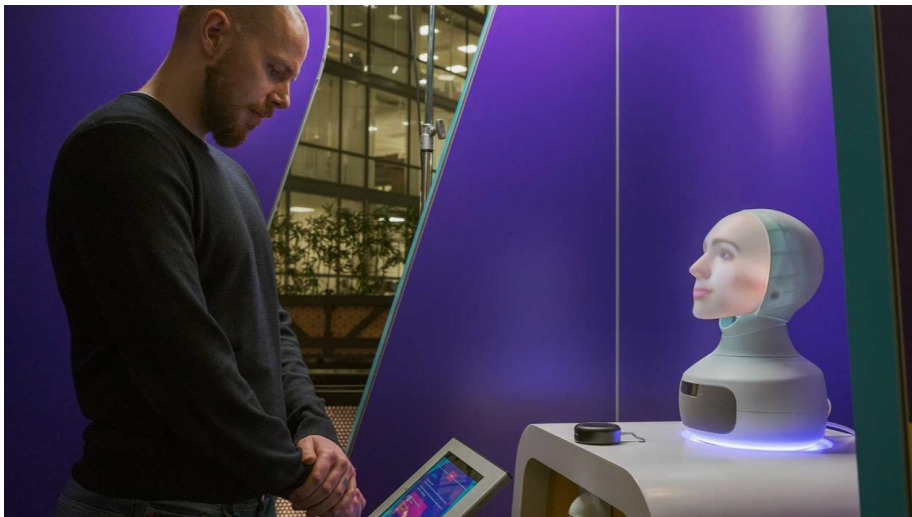


Figura 7. Robot Furhat realizando una preselección médica.

Por último, incluso empresas como *Bandai Namco* dedicadas al entretenimiento están altamente interesadas en este tipo de robótica, a partir de la cual sería posible dar vida a personajes animados. En la figura 8 se puede

ver al robot Furhat animando el personaje de Mirai-Komachi del mundo del anime.



Figura 8. Robot Furhat dando vida animando un personaje de ficción.

Por lo tanto, queda claro que ya en la actualidad existen una gran variedad de utilidades profesionales y/o educativas para este tipo de robots, y es por ello que se espera que en los próximos años la investigación sobre los mismos y el número y tipo de prototipos vaya en aumento.

CAPÍTULO 3: EXPLICACIÓN DEL SISTEMA A CONSTRUIR

CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DEL SISTEMA A CONSTRUIR

Previo a la etapa de diseño, es importante determinar las características principales del sistema a desarrollar, y para ello se comienza elaborando el sistema mecánico al cual posteriormente se acoplarán el resto de elementos.

En primer lugar, se deben determinar los grados de libertad del mecanismo, ya que esto limitará en gran medida el diseño del mismo y depende de ellos el nivel de antropomorfismo del que se dota al sistema, siendo también importante la localización de los centros de giro los cuales pueden hacer que el movimiento se asemeje poco a la realidad si se encuentran en una posición poco propicia.

Se elabora un estudio de varios proyectos de cabezas robóticas [7] [8], buscando el sistema mecánico elegido y su forma de obtención de los grados de libertad deseados. De entre la información estudiada se encuentran la situación y el número de libertades ideales, en la figura 9 y la figura 10 se pueden ver dos ejemplos.

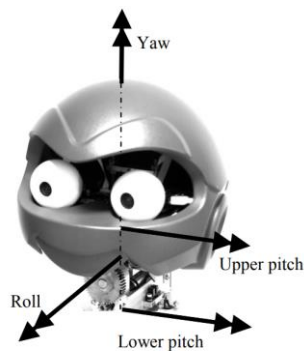


Figura 9. Libertades aproximadas de una cabeza humana [7].

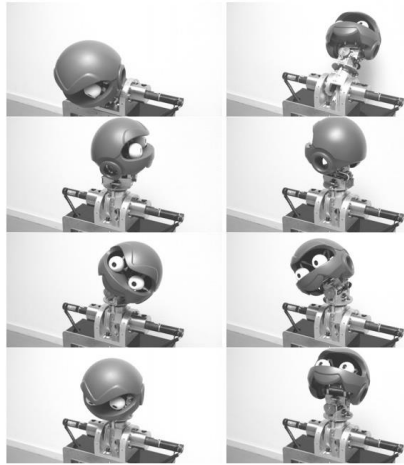


Figura 10. Movimientos genéricos de una cabeza humana [7].

Se pretende obtener un sistema mecánico con un mínimo de tres grados de libertad, definidos como “yaw”, “pitch” y “roll”; “yaw” se refiere al giro panorámico de la cabeza, “pitch” al movimiento de cabeceo y “roll” al lado de la cabeza, contemplados todos ellos en la figura 11.

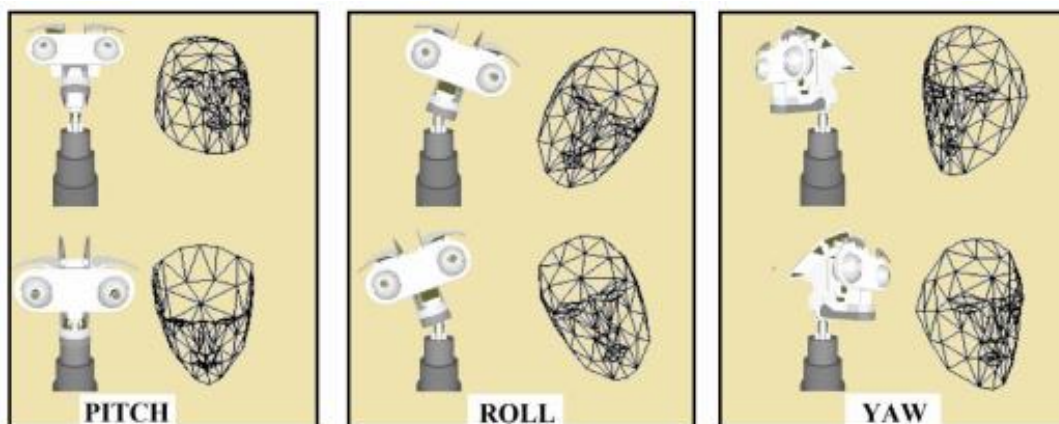


Figura 11. Giros básicos de una cabeza humana [8].

A parte del mecanismo que permita el movimiento del sistema, es muy importante tener en cuenta, en cada uno de los sucesivos pasos de diseño, el hecho de que se debe incluir un sistema de proyección en el interior de la cabeza robótica. Esto supone un problema en cuanto a la utilización de ciertos diseños, en cuanto a la posibilidad de que sus componentes puedan interferir en el haz de proyección, o bien hacer muy difícil la implementación de los soportes del proyector y sus elementos.

La posición idónea del proyector es en la parte interior del cuello, de forma que el haz de proyección sea vertical y dirigido hacia la máscara de proyección mediante la utilización de un espejo. Este sistema permite que la distancia de proyección sea mayor, logrando de esta forma un tamaño de imagen mayor que pueda adaptarse a las dimensiones de máscara deseadas.

Por último, pero no menos importante, se debe tener en cuenta los rangos, velocidades y aceleraciones correspondientes a los distintos movimientos del sistema, ya que se debe intentar que estos se asemejen en lo mayor posible a la realidad. Esto influirá sobre todo en la elección de los mecanismos y la selección de los motores o servomotores necesarios para dar movilidad al mecanismo. Estos valores aparecen reflejados en la figura 12.

TABLE II
MEASURED PERFORMANCE RESULTS

	Range (°)	Velocity max (°/s)	Acceleration max (°/s ²)
Upper pitch	-35-+41	354	3340
Lower pitch	±36	354	3340
Roll	±102	356	3340
Yaw	±49	356	3340

Figura 12. Valores aproximados de rangos, velocidades y aceleraciones [7].

DISEÑOS PREVIOS

A la hora de llevar a cabo los primeros diseños, se comienza por tratar de elaborar un sistema mecánico capaz de producir los tres movimientos propios de una cabeza robótica ya definidos.

Para decidir el mecanismo propicio para el proyecto, se buscan ideas de sistemas robóticos funcionales ya existentes [9], lo cual lleva a la elaboración de cuatro prediseños que, posteriormente, serán llevados a estudio para determinar cuál debe ser el seleccionado.

El primero de los diseños se basa en un sistema plano paralelo, del cual se muestra un ejemplo en la figura 13. Éste se encuentra compuesto por seis juntas universales y tres actuadores lineales. Dicho mecanismo permite una gran variedad de movimientos e inclinaciones con un gran control de posición de la cabeza. La imagen del diseño previo y del modelo en Catia V5 se observa en la figura 14.



Figura 13. Robot plano paralelo.

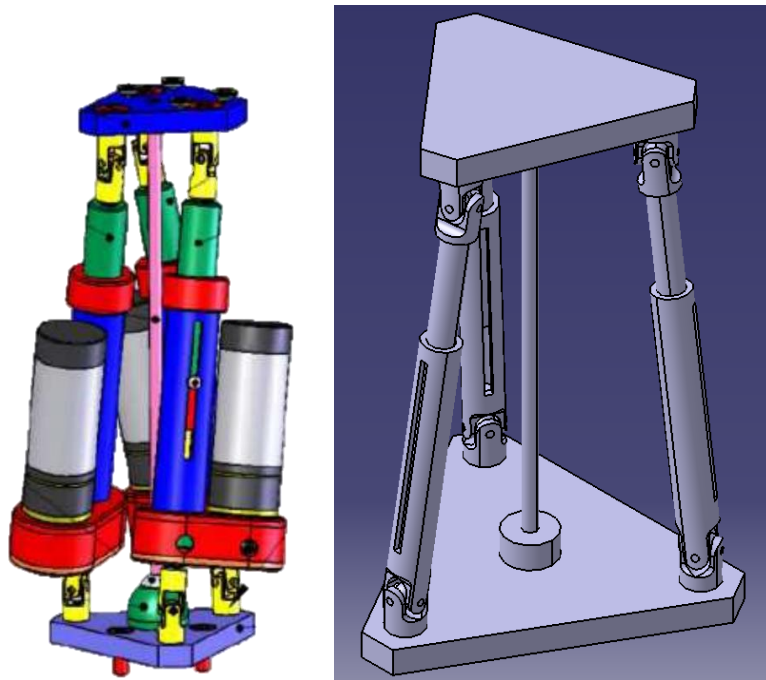


Figura 14. Diseño base [9] y modelo 3D del robot plano paralelo.

Este modelo es desestimado por dos cuestiones, la primera de ellas debido a la utilización de actuadores lineales, ya que éstos son lentos y, por lo tanto, los movimientos de la cabeza no serían naturales. Por último, la posición de la plataforma superior debería encontrarse en el centro de la cabeza para que los giros de la misma se realizasen de la forma más natural posible y dotasen a la cabeza de la característica de antropomorfismo buscada, pero esto es un gran problema para la posición del proyector ya que sería complicado colocarlo de tal forma que el mecanismo no interfiriese en el haz.

El segundo diseño, conocido como sistema *pan-tilt*, es el empleado en la actualidad por una gran cantidad de sistemas de vigilancia, como el mostrado en la figura 15. El conjunto móvil se compone de tres motores, cada uno de los cuales produce uno de los tres grados de libertad buscados. Este sistema es muy sencillo de implementar ya que se comercializa directamente el sistema completo, sin necesidad de realizar ningún montaje. Una imagen del diseño base y del diseño en Catia V5 se muestra en la figura 16.



Figura 15. Mecanismo *pan-tilt*.

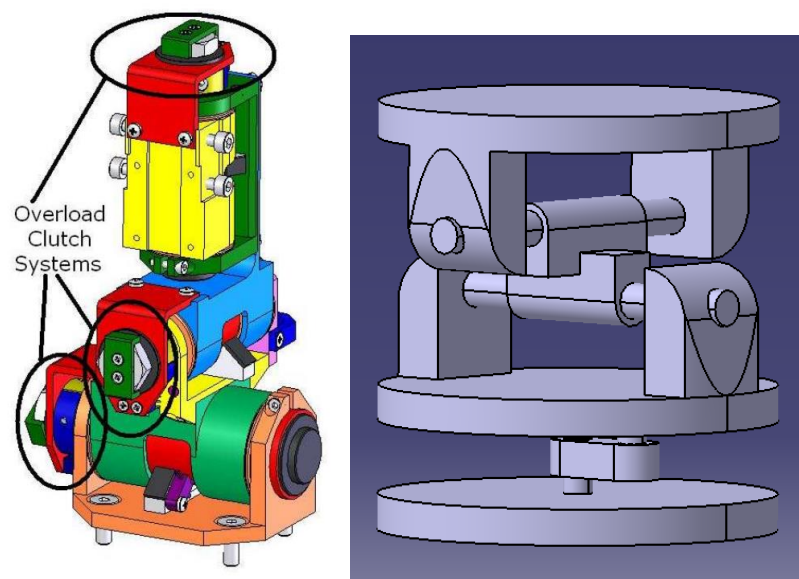


Figura 16. Diseño base [9] y modelo 3D del mecanismo *pan-tilt*.

Este segundo diseño fue desechado por dos motivos. En primer lugar, al igual que en el caso anterior, la posición del mismo le obliga a situarse en el centro de la cabeza, lo cual dificulta el posicionamiento del proyector para la transmisión del haz. El segundo motivo por el que no se seleccionó este sistema es debido al movimiento resultante, el cual no es del todo natural y por lo tanto pierde la similitud buscada.

Otra de las ideas principales fue la de elaborar un diseño en el que los tres grados de libertad dependiesen de tres servomotores, uno de ellos para la libertad rotacional y los otros dos conjuntamente para las dos restantes. Este modelo en concreto, como se puede observar en la figura 17, no posee una excesiva complejidad a la hora del diseño, pero conllevaría una dificultad extra en el control de los movimientos, no en el caso del giro sobre el eje vertical pero sí para los otros dos.

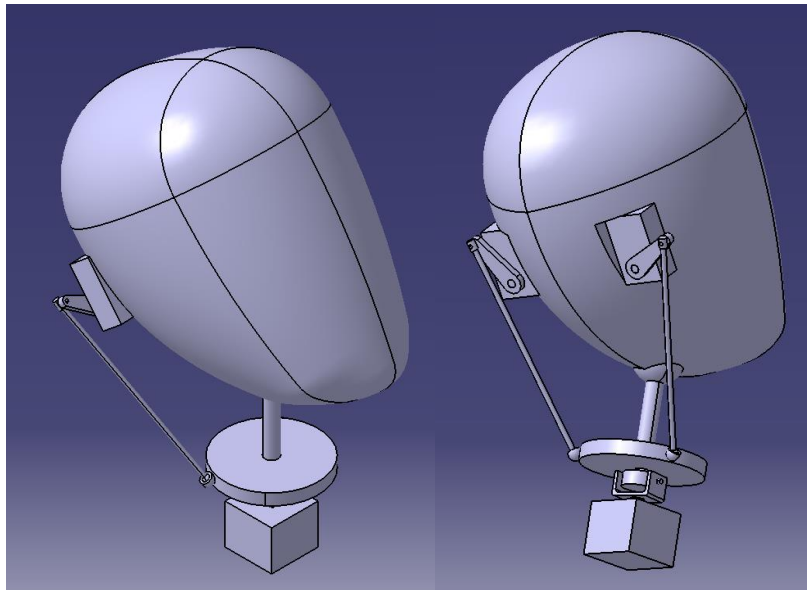


Figura 17. Modelo 3D del mecanismo compuesto por tres servomotores.

Este es uno de los diseños con mayor aceptación de los cuatro, pero la dificultad de programación de los servomotores, en conjunto con lo complejo que resultaría adherir el sistema de proyección, hará que sea desechado.

Para el último de los primeros modelos se decidió elaborar un sistema similar al del robot Furhat, el cual en la actualidad posee tres grados de libertad e incluye el sistema de proyección sobre una máscara, asegurando de esta forma que se podrá cumplimentar dicho sistema sin muchos problemas.

El prediseño de éste modelo es de mayor dificultad, ya que su mecanismo superior se compone de una gran cantidad de piezas, lo cual complica el dimensionado. Posee la ventaja de que ya dispone de los elementos de unión para la cabeza y, por lo tanto, la última parte del diseño se simplifica ligeramente. La idea inicial es la de dotar al mecanismo de tres grados de libertad pero, para este diseño en concreto, incluir la libertad que permite ladear la cabeza supone un problema. Es por esto que se propone realizar el modelo con únicamente dos grados de libertad, haciendo de esa forma viable esta opción. Es importante añadir que los primeros modelos del robot Furhat poseían únicamente 2 grados de libertad.

En la figura 18 y figura 19 se muestran imágenes del primer modelo del robot Furhat.



Figura 18. Sistema mecánico robot Furhat.



Figura 19. Montaje cabeza robot Furhat.

Los problemas asociados a este último modelo son la dificultad dimensional debida a la existencia de un gran número de piezas y su menor movilidad,

eliminando uno de los grados de libertad que en un principio se consideraron necesarios.

SELECCIÓN DEL DISEÑO FINAL

Tras la elaboración de los cuatro modelos, se llega a la conclusión de que el último de ellos es el más apto para su posterior ejecución debido a que, a pesar de su mayor complejidad a la hora del diseño de las piezas, se trata de un diseño en el que la inclusión del sistema de proyección será más sencilla y puede dar lugar a un menor número de problemas en comparación al resto de modelos.

Otra ventaja de este cuarto modelo en relación a los otros es el hueco existente en la zona interior de la cabeza, el cual permite una mayor variedad de posibilidades en cuanto al posicionamiento del proyector.

Como ya se ha mencionado, la idea inicial es la de colocar el proyector en la zona del cuello en dirección vertical, haciendo rebotar su haz sobre un espejo para conseguir una mayor distancia de proyección. Esto hace que se trate de un modelo preferible al resto, siendo el único que puede tener la zona central del cuello vacía para la colocación del proyector.

Las piezas de la parte superior del mecanismo ayudarán a la futura inclusión del espejo de proyección y del resto de elementos estéticos visibles de la cabeza, permitiendo a su vez la elaboración de un sistema más robusto en comparación al resto.

La forma de los elementos que componen el sistema permite que los prototipos se realicen completos en impresión 3D, conllevando consigo un abaratamiento de los costes. Los servomotores necesarios para su movimiento son también más económicos que los sistemas necesarios para el movimiento de los otros mecanismos.

Es por todos estos motivos que se selecciona el último modelo y, por lo tanto, a partir de este momento se irán desarrollando las piezas restantes del sistema.

CAPÍTULO 4: PARAMETRIZACIÓN Y DISEÑO DEL MODELO

CARACTERÍSTICAS DEL CONJUNTO

Previamente a la definición de las diferentes piezas que componen el conjunto diseñado, es importante definir la evolución que sufre la idea del diseño, siendo esta modificada en repetidas ocasiones para adaptarse a la obtención del resultado final deseado.

La primera modificación de importancia que se planteó en el sistema, fue la de cambiar la posición del proyector de la zona intermedia del cuello a la zona posterior de la cabeza. Este cambio se realiza debido a la necesidad de seguimiento del movimiento de la cabeza por el proyector, lo cual provocaría que éste se saliese de la zona diseñada para el cuello, dando por lo tanto poca sensación de naturalidad.

A raíz del cambio de posición del proyector, surge la necesidad de diseñar una cabeza que permita ocultar el mismo en su parte posterior, esto es debido a que, incluso empleando lentes, la distancia mínima de proyección no puede ser inferior a 270 mm. Es por esto que se decide sustituir la idea inicial de realizar una cabeza normal por un casco, el cual permitiría fácilmente en un futuro la inclusión de una cámara y unos altavoces para mejorar el proyecto. Otra ventaja de la utilización del casco es la posibilidad de realizar el modelo completo en impresión 3D, abaratando de esta forma los costes.

Es de gran importancia en el proyecto tener en cuenta en todo momento la distancia de proyección para la etapa de diseño, la cual se calcula en conjunto por las dos ramas del proyecto. El cálculo geométrico se lleva a cabo a mano y se comprueba experimentalmente, decidiendo que la mejor opción es la de implementar el proyector en conjunto con una lente de 180°, de tal forma que la distancia de proyección desde la parte posterior del proyector hasta la cara interior de la máscara es de 275 mm.

Añadidos a estos dos cambios principales, se ha necesitado de más modificaciones singulares en algunas de las piezas para satisfacer necesidades geométricas, de montaje o de funcionamiento, pero ninguna de ellas con tanta repercusión en el resultado final como las dos anteriores.

Al igual que las pequeñas modificaciones progresivas de las piezas principales del conjunto, también ha sido necesario la implementación de nuevas piezas que cumplan alguna función que en un principio no se consideró necesaria, tratándose sobre todo de elementos de sujeción o mejora de los ya existentes.

CÁLCULOS CINEMÁTICOS Y ESTRUCTURALES DEL MODELO

En este apartado se determinan todos los cálculos referentes a la selección de los mecanismos a emplear, además de los requerimientos mínimos de los servomotores para cubrir las necesidades del sistema.

En primer lugar se realiza un estudio cinemático de cada uno de los movimientos, tanto el de giro panorámico como el de cabeceo.

En cuanto al giro panorámico no es necesario realizar un esquema del mismo, ya que el servomotor inferior transmite directamente el giro sobre el resto de la cabeza. Esto es una situación de riesgo en cuanto a la resistencia del mismo, ya que es demasiado peso actuando sobre el mismo. Para salvar este problema se decide emplear en la zona del cuello un elemento denominado soporte de rodamiento, el cual consiste en un rodamiento de gran tamaño para el eje vertical del cuello, el cual posee dos amarres que sujetan el eje vertical haciendo que el peso se distribuya y no incida completamente sobre el servomotor.

A continuación, teniendo en cuenta la velocidad de giro panorámico normal de una cabeza humana, se determinarán los requisitos mínimos de un servomotor para su cumplimiento. Dicha velocidad máxima, en la realidad, se considera en torno a los $352,00 \text{ }^\circ/\text{s}$ pero, para el caso concreto en que se desenvolverá la cabeza robótica, se tomará como valor máximo posible $200,00 \text{ }^\circ/\text{s}$, siendo un valor ligeramente sobredimensionado ya que no se llegará a alcanzar. En su paso a radianes, se obtiene que la velocidad máxima del servomotor debe ser de $3,50 \text{ rad}/\text{s}$. Será correcto, por lo tanto, con respecto al estudio cinemático, cualquier servomotor cuya velocidad máxima sea igual o superior a ese valor.

El cálculo restante a realizar, correspondería al estudio del par del servomotor inferior, comenzando por el estudio del par estático o de arranque correspondiente a la ecuación 1, donde μ corresponde al coeficiente de fricción (de valor 0,02 correspondiente con el de los rodamientos empleados), F la fuerza realizada y d la distancia a la que se encuentra conectado el centro de giro. La fuerza a tener en cuenta será el peso del sistema, el cual se ve reducido en gran medida por el soporte de rodamiento, de tal forma que se considerará únicamente un 40% del peso total (para el caso más crítico), es decir, si todo el conjunto superior posee una masa de aproximadamente 2,5 kg, la fuerza a tener en cuenta será de 9,8 N.

Ecuación 1

$$P_{estático} = 0,5 \cdot \mu F d = 0,5 \cdot 0,02 \cdot 9,8 \text{ N} \cdot 0,0235 \text{ m} = 2,303 \cdot 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}$$

Además del par estático también se determinará el dinámico como se puede ver en la ecuación 2, para el cual se emplean las mismas variables pero teniendo en cuenta además la inercia del eje de la cabeza robótica y la aceleración en el giro de la misma ($\ddot{\alpha}$), siendo ambos valores de $10^{-5} \text{ kg}\cdot\text{m}^2$ y $58,3 \text{ rad/s}^2$ respectivamente. La inercia se determina en función de la masa y el radio de dicho eje, mientras que para la aceleración se determinará la máxima alcanzable determinada en la figura 12.

$$\left. \begin{array}{c} \text{Ecuación 2} \\ P_{\text{dinámico}} = (I_{\text{eje}} + m_{\text{cabeza}} \cdot d^2) \ddot{\alpha} \\ P_{\text{dinámico}} = (10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 + (0,4 \cdot 2,5 \text{ kg}) \cdot (0,0235 \cdot \text{m})^2) \cdot 58,3 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2} \\ P_{\text{dinámico}} = 32,78 \cdot 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m} \end{array} \right\}$$

Por lo tanto, será válido para emplear en el movimiento de ladeado de la cabeza cualquier servomotor que cumpla la anterior condición cinemática y que su par sea igual o superior a $32,78 \cdot 10^{-3} \text{ N}\cdot\text{m}$.

Una vez determinados los requisitos mínimos para el servomotor inferior, se pasa al cálculo del mecanismo superior. Este movimiento es más delicado ya que, para lograrlo, no es suficiente con la utilización directa de un servomotor como en el caso del giro panorámico. A continuación se definen los dos motivos por los que es imposible el giro en esa dirección sin contar con la ayuda de un mecanismo de barras.

En primer lugar, para el movimiento de cabeceo, el eje de giro debe situarse en una zona cercana a la parte superior del cuello, lo cual resulta un problema claro a la hora de la situación de los servomotores, teniendo en cuenta que, como ya sabemos, la parte central de la cabeza debe encontrarse desocupada para no interferir en la proyección que se realiza sobre la máscara. Es por ello que se desecha desde un inicio la idea de colocarlo en dicha posición.

Por otra parte, otro de los motivos por los que no se emplea un servomotor directamente para la generación de este movimiento, es el hecho de que las fuerzas a vencer en este caso serán mayores, existiendo ciertos elementos de peso no despreciable que dan lugar a pares de valores numéricos elevados para el caso en el que nos encontramos.

Teniendo en cuenta los requerimientos funcionales mencionados antes, se llega a la conclusión de que será imprescindible la utilización de un mecanismo que genere el movimiento deseado, dejando libre el espacio de proyección y reduciendo la acción de esos momentos. El mecanismo escogido para llevar a cabo esta función será el de cuadrilátero articulado.

En la figura 20 se muestra un esquema general del mecanismo de cuadrilátero articulado [10], componiéndose éste de cuatro barras, tres móviles y una fija o denominada también como bancada. A continuación, en la figura 21, se observa la vista de perfil de las piezas del mecanismo superior, indicando sobre ellas el mecanismo en concreto.

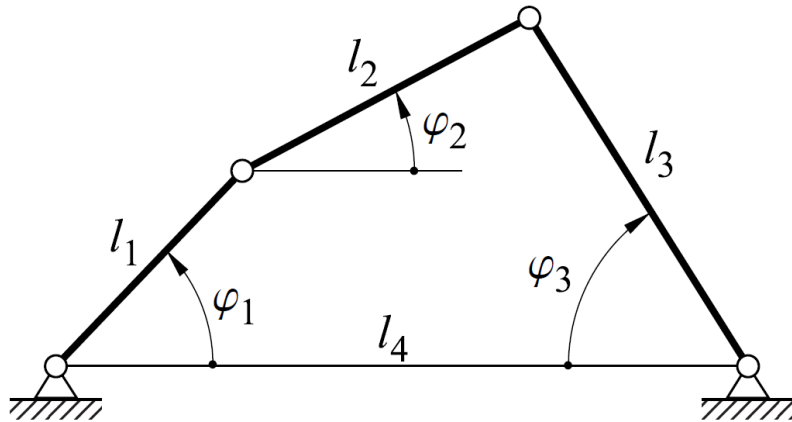


Figura 20. Ejemplo del mecanismo de cuadrilátero articulado [10].

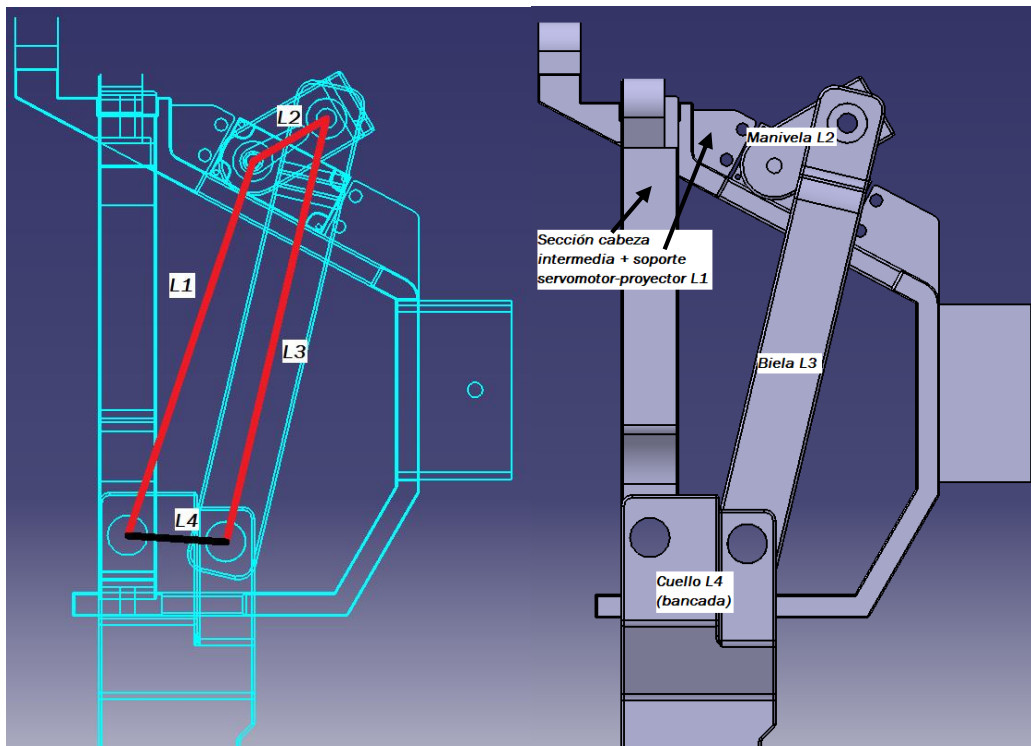


Figura 21. Mecanismo de cuadrilátero articulado sobre el modelo 3D.

Como podemos ver en la figura 21 ya mencionada, la pieza inferior denominada como “soporte cuello” se trata de la pieza fija en dicho mecanismo, o bancada (elemento 4), las otras tres barras móviles se corresponden con las piezas “biela” (elemento 3), “manivela” (elemento 2) y el conjunto sólido formado por

las piezas “sección cabeza intermedia” y “soporte proyector y servomotor” (elemento 1), siendo de las anteriores la “manivela” la que no se encuentra unida mediante un par rotación a la bancada.

Para el funcionamiento de dicho mecanismo se emplea un servomotor, el cual se encuentra anclado a la pieza “soporte proyector y servomotor”, estando la cruceta del mismo unida la pieza “manivela” y generando de esta forma el movimiento.

Una vez definido el tipo de mecanismo a emplear y conociendo los requerimientos de rangos y velocidades al igual que con el caso del giro panorámico, el siguiente paso consiste en la determinación de las características mínimas del servomotor a emplear.

Es importante, en primer lugar, determinar que para el cuadrilátero articulado empleado no se cumpliría la ley de Grashof, es decir, se incumple la relación $l+s < p+q$, o lo que es lo mismo, las barras más larga y más corta del mecanismo son de menor tamaño que la suma de las otras dos y, por lo tanto, la barra corta no podría dar giros completos. Esta situación es lógica en nuestro mecanismo en concreto, ya que un servomotor no puede generar giros superiores a los 180° , de tal forma que aunque geométricamente podría darse la posibilidad de realizar vueltas completas, no llegaría a ocurrir de forma práctica. Todo ello se muestra en la ecuación 3.

Ecuación 3

$$l + s < p + q \Rightarrow 151 + 29,5 < 137 + 34$$

Previo a la realización de los cálculos cinemáticos y dinámicos es necesario llevar a cabo ciertos cálculos previos, entre los que se incluye el cálculo de los grados de libertad del sistema y un estudio geométrico del mecanismo, empleando para ello el cumplimiento de la condición de cierre del bucle que generan las cuatro barras.

Para el cálculo de los grados de libertad del sistema se utilizará el criterio de Grübler-Kutzbach para mecanismos planos, mostrado en la ecuación 4. Siendo G el número de grados de libertad, N el número de miembros, P_1 el número de pares que permiten 1 gdl y P_2 el número de pares que permiten 2 gdl.

Ecuación 4

$$G = 3(N - 1) - 2(P_1) - P_2 = 3(4 - 1) - 2(4) = 1$$

A continuación se realiza el conjunto de cálculos geométricos, en la tabla 1 se muestran los valores de las longitudes (l_x , siendo “x” cada uno de los elementos de los que se compone el mecanismo) y los ángulos proporcionados,

a partir de los cuales se determinan los desconocidos para saber la posición inicial del conjunto.

Para la selección de los ángulos a utilizar se escogerán de la misma forma que en la figura 20, es decir, en los mismos nodos que éstos y escogiendo el ángulo inferior a noventa grados.

Tabla 1. Datos geométricos mecanismo superior.

Sección cabeza intermedia + soporte proyector y servomotor	l_1	137,0 mm	φ_1	75°
Manivela	l_2	29,5 mm	φ_2	$?$
Biela	l_3	151,0 mm	φ_3	$?$
Soporte cuello	l_4	34,0 mm	φ_4	0°

El siguiente paso será la discretización para realizar los futuros cálculos, en la cual se debe escoger las variables independientes y dependientes del sistema de ecuaciones. Como en este caso el movimiento depende del servomotor se determina el giro de la “manivela”, pieza a la que va conectada el servomotor, como variable independiente (φ_2), siendo los otros dos ángulos modificables las variables dependientes (φ_1 y φ_3); esto se realiza de este modo ya que será la velocidad del servomotor la conocida en el sistema de ecuaciones.

Se resuelve el sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas que se presenta en la ecuación 5 y se obtienen los dos ángulos restantes para la posición inicial del mecanismo, mostrados sus resultados en la tabla 2. Estas dos ecuaciones son las denominadas ecuaciones geométricas de enlace, las cuales serán también necesarias para cálculos posteriores.

Ecuación 5

$$\left\{ \begin{array}{l} \varphi_1 \rightarrow l_1 \cos \varphi_1 + l_2 \cos \varphi_2 - l_3 \cos \varphi_3 - l_4 = 0 \\ \varphi_2 \rightarrow l_1 \sin \varphi_1 + l_2 \sin \varphi_2 - l_3 \sin \varphi_3 = 0 \end{array} \right\}$$

Tabla 2. Incógnitas geométricas mecanismo superior.

φ_2	$33,87^\circ$
φ_3	$80,20^\circ$

A partir de las ecuaciones geométricas de enlace se genera el sistema que se puede observar en la ecuación 6, donde se obtienen dos ecuaciones en las cuales las variables dependientes quedan en función de las dependientes.

Ecuación 6

$$\left\{ \begin{array}{l} 4,03 \cos(\varphi_1 - \varphi_2) - 4,644 \cos \varphi_1 - \cos \varphi_2 = 1 \\ 4,44 \cos(\varphi_3 - \varphi_2) - 5,12 \cos \varphi_3 + \cos \varphi_2 = 0,59 \end{array} \right\}$$

En este caso, al tratarse de ecuaciones trigonométricas, no se consiguen unas relaciones directas entre las variables dependientes e independientes, de tal forma que sería necesario introducir la ecuación en algún sistema de resolución de ecuaciones para obtener el valor de las dependientes en función de la independiente conocida. Para lograr una relación directa entre las variables se decide realizar una aproximación polinómica de tercer grado, con la cual se consigue una rápida obtención de las variables dependientes para cierto valor de la independiente. Dicha aproximación polinómica se observa en la figura 22, donde se contempla la gráfica de la cual se obtiene y siendo los valores de la tabla 3 los que generan dicha representación gráfica.

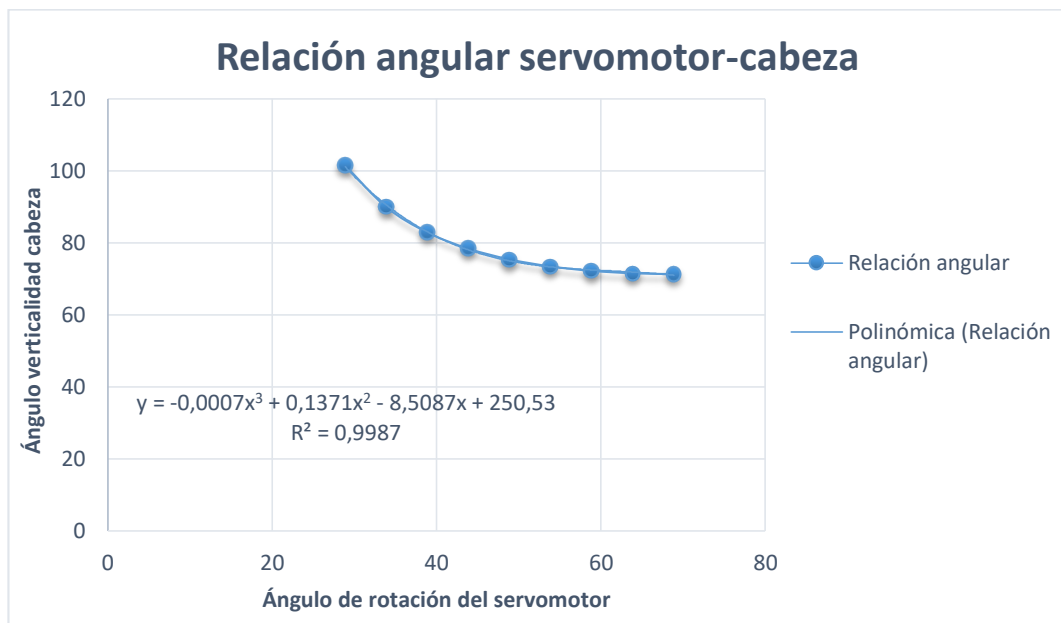


Figura 22. Gráfico relación angular servomotor superior-cabeza.

Tabla 3. Posiciones relativas servomotor superior-cabeza.

Posición angular servomotor (°)	Posición angular cabeza (°)
28,87	101,58
33,87	90,00
38,87	82,95
43,87	78,44
48,87	75,45
53,87	73,49
58,87	72,26
63,87	71,59
68,87	71,35

Una vez llevado a cabo, el siguiente paso consiste en realizar el cálculo cinemático, para el cual se deben obtener las ecuaciones donde las variables dependientes se encuentren en función de las independientes, así como sus derivadas primeras y segundas. En caso de que la resolución del sistema sea complejo, como en este caso, se empleará el método matricial empleando las ecuaciones geométricas anteriores como se puede ver en las ecuaciones 7, 8 y 9.

Ecuación 7

$$[\phi_q] = \begin{bmatrix} \frac{\partial \phi_1}{\partial \varphi_2} & \frac{\partial \phi_1}{\partial \varphi_3} & \frac{\partial \phi_1}{\partial \varphi_1} \\ \frac{\partial \phi_2}{\partial \varphi_2} & \frac{\partial \phi_2}{\partial \varphi_3} & \frac{\partial \phi_2}{\partial \varphi_1} \\ \frac{\partial \phi_3}{\partial \varphi_2} & \frac{\partial \phi_3}{\partial \varphi_3} & \frac{\partial \phi_3}{\partial \varphi_1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -l_2 \sin(\varphi_2) & -l_1 \sin(\varphi_1) & l_3 \sin(\varphi_3) \\ l_2 \cos(\varphi_2) & l_1 \cos(\varphi_1) & -l_3 \cos(\varphi_3) \end{bmatrix}$$

Ecuación 8

$$[\phi_q] = [\phi_q^i \quad \phi_q^d]$$

Ecuación 9

$$\dot{q}^d = -[\phi_q^d]^{-1} [\bar{\phi}_t + [\phi_q^i] \cdot \dot{q}^i]$$

Sustituyendo en la ecuación 9 se obtiene lo representado en la ecuación 10, con la cual se llevará a cabo el cálculo de velocidades.

Ecuación 10

$$\begin{bmatrix} \dot{\varphi}_1 \\ \dot{\varphi}_3 \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} -l_1 \sin(\varphi_1) & l_3 \sin(\varphi_3) \\ l_1 \cos(\varphi_1) & -l_3 \cos(\varphi_3) \end{bmatrix}^{-1} \left(\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -l_2 \sin(\varphi_2) \\ l_2 \cos(\varphi_2) \end{bmatrix} \cdot \dot{\varphi}_2 \right)$$

Por último, se despeja $\dot{\varphi}_1$ en función de $\dot{\varphi}_2$, sustituyendo éste último por el valor de velocidad del servomotor como se puede ver en la ecuación 11.

Ecuación 11

$$\dot{\varphi}_1 = - \frac{l_2(\cos(\varphi_3) \sin(\varphi_2) - \sin(\varphi_3) \cos(\varphi_2))}{l_1(\cos(\varphi_3) \sin(\varphi_1) - \sin(\varphi_3) \cos(\varphi_1))} \dot{\varphi}_2 = -1,714 \dot{\varphi}_2$$

Por lo tanto, para un valor de $\dot{\varphi}_1 = 3,5 \text{ rad/s}$, el cual ha sido también empleado para el cálculo del servomotor inferior, se obtiene un valor de $\dot{\varphi}_2$ de $\dot{\varphi}_2 = -2,04 \text{ rad/s}$. Con el valor calculado se deduce que, en cuanto a cinemática, cualquier servomotor que cumpla que su velocidad máxima sea mayor o igual a $2,04 \text{ rad/s}$ será válido para su utilización en el mecanismo superior.

Para la realización del cálculo de esfuerzos se lleva a cabo en dos pasos, para los cuales se tiene en cuenta una simplificación en cuanto a las masas del mecanismo, ya que los elementos dos y tres poseen una masa mucho inferior que la del elemento uno y, por lo tanto, éstas serán despreciables en el cálculo numérico. De forma añadida a la simplificación anterior, se considerará para la primera situación que la aceleración del cuerpo uno es de órdenes bajos de magnitud en comparación con otras variables y por ello es considerada nula, determinando de esta forma el cálculo estático. Para el segundo caso se realiza el cálculo dinámico con un valor de aceleración obtenido, al igual que para el giro panorámico, de la figura 12. Los datos de partida para la resolución del sistema consisten únicamente en el valor del peso del elemento uno, que se corresponde con el mecanismo superior, el casco y los elementos que van posicionados sobre ellos, así como la posición de su centro de gravedad para realizar el cálculo de los momentos.

Para llevar a cabo el cálculo resistente se debe realizar el cálculo de esfuerzos de cada uno de los cuerpos del sistema en sólido libre, es decir, llevar a cabo el cálculo de las fuerzas y momentos para cada barra por separado, teniendo

en cuenta las fuerzas de enlace y el momento generado por el par del servomotor. De esta forma se obtiene un sistema de nueve ecuaciones con nueve incógnitas, en las cuales se despejará el par del servomotor, dando como resultado la ecuación 9. En dicha ecuación “ m_1 ” se refiere a la masa del elemento 1, “ a_1 ” a la aceleración del elemento 1, “ M_2 ” al par generado por el servomotor sobre el elemento 2 y “ x_G ” a la distancia en el eje x desde el eje de giro superior hasta el centro de gravedad del elemento 1, la cual ha sido estimada en Catia V5 introduciendo el peso correspondiente a los elementos comerciales en sus posiciones. Las variables “ I ” y “ $\ddot{\beta}$ ”, referentes a la inercia de la cabeza robótica y a la aceleración respectivamente, solo se tienen en cuenta para el caso dinámico. No se mencionan las aceleraciones de los cuerpos 2 y 3 ya que su participación es de varios órdenes de magnitud inferiores, al ser la masa de ambos elementos de valor prácticamente nulo.

La masa de la cabeza robótica es de 2,5 kg, la inercia de la cabeza robótica es de 0,012 kg·m², la aceleración de 58,3 rad/s² y la distancia al centro de gravedad en el eje x de 0,036 mm.

En cuanto a los valores angulares se toman para el caso más desfavorable, es decir, cuando la distancia desde el eje de giro hasta el centro de gravedad en el eje x es de 0,036 mm.

Ecuación 12

$$M_2 = \frac{m_1(g \cdot x_G) + I \cdot \ddot{\beta}_1}{1 + \frac{l_1(\sin(\varphi_1) - \cos(\varphi_1) \tan(\varphi_3))}{l_2(\cos(\varphi_2) \tan(\varphi_3) - \sin(\varphi_2))}} 0,4181$$

A partir de la anterior ecuación se realizan los cálculos estático y dinámico, teniendo en cuenta o no, el valor de la aceleración del elemento 1. De esta forma se obtiene $M_2 = 2,1 N \cdot m$ para el caso en el que se considera nulo el valor de la aceleración y $M_2 = 3,7 N \cdot m$ en la situación contraria.

Con los valores obtenidos se llega a la conclusión de que el servomotor escogido, de velocidad máxima igual a 4,98 rad/s y par máximo igual a 4,312 N·m, es más que suficiente para cubrir los requerimientos de ambos sistemas de movimiento.

Aunque no interviene en los cálculos realizados anteriormente, es importante determinar la posición de cada uno de los sistemas de referencia, empezando por determinar el conjunto de ellos y si sus características. Son necesarios para definir el movimiento de la cabeza robótica tres sistemas de referencia, un sistema de referencia global y dos sistemas de referencia móviles definidos

como 1 y 2. El sistema de referencia móvil 1 posee únicamente una rotación de sus ejes X e Y con respecto de su eje Z; en cambio, el sistema de referencia móvil 2, posee un movimiento de rotación con respecto del eje Z del sistema de referencia 1, es decir, el plano XZ de ambos sistemas de referencia siempre es coincidente, añadido a este movimiento de giro posee una rotación de los ejes X y Z con respecto de su eje Y.

A continuación se especifica la localización de cada uno de los sistemas de referencia, comenzando por el sistema de referencia global fijo, el cual se sitúa con el plano XY coincidente con la base de la cabeza robótica, el plano XZ coincidente con el plano de simetría y el eje Z coincidente con el eje de giro del servomotor inferior.

El sistema de referencia móvil 1, referente al servomotor inferior, se sitúa en la misma posición que el sistema de referencia global, donde el eje Z coincide en todo momento con el eje Z del sistema global y los ejes X e Y giran alrededor de este último como ya se ha determinado antes.

El sistema de referencia móvil 2, referente al movimiento generado por el servomotor superior, posee el eje Y coincidente con el eje de giro sobre el que rotan las piezas del casco y las piezas “sección cabeza intermedia” y “soporte proyector y servomotor”, el plano XZ coincide a su vez con el del otro sistema de referencia móvil y los ejes X y Z giran en torno al eje Y. Para definir la situación de su centro de coordenadas se acotarán con respecto al sistema de referencia móvil 1, ya que dicho punto rota con respecto al sistema de referencia global. La cota Y siempre será nula al ser coplanarios ambos planos XZ, la cota X tiene un valor de 17 mm y la cota Z de 244 mm.

Podría ser necesaria la determinación de un sistema de referencia móvil sobre la cruceta del servomotor superior, pero conociendo las relaciones de velocidades determinadas en el cálculo cinemático no es indispensable.

Añadido a los sistemas de referencia para la definición del movimiento, existe un cuarto sistema de referencia correspondiente a la cámara situada en la pieza superior. Para definir dicho sistema se acotará con respecto al sistema de referencia móvil 2, ya que sus movimientos coinciden en todo momento con los de éste. Se encuentra situado con su plano XZ coincidente con el del sistema de referencia móvil 2, su eje X inclinado -5° (definiendo como positivos los ángulos por encima de la horizontal, y las cotas del centro del sistema de referencia son en la dirección X 84,97 mm y en la dirección Z 200,22 mm.

Una vez definidos todos los sistemas de referencia, se incluyen a continuación la definición de cada uno de ellos, así como la matriz de cambio de base entre los mismos. Todas las magnitudes dimensionales que se incluyen se encuentran en milímetros.

El sistema de referencia fijo o global queda definido por el punto O_G de coordenadas $(0 \ 0 \ 0)$ y por la matriz A_G , de vectores $(\vec{u}_{xG}, \vec{u}_{yG}, \vec{u}_{zG})$ definidos en la ecuación 13.

Ecuación 13

$$A_G = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Para el sistema de referencia móvil 1, como se ha indicado en este mismo apartado, el centro del sistema es el mismo que para el sistema de referencia fijo o global y, por lo tanto, O_1 posee también las coordenadas $(0 \ 0 \ 0)$. En cuanto a la matriz A_1 , al tratarse de un sistema de referencia móvil, dos de sus vectores dependen de la rotación sobre el tercero, es decir, la matriz quedaría como se observa en la ecuación 14, siendo θ el ángulo definido en el plano horizontal XY que determina el giro sobre el eje Z. La matriz está definida con sus variables en la base del sistema de referencia global.

Ecuación 14

$$A_1 = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Para el sistema de referencia móvil 2, el centro del sistema de referencia O_2 posee las coordenadas $(17 \ 0 \ 244)$ con respecto al sistema de referencia móvil 1. En cuanto a la matriz A_2 , al tratarse de un sistema de referencia móvil, dos de sus vectores dependen de la rotación sobre el tercero, es decir, la matriz quedaría como se observa en la ecuación 15, siendo α el ángulo definido el plano vertical YZ que determina el giro sobre el eje Y. La matriz está definida en la base del sistema de referencia móvil 1.

Ecuación 15

$$A_2 = \begin{bmatrix} \cos \alpha & 0 & \sin \alpha \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \alpha & 0 & \cos \alpha \end{bmatrix}$$

Por último, para el sistema de referencia móvil de la cámara, el centro del sistema de referencia O_c posee las coordenadas $(84,97 \ 200,22 \ 0)$ con respecto al sistema de referencia móvil 2. La matriz A_c queda como se observa en la ecuación 16.

Ecuación 16

$$A_C = \begin{bmatrix} 0,9962 & 0 & 0,0872 \\ 0 & 1 & 0 \\ -0,0872 & 0 & 0,9962 \end{bmatrix}$$

Una vez conocidos los puntos y matrices que definen los distintos sistemas de referencia, se lleva a cabo la determinación de los diferentes cambios de base entre dichos sistemas, los cuales quedan definidos en las ecuaciones 17, 18 y 19.

Ecuación 17

$$\left\{ \begin{array}{l} [A_G \rightarrow A_1] = \frac{1}{(\cos \theta)^2 - (\sin \theta)^2} \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & (\cos \theta)^2 - (\sin \theta)^2 \end{bmatrix} \\ [A_1 \rightarrow A_G] = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{array} \right\}$$

Ecuación 18

$$\left\{ \begin{array}{l} [A_1 \rightarrow A_2] = \frac{1}{(\cos \theta)^2 - (\sin \theta)^2} \begin{bmatrix} \cos \alpha & 0 & -\sin \alpha \\ 0 & (\cos \theta)^2 - (\sin \theta)^2 & 0 \\ -\sin \alpha & 0 & \cos \alpha \end{bmatrix} \\ [A_2 \rightarrow A_1] = \begin{bmatrix} \cos \alpha & 0 & \sin \alpha \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \alpha & 0 & \cos \alpha \end{bmatrix} \end{array} \right\}$$

Ecuación 19

$$\left\{ \begin{array}{l} [A_2 \rightarrow A_C] = \begin{bmatrix} 0,9962 & 0 & -0,0872 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0,0872 & 0 & 0,9962 \end{bmatrix} \\ [A_C \rightarrow A_2] = \begin{bmatrix} 0,9962 & 0 & 0,0872 \\ 0 & 1 & 0 \\ -0,0872 & 0 & 0,9962 \end{bmatrix} \end{array} \right\}$$

Para los cambios de base en los que los centros de los sistemas de referencia están en puntos distintos se deben tener en cuenta las coordenadas de éstos.

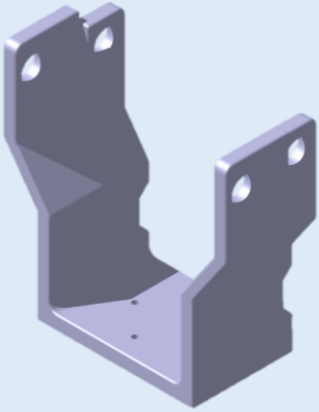
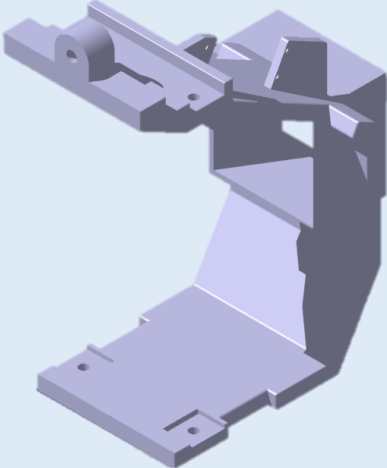
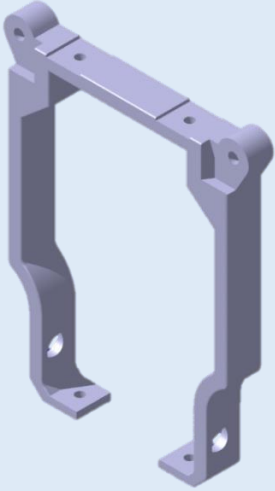

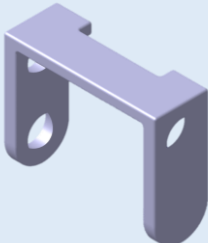
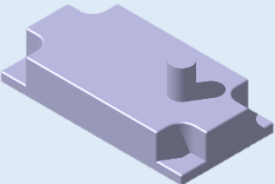
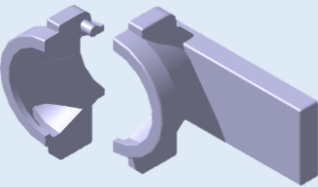

DISEÑO Y CARACTERÍSTICAS DE LAS DIFERENTES PIEZAS

A continuación se muestra el conjunto de subensamblajes que conforma la cabeza robótica, definiendo en primer lugar cada subconjunto de piezas y mostrando el posicionamiento de cada una de ellas dentro de cada subensamblaje. A continuación se llevará a cabo una escueta explicación de las diversas piezas diseñadas para llevar a cabo el modelo final buscado, explicando las características principales de cada una de ellas con respecto al mecanismo global.

SUBENSAMBLAJE MECANISMO SUPERIOR O PRINCIPAL

En la tabla 4 se puede observar el conjunto de piezas diseñadas que conforman el subensamblaje superior, incluyéndose imágenes en Catia V5 de cada una de ellas.

Tabla 4. Piezas subensamblaje superior.

Soporte cuello	Soporte servomotor y proyector	
		
Sección cabeza intermedia	Biela	Manivela
		
Eje posterior servomotor	Soportes lente	Recubrimiento cuello
		

Una vez se conocen las piezas diseñadas que forman parte del subensamblaje en cuestión, queda por determinar la posición de las mismas dentro del subensamblaje superior, así como algunas de sus principales características en cuanto a funcionalidad y diseño. En la figura 23, se puede ver el subensamblaje superior o principal con sus piezas disgregadas, de tal forma que se puede observar aproximadamente la posición que cada una ocupa dentro del mismo.

Es importante destacar que existen algunos elementos del montaje que serán comprados y, por lo tanto, no se les va a dar especial relevancia en cuanto a su elaboración en este apartado de diseño, ya que simplemente se incluyen en el ensamblaje en Catia V5 para dar mayor realidad al mismo, además de comprobar si todo encaja correctamente. Estos se muestran en el ensamblaje en colores llamativos, para distinguirlos fácilmente del resto de piezas. En este caso, se incluye un listado con los elementos adquiridos que forman parte del subensamblaje superior, ya que muchos son de gran importancia en el conjunto global:

- Servomotor.
- Proyector.
- Lente de 180°.
- Otros elementos como ejes, cerramientos de ejes, rodamientos, arandelas, tornillos y tuercas.

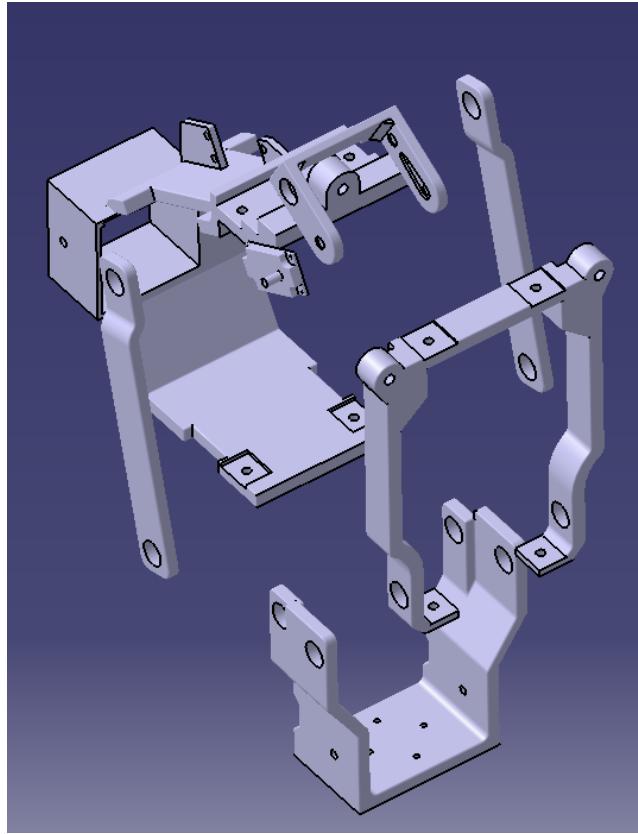


Figura 23. Despiece del conjunto de piezas del subensamblaje superior.

En la figura 24 se observa el ensamblaje con todas y cada una de sus restricciones, es decir, con la forma que tendrá en la realidad una vez llevado a cabo su montaje.

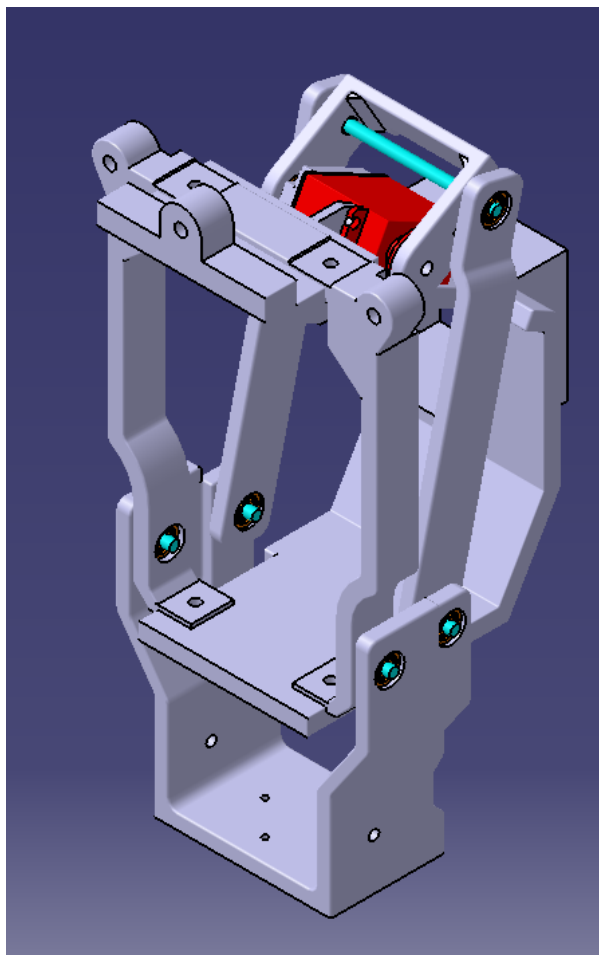


Figura 24. Subensamblaje superior completo.

➤ Soporte cuello:

Esta pieza es la situada en la parte inferior del subensamblaje, es la única pieza del subensamblaje mecanismo superior que poseerá en el mecanismo global un solo grado de libertad rotacional, ya que el resto de las piezas de este subensamblaje poseen dos o más grados de libertad.

Su funcionalidad es la de unir el servomotor inferior que produce el giro panorámico con el resto de elementos de la cabeza, además se trata del elemento fijo a la bancada del cuadrilátero articulado que genera el movimiento de cabeceo. En caso de ser requerido, sería sobre esta pieza en la que se posicionaría el elemento exterior estético que cubre la zona del cuello para ocultar el mecanismo.

En la figura 25 se puede ver una imagen de la pieza en Catia V5, mientras que en la figura 26 se observa el árbol de operaciones que la generan.

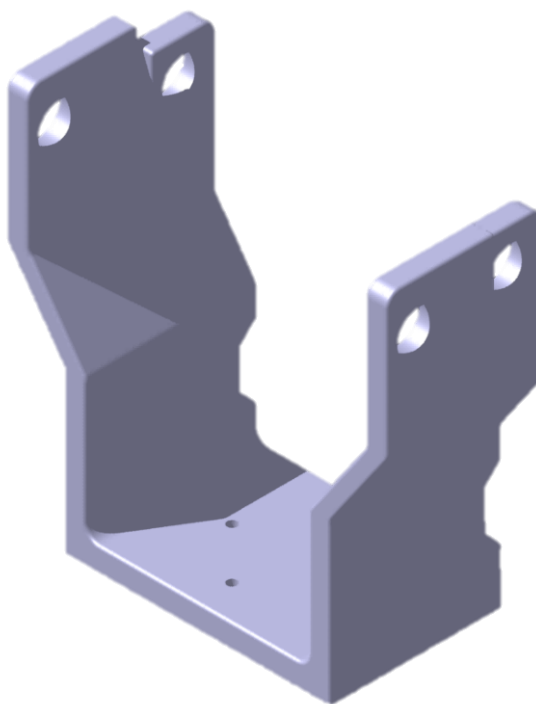


Figura 25. Modelo Catia V5 pieza soporte cuello.

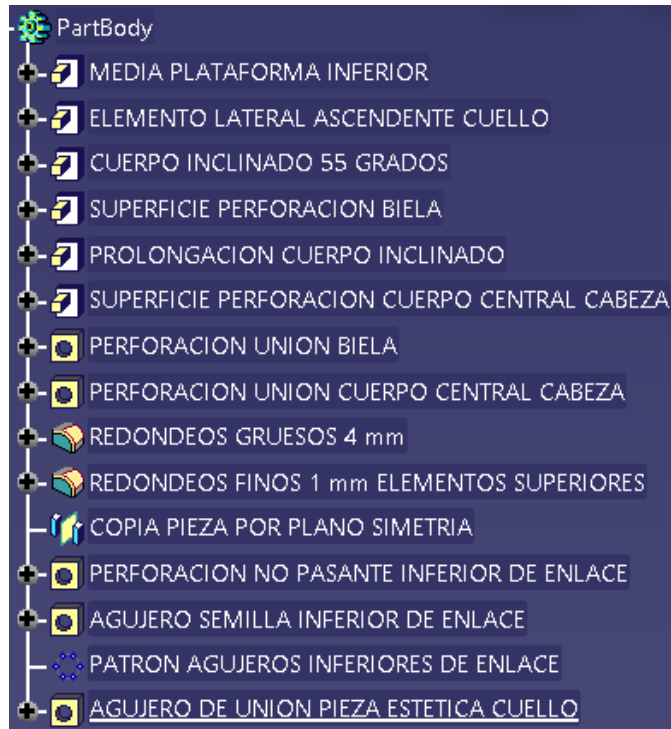


Figura 26. Árbol de operaciones de la pieza soporte cuello.

➤ Sección cabeza intermedia:

La pieza en cuestión se encuentra situada en la parte central del subensamblaje, posee dos grados de libertad rotacionales en el mecanismo global, uno que permite el giro panorámico de la cabeza y otro que permite el movimiento de cabeceo. En cuanto al mecanismo parcial del subensamblaje superior, el cual genera el movimiento de cabeceo, esta pieza posee un grado de libertad rotacional en torno a su perforación inferior.

Con respecto a su funcionalidad, se trata de una pieza intermedia de unión, conectando la pieza “elemento intermedio cuello” con la otra pieza “elemento soporte servomotor superior”, además de que también sirve de conexión con el casco que cubre todo el mecanismo superior. También es imprescindible añadir su función como parte del mecanismo de cuadrilátero articulado.

En la figura 27 se puede ver una imagen de la pieza en Catia V5, mientras que en la figura 28 se observa el árbol de operaciones que la generan.

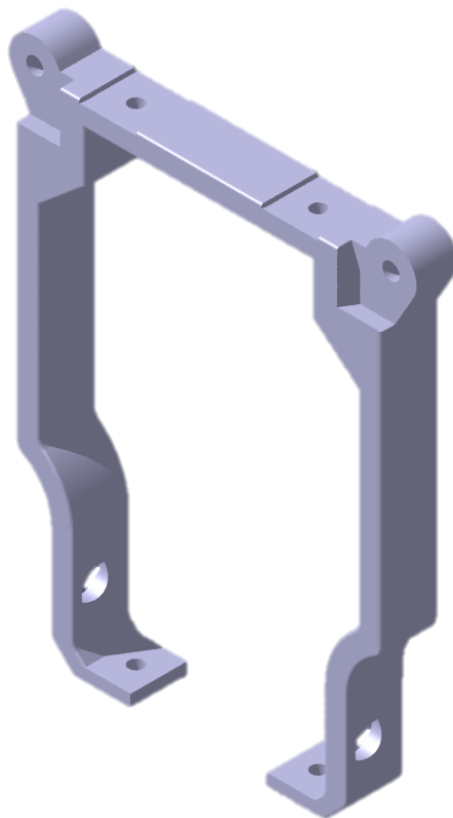


Figura 27. Modelo Catia V5 pieza sección cabeza intermedia.

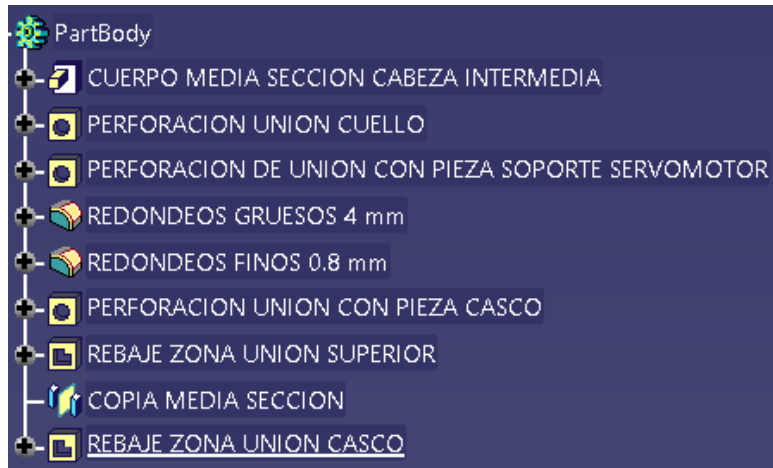


Figura 28. Árbol de operaciones de la pieza sección cabeza intermedia.

➤ Soporte proyector y servomotor:

Esta pieza se encuentra situada en la parte central del subensamblaje, posee dos grados de libertad rotacionales en el mecanismo global, uno que permite el giro panorámico de la cabeza y otro que permite el movimiento de cabeceo. Al igual que la sección cabeza intermedia, esta pieza posee un grado de libertad rotacional con respecto al subensamblaje superior.

En cuanto a su funcionalidad, se trata de una pieza principal en el mecanismo, ya que sobre ella se apoyan dos de los principales elementos del sistema como son el servomotor de la parte superior, el cual produce el movimiento de cabeceo ya explicado, y el proyector, situado en la parte posterior de la cabeza y a partir del cual se obtiene la imagen deseada sobre la máscara transparente. También es importante destacar que esta pieza posee un punto de unión con el casco que cubre todo el mecanismo superior. Para el ensamblaje de la pieza con el resto del mecanismo ésta posee cuatro puntos de enlace con el “elemento sección cabeza intermedia”, dos en la parte inferior y otros dos en la parte superior de la misma. Esta unión anterior fija explica el porqué de la libertad rotacional que posee con respecto al subensamblaje superior, ya que en conjunto con el “elemento sección cabeza intermedia”, al ser ambas piezas fijas, forma parte del mecanismo de cuadrilátero articulado.

En la figura 29 se puede ver una imagen de la pieza en Catia V5, mientras que en la figura 30 se observa el árbol de operaciones que la generan.

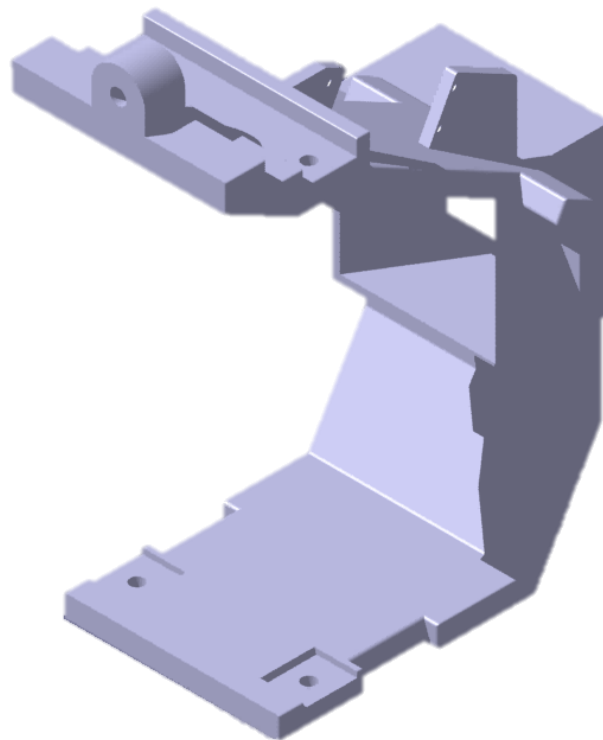


Figura 29. Modelo Catia V5 pieza soporte proyector y servomotor.

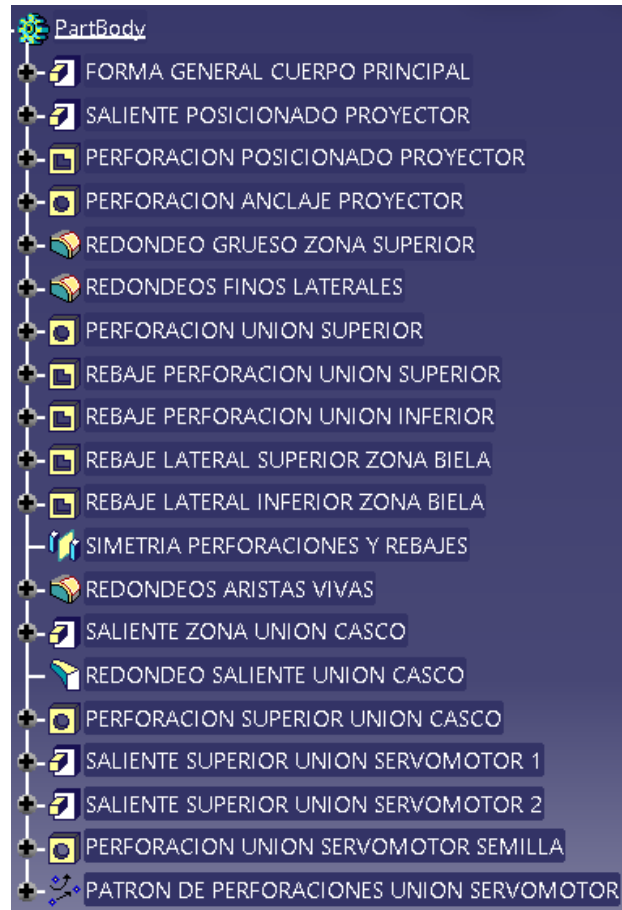


Figura 30. Árbol de operaciones de la pieza soporte proyector y servomotor.

➤ Elemento biela:

En este caso, la pieza se encuentra por duplicado, una a cada lado del mecanismo principal superior. Posee dos grados de libertad rotacionales en el mecanismo global y un grado de libertad rotacional en el subensamblaje superior.

En cuanto a su funcionalidad, se trata de una pieza de enlace entre el “soporte cuello” y la pieza “manivela”, la cual se conecta directamente el servomotor que genera el movimiento de cabeceo. Al igual que las dos últimas piezas definidas, ésta también forma parte del mecanismo de cuadrilátero articulado.

En la figura 31 se puede ver una imagen de la pieza en Catia V5, mientras que en la figura 32 se observa el árbol de operaciones que la generan.

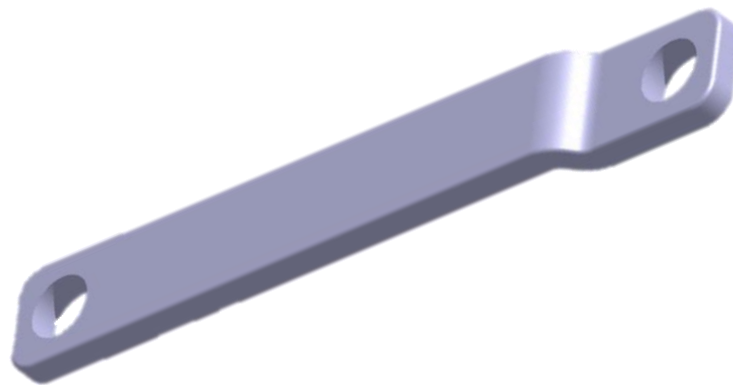


Figura 31. Modelo Catia V5 pieza biela.

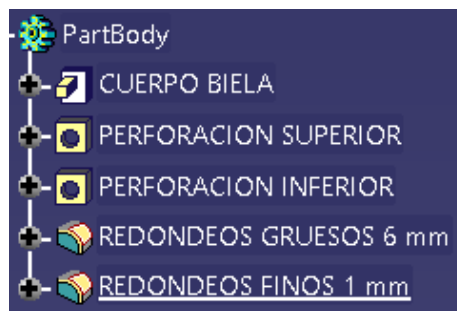


Figura 32. Árbol de operaciones de la pieza biela.

➤ Elemento manivela:

La pieza en cuestión se encuentra en la parte superior del subensamblaje. Posee tres grados de libertad rotacionales en cuanto al mecanismo global y dos con respecto al mecanismo del subensamblaje superior, siendo estos dos últimos con respecto a las piezas “biela” y “soporte servomotor y proyector”.

Con respecto a su funcionalidad, ésta pieza se encuentra en contacto con el servomotor superior, el cual se encuentra posicionado sobre la pieza “soporte servomotor y proyector” como se ha indicado antes, transmitiendo la rotación que éste produce a las dos piezas denominadas “biela” a las que se encuentra conectado. Por lo tanto, esta pieza pertenece al mecanismo de cuadrilátero articulado que genera el movimiento de cabeceo.

En la figura 33 se puede ver una imagen de la pieza en Catia V5, mientras que en la figura 34 se observa el árbol de operaciones que la generan.

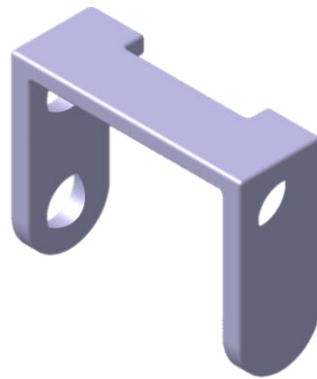


Figura 33. Modelo Catia V5 pieza manivela.

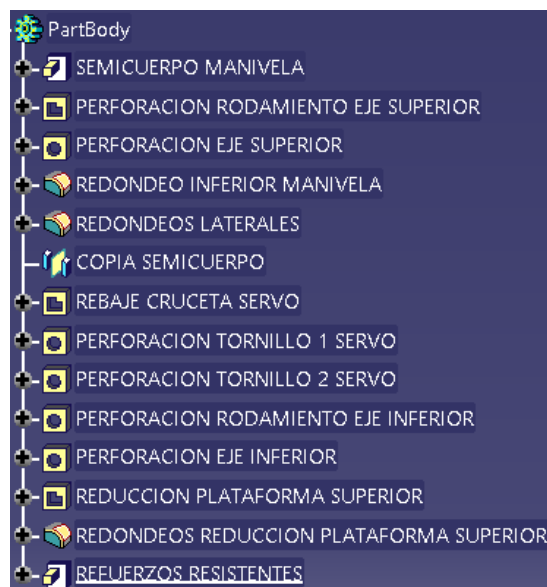


Figura 34. Árbol de operaciones de la pieza manivela

➤ Eje posterior servomotor:

Esta pieza se encuentra situada en la parte superior del subensamblaje, en la parte posterior del servomotor superior que genera el movimiento de cabeceo. Al igual que el servomotor, este elemento también se encuentra fijo a la pieza “soporte servomotor y proyector” y, por lo tanto, posee los mismos grados de libertad que ésta.

La funcionalidad de esta pieza es servir como apoyo redundante al eje donde se genera el movimiento de cabeceo, siendo una prolongación del propio eje del servomotor. Es por lo tanto una pieza con una misión resistente y de apoyo para la consistencia del cuadrilátero articulado.

En la figura 35 se puede ver una imagen de la pieza en Catia V5, mientras que en la figura 36 se observa el árbol de operaciones que la generan.

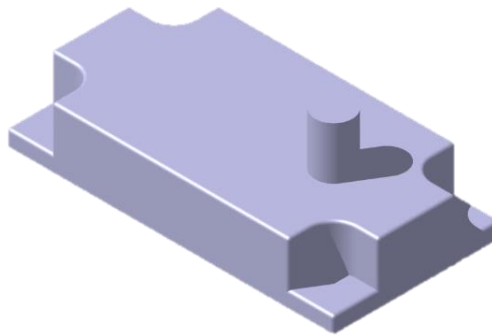


Figura 35. Modelo Catia V5 pieza eje posterior servomotor.

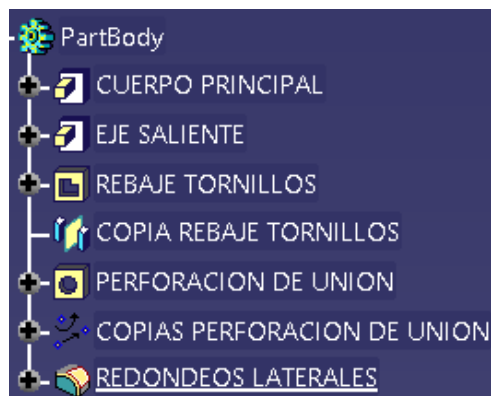


Figura 36. Árbol de operaciones de la pieza eje posterior servomotor

➤ Piezas soporte lente:

Este conjunto de piezas, formado por un elemento fijo a la pieza “soporte servomotor y proyector” y otra pieza suelta, denominadas “pieza fija soporte lente” y “tapa soporte lente” respectivamente. Ambas se posicionan en la parte central del subensamblaje y, al encontrarse amarradas a la pieza ya mencionada, los grados de libertad serán los mismos que los de ésta.

En cuanto a su funcionalidad, ambas piezas se encargan de posicionar la lente correctamente con respecto a la situación del proyector, ya que ésta posee un sistema de sujeción con imanes pero debido a los movimientos de la cabeza puede desplazarse ligeramente de su posición idónea.

En la figura 37 se puede ver una imagen de las piezas en Catia V5, mientras que en la figura 38 se observan los árboles de operaciones que las generan.

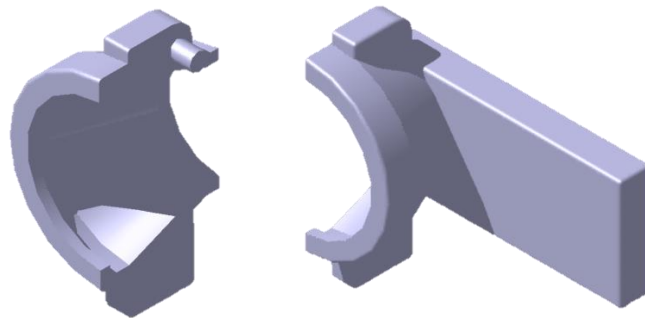


Figura 37. Modelos Catia V5 piezas soporte lente.

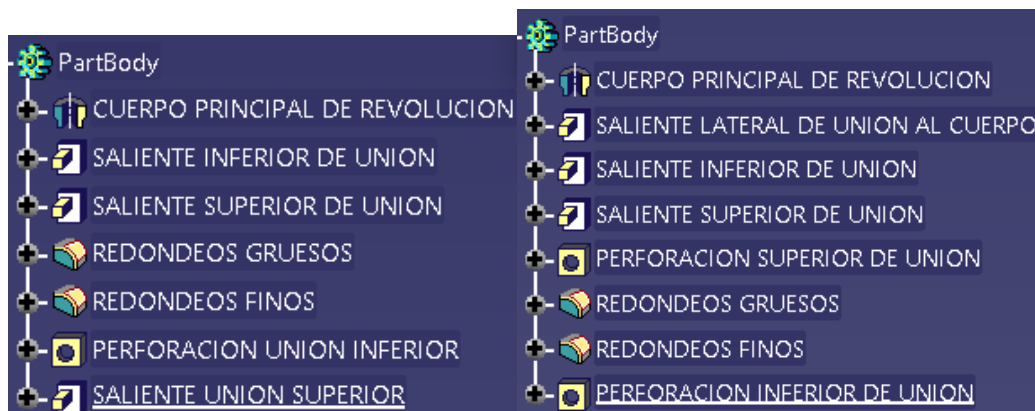


Figura 38. Árboles de operaciones de las piezas soporte lente.

➤ Recubrimiento cuello:

Esta pieza se encuentra situada en la parte inferior del subensamblaje, situada sobre la pieza “soporte cuello” a la cual va sujeta y, por lo tanto, posee los mismos grados de libertad que ésta.

La funcionalidad de esta pieza es recubrir el mecanismo actuando como una pieza estética.

En la figura 39 se puede ver una imagen de la pieza en Catia V5, mientras que en la figura 40 se observa el árbol de operaciones que la generan.

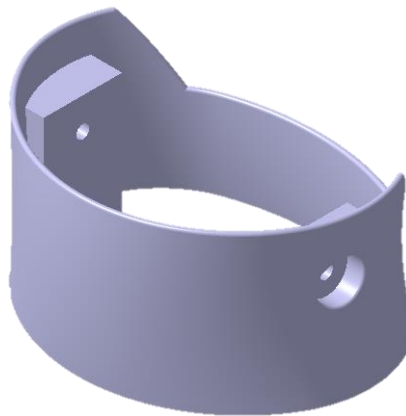


Figura 39. Modelo Catia V5 recubrimiento cuello.

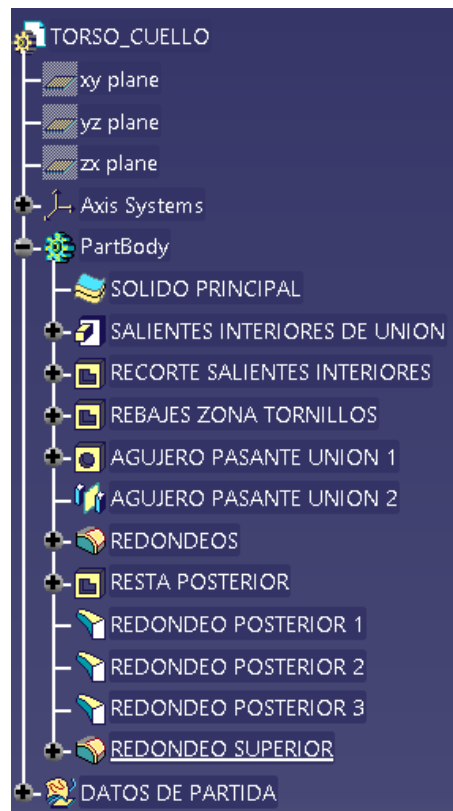
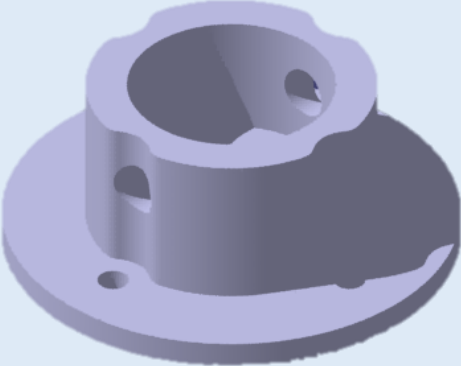
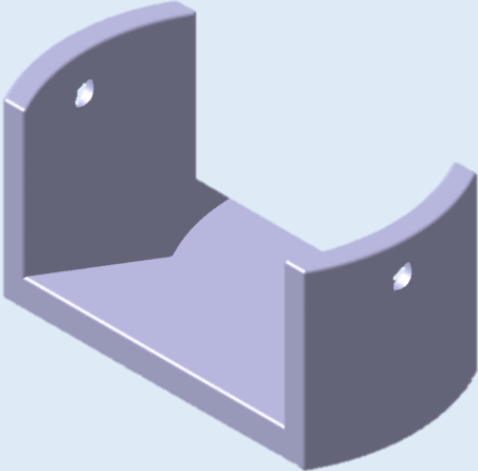


Figura 40. Árbol de operaciones de la pieza recubrimiento cuello.

SUBENSAMBLAJE INTERMEDIO O DE CONEXIÓN

En la tabla 5 se puede observar el conjunto de piezas diseñadas que conforman el subensamblaje intermedio, incluyéndose imágenes en Catia V5 de cada una de ellas.

Tabla 5. Piezas subensamblaje intermedio.

Anclaje superior al eje central	Anclaje inferior al eje central
	

Una vez se conocen las piezas diseñadas que forman parte del subensamblaje en cuestión, queda conocer la posición de las mismas dentro del subensamblaje intermedio, así como algunas de sus principales características en cuanto a funcionalidad y diseño. En la figura 41 se puede ver el subensamblaje intermedio o de conexión con sus piezas disgregadas, de tal forma que se puede observar a simple vista la posición que cada una ocupa dentro del mismo.

Es importante destacar que existen algunos elementos del montaje que serán comprados y, por lo tanto, no se les va a dar especial relevancia en cuanto a elaboración en este apartado de diseño, ya que simplemente se incluyen en el ensamblaje en Catia V5 para dar mayor realidad al mismo, además de comprobar si todo encaja correctamente. En el ensamblaje aparecerán en colores llamativos para distinguirlos fácilmente del resto de piezas. En este caso hay que dar especial relevancia al eje vertical, ya que es un elemento que debe poseer características resistentes elevadas, siendo uno de los más solicitados del modelo global. Además este subensamblaje posee otros dos

ejes de fijación con respectivos cerramientos de eje. Otra pieza singular que se muestra en este subensamblaje se trata del soporte de rodamiento, la cual se encuentra fija al subensamblaje inferior y sirve como nexo de unión entre ambos.

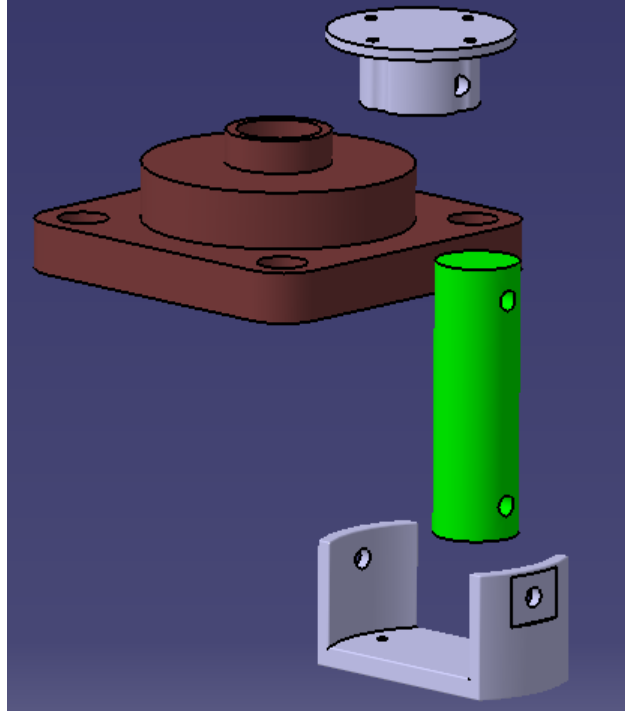


Figura 41. Despiece del conjunto de piezas del subensamblaje intermedio.

En la figura 42 se observa el ensamblaje con todas y cada una de sus restricciones, es decir, con la forma que tendrá en la realidad una vez llevado a cabo su montaje.

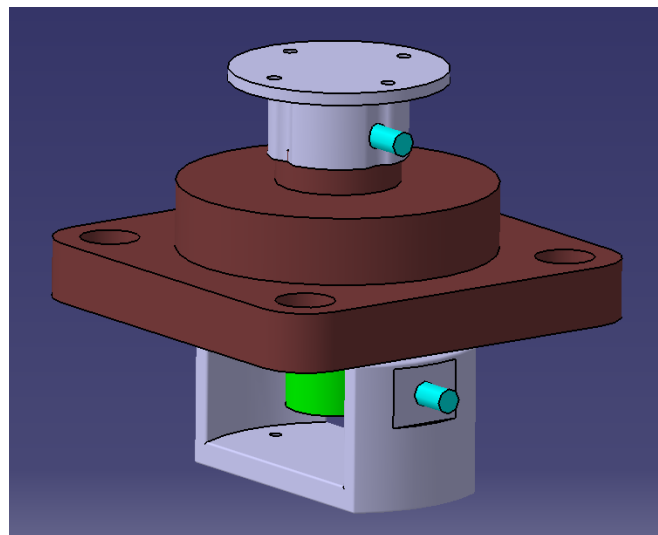


Figura 42. Subensamblaje intermedio completo.

➤ Anclaje superior al eje central:

La pieza está situada en la parte superior del subensamblaje. Posee un grado de libertad rotacional con respecto al mecanismo global, siendo dicha libertad la de rotación panorámica producida por el servomotor inferior.

En cuanto a su funcionalidad, es una pieza con altos requerimientos geométricos y resistentes ya que en ella debe ensamblarse correctamente el eje vertical del cuello, encontrándose ambas fijadas mediante un pasador que las atraviesa, además debe servir como nexo de unión con el mecanismo superior mediante cuatro tornillos.

En la figura 43 se puede ver una imagen de la pieza en Catia V5, mientras que en la figura 44 se observa el árbol de operaciones que la generan.

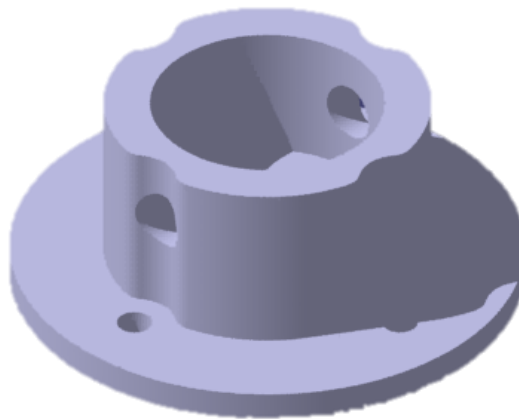


Figura 43. Modelo Catia V5 pieza anclaje superior al eje central.

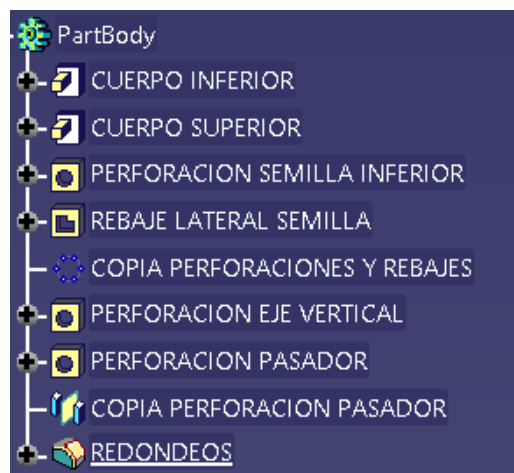


Figura 44. Árbol de operaciones de la pieza anclaje superior al eje central.

➤ Anclaje inferior al eje central:

La pieza es la situada más baja en el subensamblaje. Posee un grado de libertad rotacional en cuanto al mecanismo global, siendo éste el de rotación panorámica provocada por el servomotor inferior.

A la hora de hablar de la funcionalidad, se trata de una pieza con altos requerimientos tanto geométricos como resistentes, ya que es la que se encuentra directamente en contacto con el servomotor inferior, siendo la pieza que se encuentra atornillada a su cruceta. Es por lo tanto la pieza que hace que se transmita el movimiento de rotación panorámica a todo el mecanismo situado por encima de ella.

En la figura 45 se puede ver una imagen de la pieza en Catia V5, mientras que en la figura 46 se observa el árbol de operaciones que la generan.

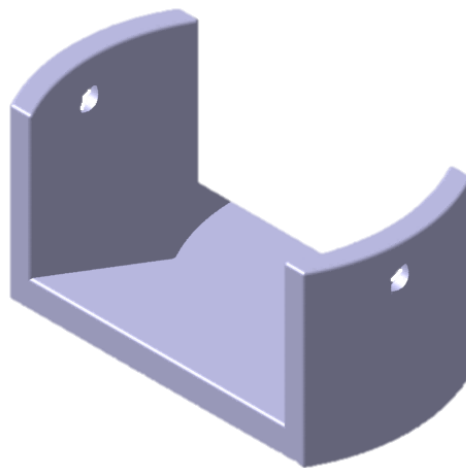


Figura 45. Modelo Catia V5 pieza anclaje inferior al eje central.

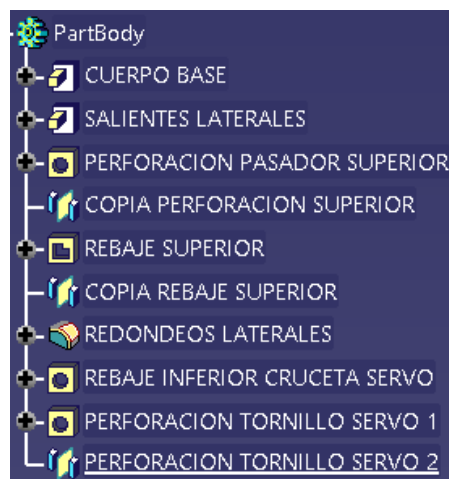
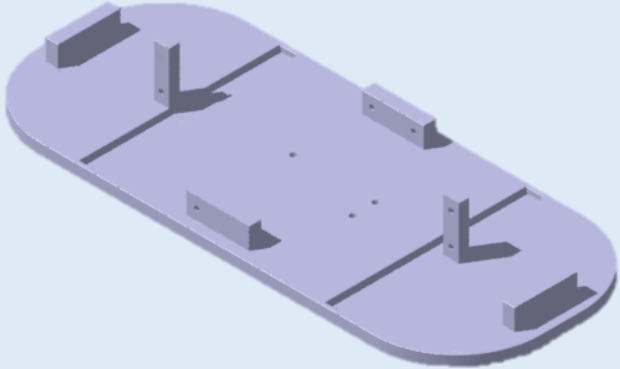
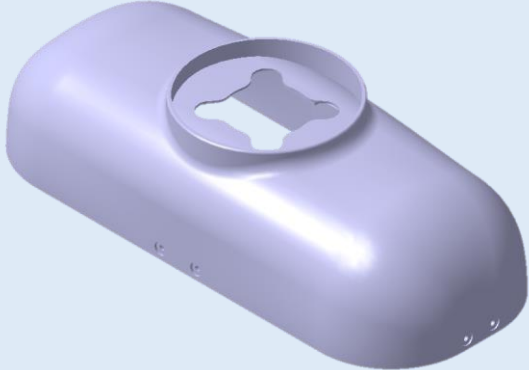
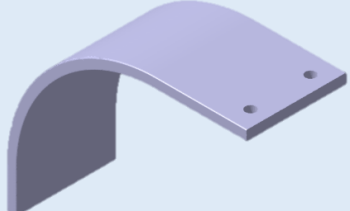
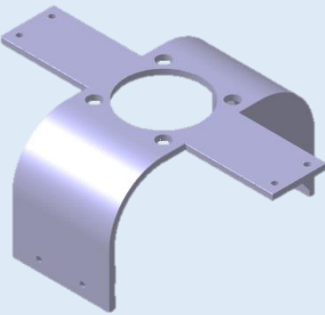
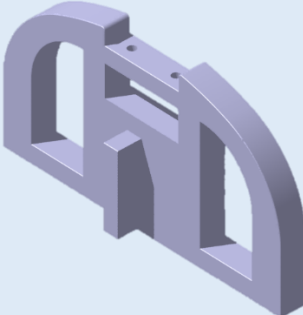
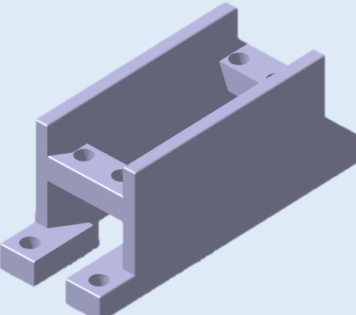
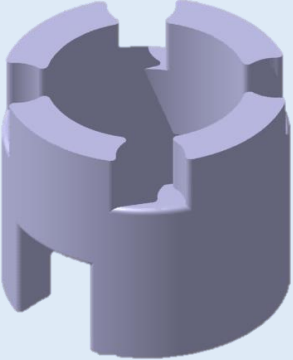
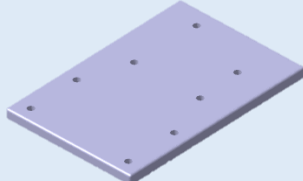


Figura 46. Árbol de operaciones de la pieza anclaje inferior al eje central.

SUBENSAMBLAJE INFERIOR O TORSO

En la tabla 6 se puede observar el conjunto de piezas diseñadas que conforman el subensamblaje inferior, incluyéndose imágenes en Catia V5 de cada una de ellas.

Tabla 6. Piezas subensamblaje inferior.

Base modelo torso		Recubrimiento torso	
			
Elemento lateral torso	Elemento central torso	Elemento de sujeción	
			
Soporte servomotor inferior	Soporte rodamiento inferior	Soporte electrónica	
			

Una vez se conocen las piezas diseñadas que forman parte del subensamblaje en cuestión, queda conocer la posición de las mismas dentro del subensamblaje inferior, así como algunas de sus principales características en cuanto a funcionalidad y diseño. En la figura 47 se puede ver el subensamblaje inferior o torso con sus piezas disgregadas, de tal forma que se puede ver la posición que cada una ocupa dentro del mismo.

En este caso no se representan en el ensamblaje los elementos externos, ya que el posicionamiento de dichas piezas queda perfectamente definido por las mismas. A continuación se incluye un listado con los elementos adquiridos que forman parte del subensamblaje inferior ya que algunos son de importancia en el conjunto global:

- Servomotor.
- Soporte de rodamiento, mostrado en el subensamblaje intermedio.
- Elementos electrónicos de control.
- Tornillos y tuercas.

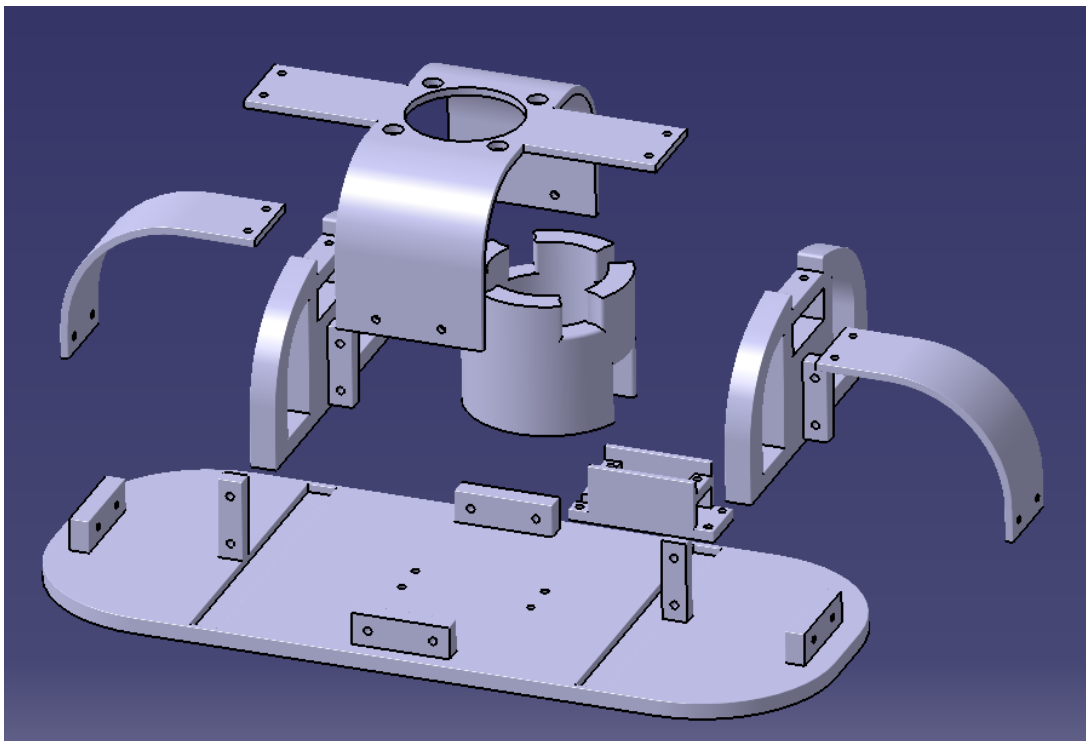


Figura 47. Despiece del conjunto de piezas del subensamblaje inferior.

En la figura 48 se observa el ensamblaje con todas y cada una de sus restricciones, es decir, con la forma que tendrá en la realidad una vez llevado a cabo su montaje.

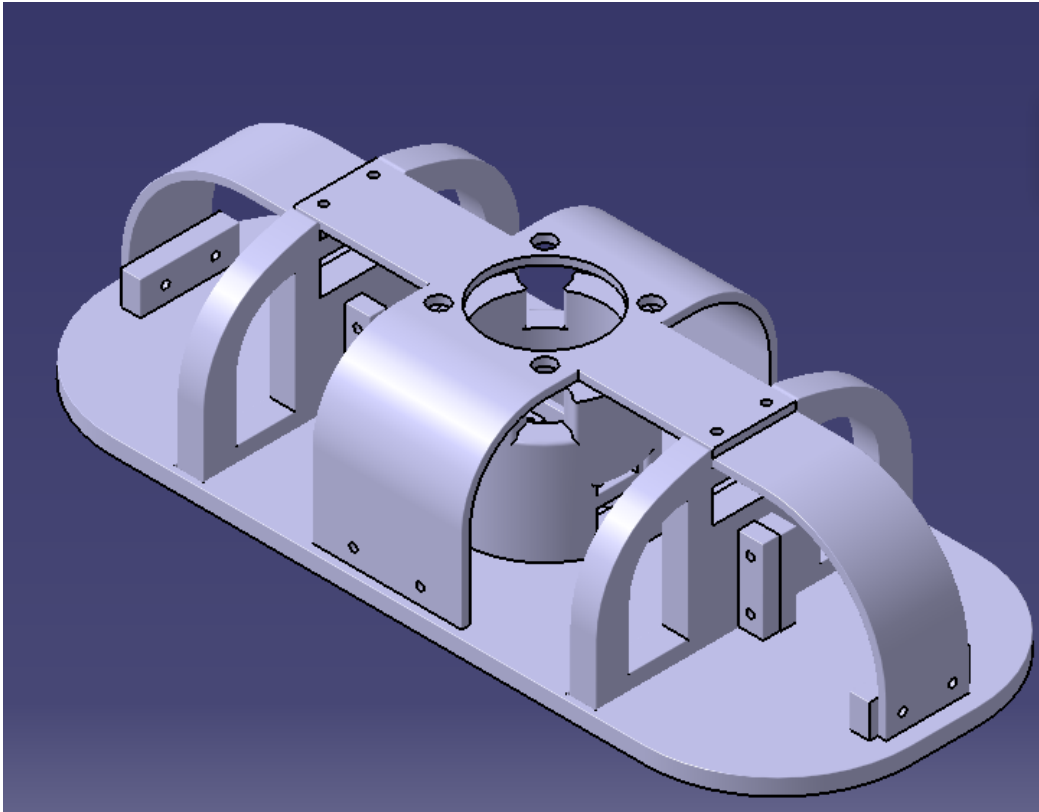


Figura 48. Subensamblaje inferior completo.

Este subensamblaje forma la bancada del mecanismo global, es decir, la parte fija del mismo; es por ello que no se mencionará en la explicación de las diferentes piezas los grados de libertad que poseen, ya que todas ellas son de valor nulo.

➤ Base modelo torso:

Esta pieza es una de las más importantes del subensamblaje inferior, ya que sobre ella se apoyan el resto de piezas que lo componen. Su funcionalidad se basa en dos aspectos, que son la resistencia y el posicionamiento de muchas de las piezas del sistema. La última es de las más importantes ya que se trata de la pieza que más conexiones posee con otras, además de dar alojamiento también a otros elementos como son el microprocesador, la fuente de alimentación, etc.

Pese a sus elevados requerimientos geométricos no se trata de una pieza de elevada complejidad de diseño, siendo únicamente necesario un especial cuidado en cuanto al control dimensional.

En la figura 49 se puede ver una imagen de la pieza en Catia V5, mientras que en la figura 50 se observa el árbol de operaciones que la generan.

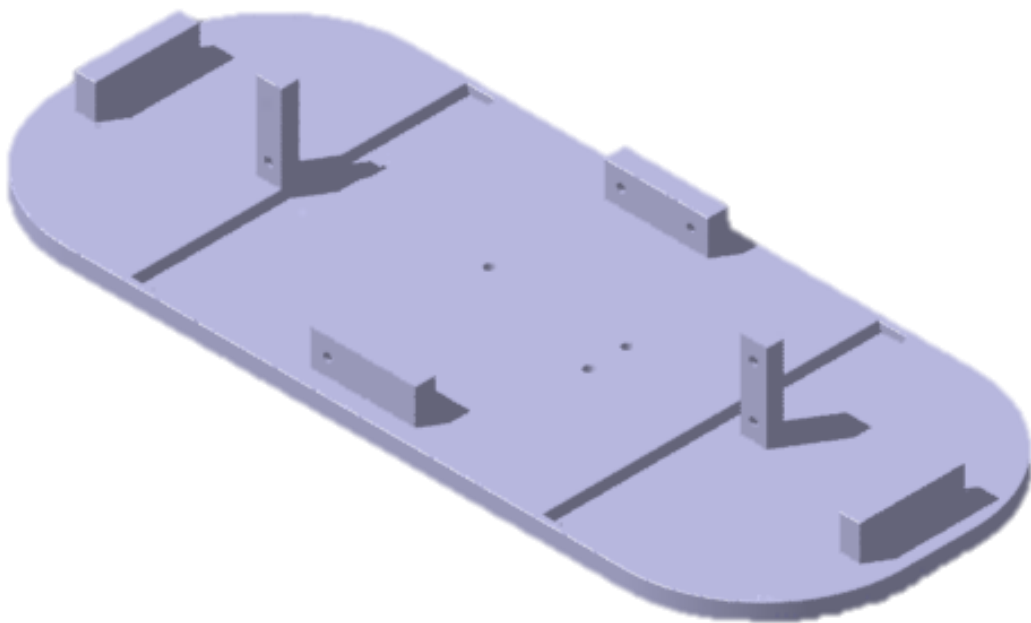


Figura 49. Modelo Catia V5 pieza base modelo torso.

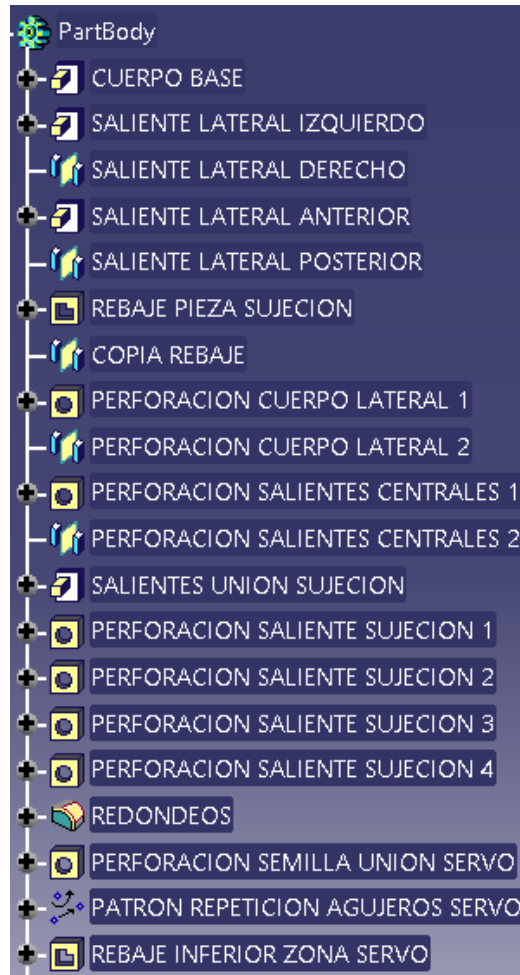


Figura 50. Árbol de operaciones de la pieza base modelo torso.

➤ Elemento lateral torso:

La pieza en cuestión se encuentra repetida, situándose en ambos laterales del subensamblaje inferior. En cuanto a su funcionalidad, se trata de una pieza con carácter resistente, ya que forma parte de la base la cual debe resistir de forma estática y dinámica los esfuerzos producidos por el resto de piezas del modelo. En cuanto a su carácter estético, no requiere de un acabado muy preciso ya que en principio el conjunto de piezas de la base irán cubiertas.

En la figura 51 se puede ver una imagen de la pieza en Catia V5, mientras que en la figura 52 se observa el árbol de operaciones que la generan.

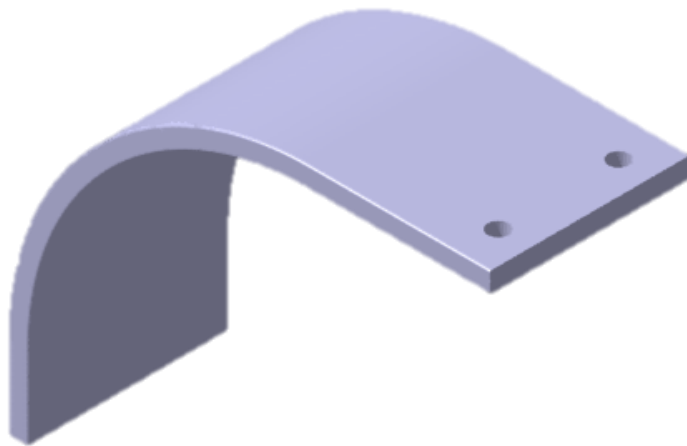


Figura 51. Modelo Catia V5 pieza elemento lateral torso.

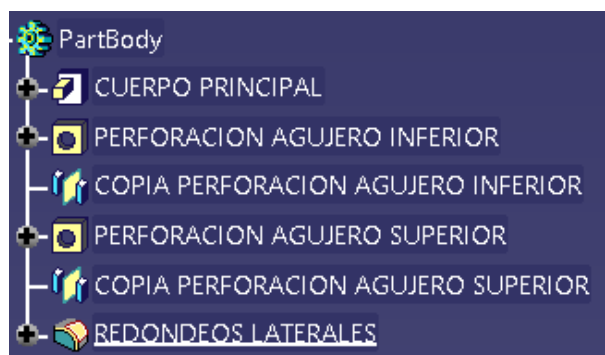


Figura 52. Árbol de operaciones del elemento lateral torso.

➤ Elemento central torso:

La pieza se encuentra localizada en la parte central del subensamblaje inferior. A la hora de hablar de la funcionalidad, se trata de una pieza con carácter exclusivamente resistente, ya que sobre ella se apoya en parte el soporte del rodamiento inferior, con un peso de influencia sobre el mecanismo. En cuanto a su carácter estético, no requiere de un acabado muy preciso ya que el conjunto de piezas de la base se encontrarán cubiertas.

En la figura 53 se puede ver una imagen de la pieza en Catia V5, mientras que en la figura 54 se observa el árbol de operaciones que la generan.

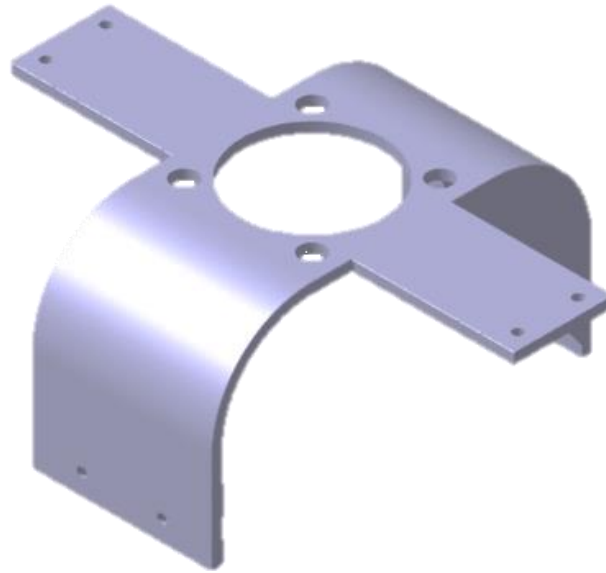


Figura 53. Modelo Catia V5 pieza elemento central torso.

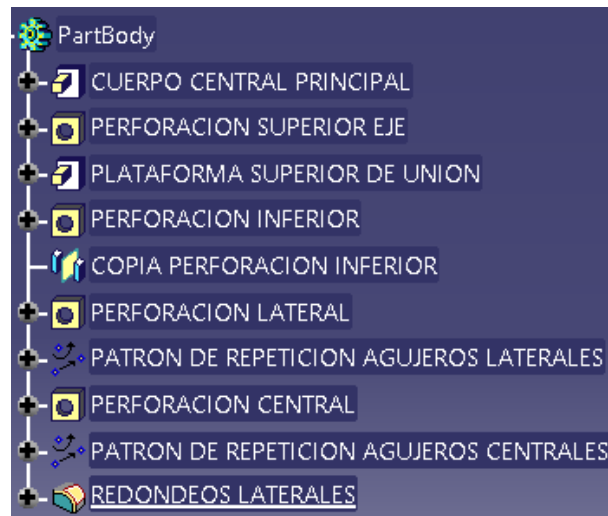


Figura 54. Árbol de operaciones del elemento central torso.

➤ Elemento de sujeción:

La pieza en cuestión se encuentra repetida, situándose ambas entre las dos piezas laterales y la pieza central. La funcionalidad de estas piezas es la de funcionar como elementos de sujeción para otras piezas y, por lo tanto, tienen un carácter únicamente resistente. Ambas sirven como unión de la parte superior de las dos piezas de “elemento lateral torso” y del “elemento central” entre sí y con respecto a la pieza “base modelo torso”.

En la figura 55 se puede ver una imagen de la pieza en Catia V5, mientras que en la figura 56 se observa el árbol de operaciones que la generan.

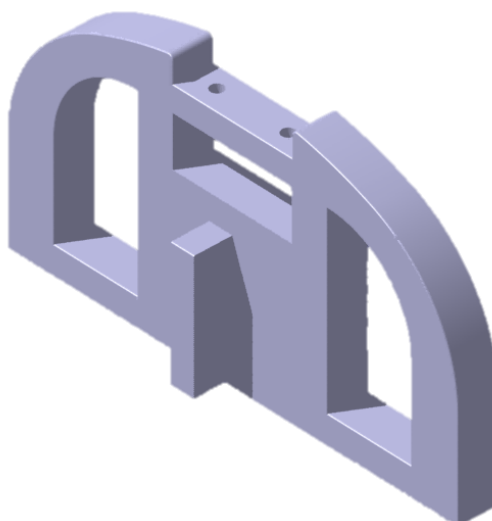


Figura 55. Modelo Catia V5 pieza elemento de sujeción.

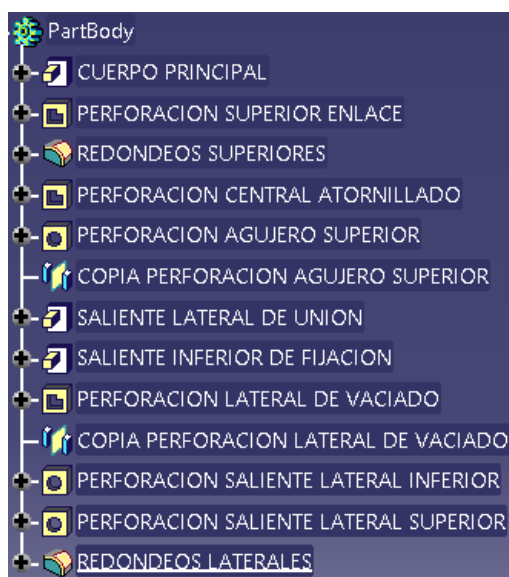


Figura 56. Árbol de operaciones del elemento de sujeción.

➤ Soporte servomotor:

Este elemento se encuentra situado aproximadamente en el centro de la base, ya que sobre esta pieza se apoyará el servomotor que produce la rotación panorámica del conjunto de la cabeza. En cuanto a la funcionalidad de la pieza, consiste en amarrar el servomotor a la base, impidiendo cualquier movimiento del mismo.

En la figura 57 se puede ver una imagen de la pieza en Catia V5, mientras que en la figura 58 se observa el árbol de operaciones que la generan.

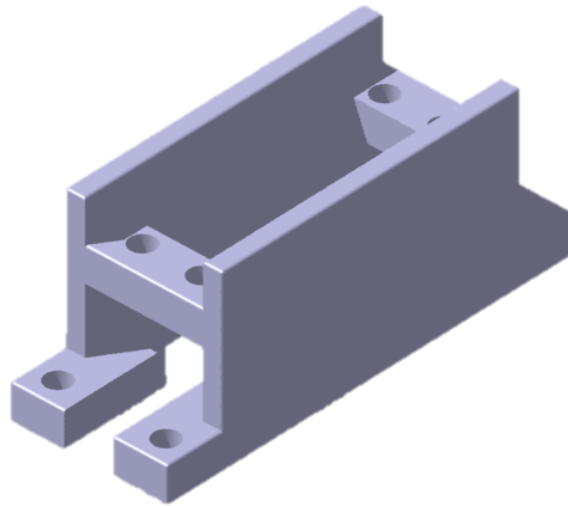


Figura 57. Modelo Catia V5 pieza soporte servomotor inferior.

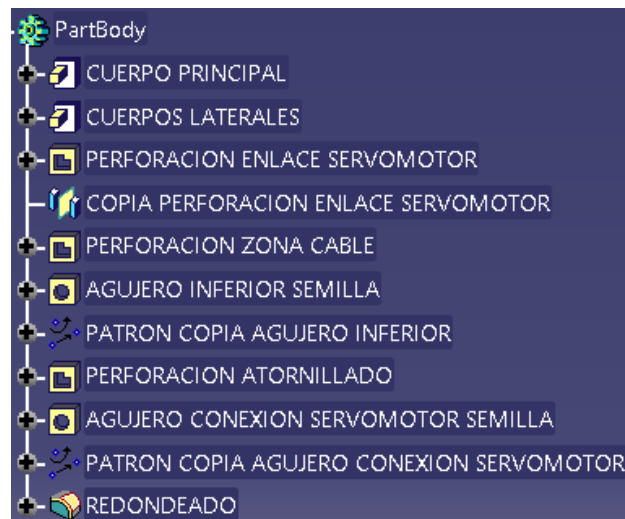


Figura 58. Árbol de operaciones de la pieza soporte servomotor inferior.

Para la obtención de la superficie límite inferior de la pieza “soporte rodamiento” se realiza un cubicado de la pieza “soporte servomotor”, de tal forma que la primera no requiere de elementos de unión ya que puede

encontrarse directamente encajada en la otra. En primer lugar, la realización de la superficie partiendo del cubicado surgió posteriormente a la realización de la pieza, más concretamente al pensar una forma de sujeción del elemento de soporte del servomotor. Por este motivo se desarrolló la superficie límite inferior que tendría el cuerpo a diseñar en este modelo, se publicó dicha superficie y se copió en la nueva pieza a realizar, siendo dicha superficie la mostrada en la figura 59 y el árbol de operaciones de superficies el de la figura 60.

Las publicaciones en Catia V5 permiten copiar con link un elemento, de tal forma que siempre que éste se modifique, mientras el vínculo no se rompa y esté actualizado, la modificación se hará activa también en el elemento donde esté copiado. Al encontrarse publicado un elemento se impide toda modificación sobre el mismo, a excepción de las realizadas en el fichero de origen donde fue creada dicha publicación.

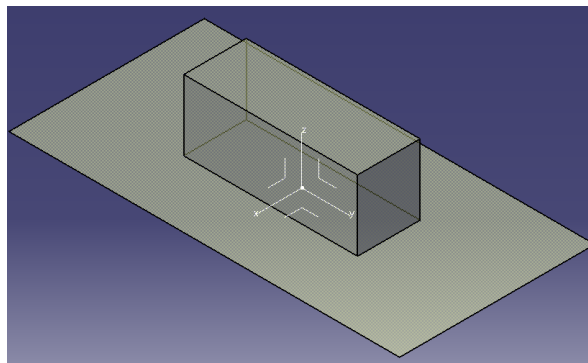


Figura 59. Superficie inferior hueco servomotor.

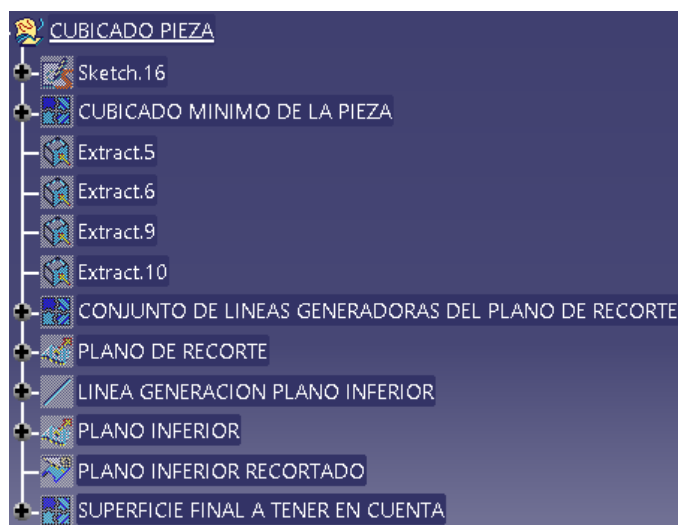


Figura 60. Árbol de operaciones de superficies soporte servomotor inferior.

➤ Soporte rodamiento:

La posición de la pieza es la parte inferior en contacto con la pieza base y concéntrica con respecto al eje panorámico de la cabeza, es decir, en el centro del modelo. En cuanto a la funcionalidad de la pieza, esta consiste principalmente en realizar una labor resistente, soportando parte del peso del elemento soporte de rodamiento ya que, como se ha determinado antes, se trata de un elemento de gran influencia en el peso del modelo. También es necesario que deje el espacio suficiente para que en su interior albergue la pieza “soporte servomotor”, siendo respetado dicho espacio gracias a la superficie límite explicada antes.

En la figura 61 se puede ver una imagen de la pieza en Catia V5, mientras que en la figura 62 se observa el árbol de operaciones que la generan.

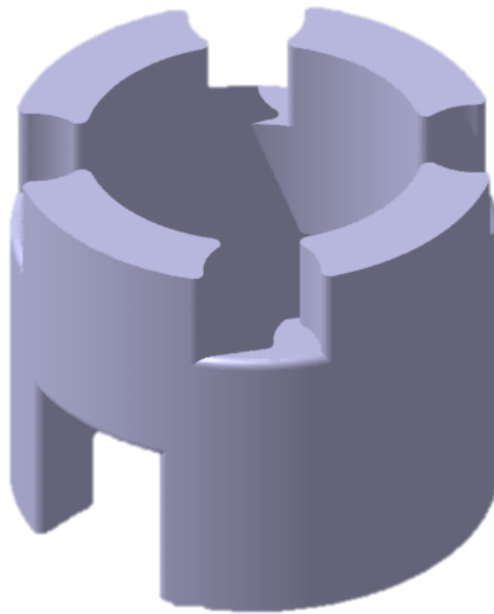


Figura 61. Modelo Catia V5 pieza soporte de rodamiento inferior.

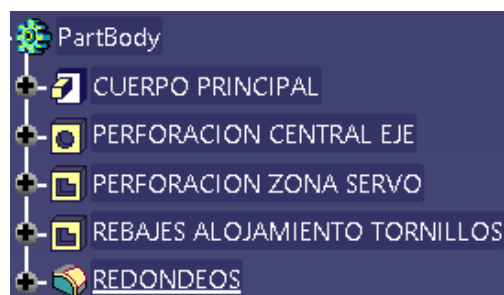


Figura 62. Árbol de operaciones de la pieza soporte de rodamiento inferior.

➤ Soporte electrónica:

Esta pieza es creada con el único objetivo de servir como anclaje para algunos de los elementos electrónicos que se posicionan sobre el subensamblaje inferior. Ésta irá pegada sobre la pieza “base modelo torso” y no posee requerimientos resistentes ni estéticos.

En la figura 63 se puede ver una imagen de la pieza en Catia V5, mientras que en la figura 64 se observa el árbol de operaciones que la generan.

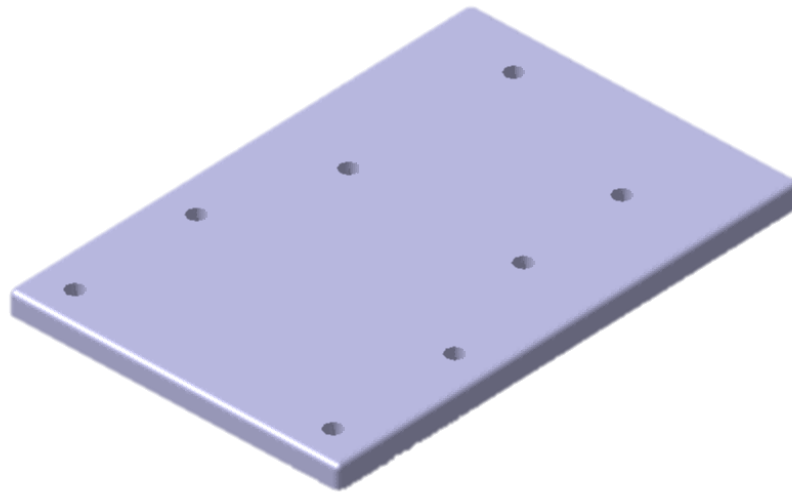


Figura 63. Modelo Catia V5 pieza soporte electrónica.



Figura 64. Árbol de operaciones de la pieza soporte electrónica.

➤ Recubrimiento torso:

Esta pieza se genera con el objetivo de cubrir todos los elementos que componen el torso, actuando como una pieza únicamente estética.

En la figura 65 se puede ver una imagen de la pieza en Catia V5, mientras que en la figura 66 se observa el árbol de operaciones que la generan.



Figura 65. Modelo Catia V5 pieza recubrimiento torso.

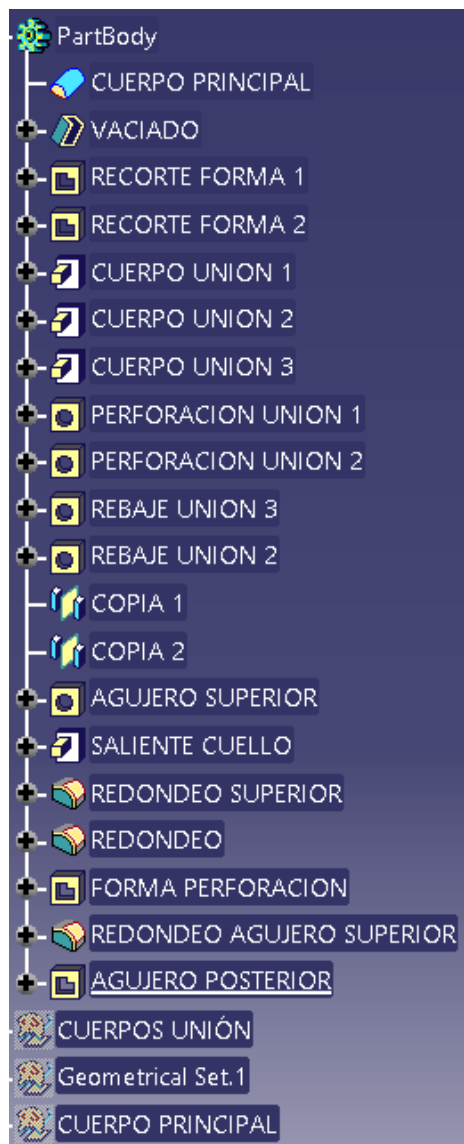
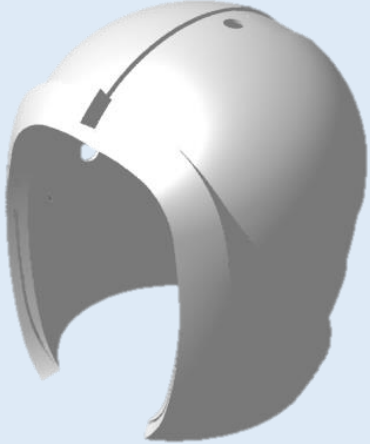
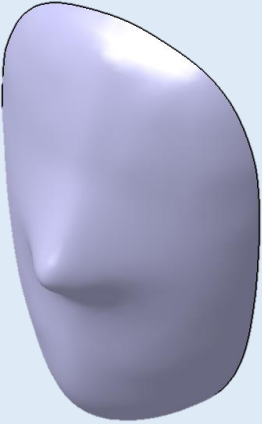
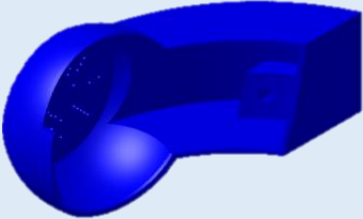
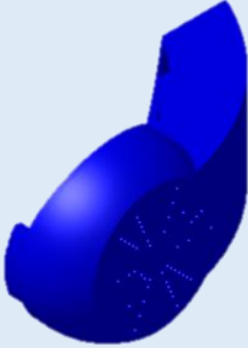
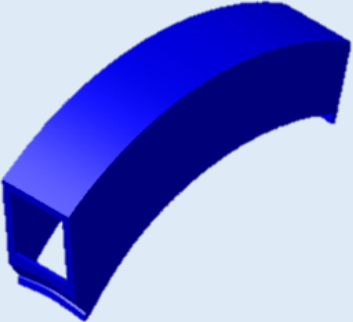

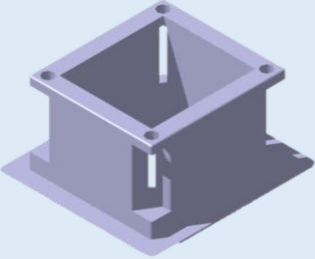



Figura 66. Árbol de operaciones de la pieza recubrimiento torso.

SUBENSAMBLAJE CASCO

En la tabla 7 se pueden observar el conjunto de piezas diseñadas que forman el subensamblaje casco, incluyéndose imágenes en Catia V5 de cada una de ellas.

Tabla 7. Piezas subensamblaje casco.

Casco		Máscara
		
Orejera izquierda	Orejera derecha	Saliente superior cámara
		
Saliente posterior	Soporte cámara	Elementos sujeción inferior
		

Una vez se conocen las piezas diseñadas que forman parte del subensamblaje en cuestión, queda determinar la posición de las mismas dentro del subensamblaje inferior, así como algunas de sus principales características en cuanto a funcionalidad y diseño. En la figura 67 se puede ver el subensamblaje inferior o torso con sus piezas disgregadas, de tal forma que se observa a simple vista la posición que cada una ocupa dentro del mismo.

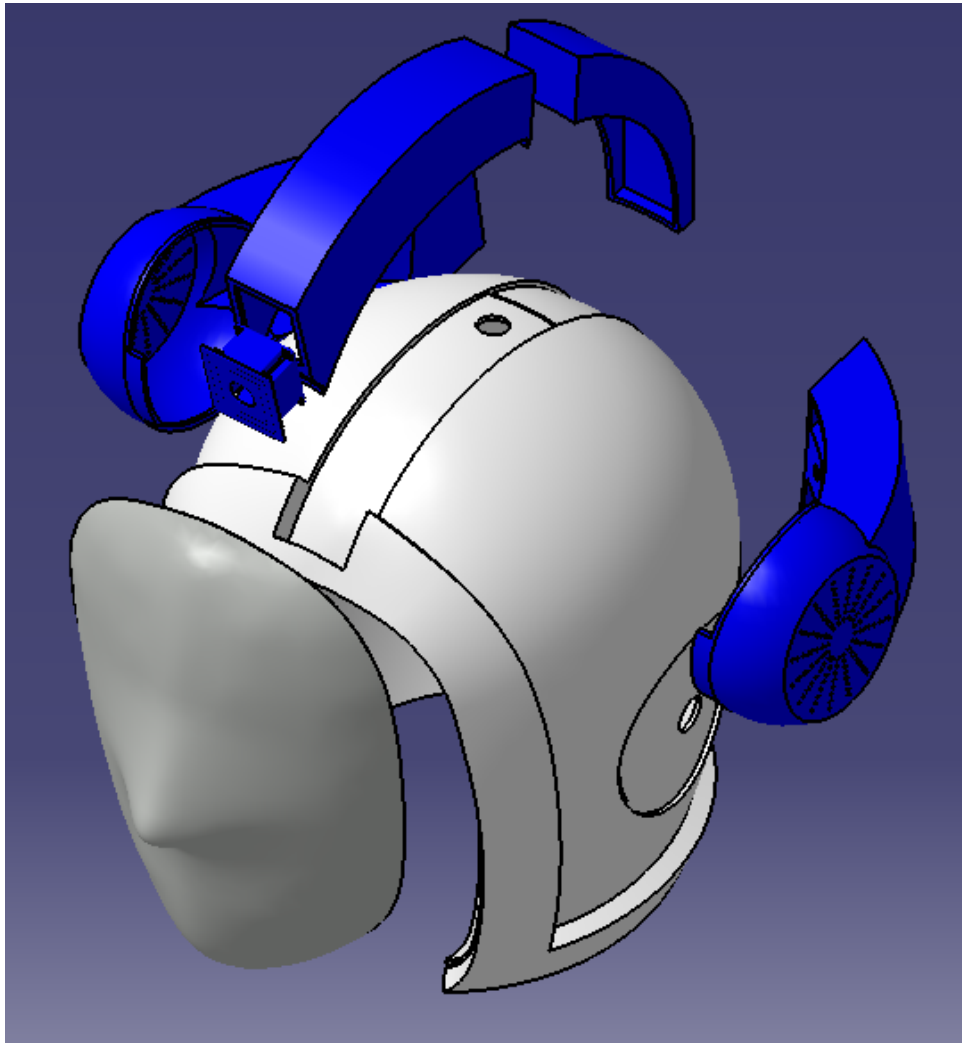


Figura 67. Despiece del conjunto de piezas del subensamblaje casco.

En la figura 68 se observa el ensamblaje con todas y cada una de sus restricciones, es decir, con la forma que tendrá en la realidad una vez llevado a cabo su montaje.



Figura 68. Subensamblaje casco completo.

En el subensamblaje casco todas las piezas van unidas directamente al conjunto sólido formado por las piezas “sección cabeza intermedia” y “soporte proyector y servomotor”, de tal forma que todas ellas poseen los mismos grados de libertad que éstas, teniendo en cuenta que forman parte del mecanismo de cuadrilátero articulado que genera el movimiento de cabeceo.

A continuación se definen las piezas del subensamblaje del casco. Éste, a pesar de poseer un número no muy elevado de componentes, ha sido el que más complejo ha sido de diseñar, empleando para su desarrollo, en su mayor parte, el módulo de superficies del programa Catia V5 “Generative Shape Design”.

En cuanto a la elaboración de las diferentes piezas cabe destacar que, en un primer momento, se generó todo el sólido como una única pieza, a partir de la cual, determinando diversos elementos de recorte como superficies y planos, se obtuvieron las piezas restantes de las que se compone el ensamblaje.

➤ Casco:

Se trata de la pieza principal del subensamblaje, sobre la que se apoyan el resto de piezas y la cual se muestra en la figura 69. A su vez, se trata del elemento de diseño más complejo de todo el proyecto, teniendo en cuenta que el resto, a excepción de la máscara, se diseñan en un solo modelo que será posteriormente seccionado, facilitando de esta forma el correcto dimensionado de las mismas.

En la figura 70 se puede observar el árbol de operaciones para la creación del conjunto de piezas, incluyendo el seccionamiento de las anteriores, y en el Anexo 2 de este documento se encuentran detalladas las etapas de diseño para la generación de este conjunto de piezas empleando Catia V5.

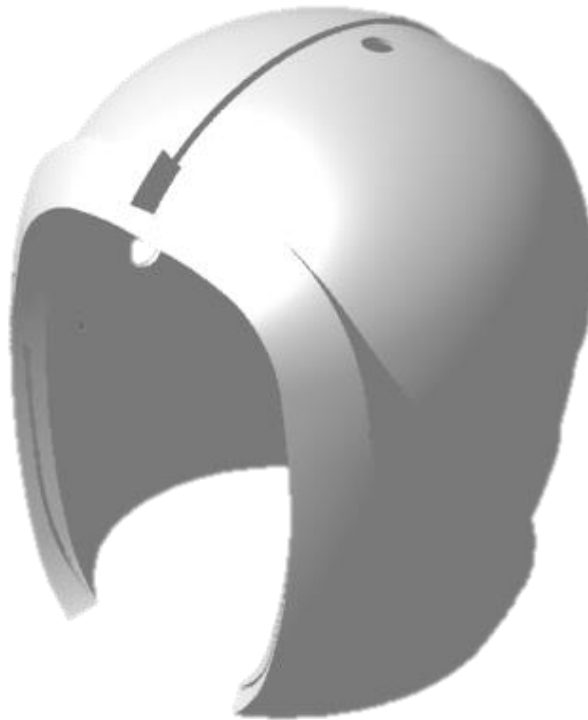


Figura 69. Modelo Catia V5 pieza casco.

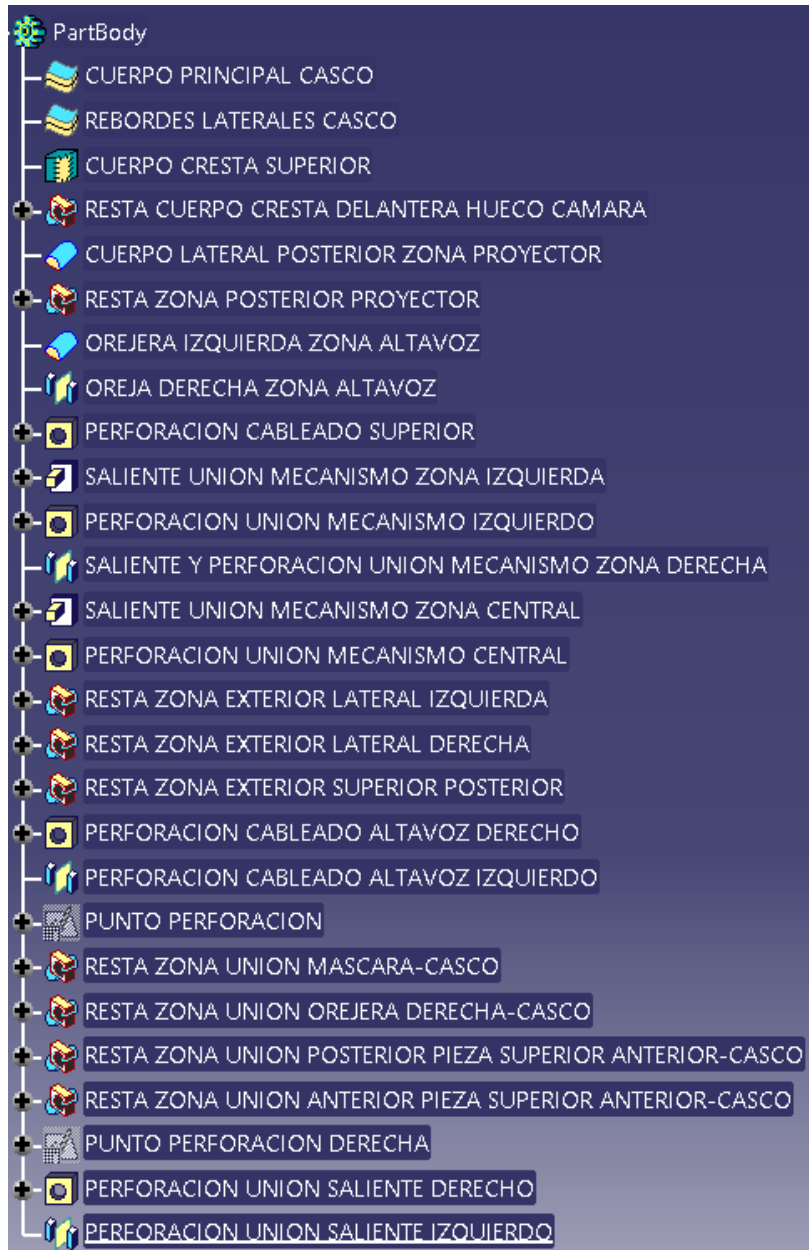


Figura 70. Árbol de operaciones del conjunto de piezas del casco.

En la figura 71 se muestran los sets de operaciones de superficies para la creación del casco, definiéndose las operaciones en su interior en el Anexo 2.

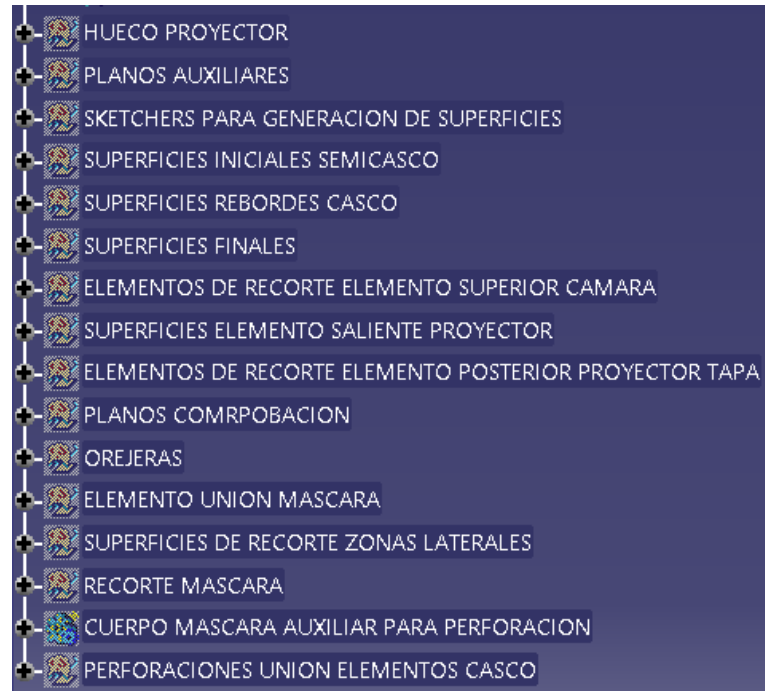


Figura 71. Sets de operaciones de superficies del casco.

En la figura 72 se muestran las publicaciones correspondientes a los elementos utilizados por otros archivos. Esto se lleva a cabo con las diferentes piezas que componen el casco, de tal forma que éstas se actualicen en el caso de que se produzca cualquier cambio en el documento del de origen o documento de generación del casco.

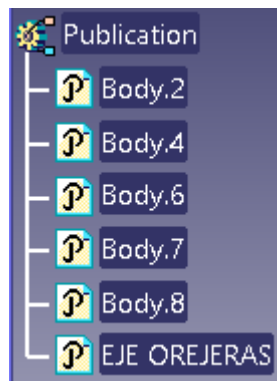


Figura 72. Publicaciones piezas casco.

➤ **Máscara:**

A parte de las piezas del casco propiamente dichas, en relación con las mismas es imprescindible hablar de la pieza de la máscara. Ésta no es diseñada directamente en Catia V5, si no que se desarrolla una malla en el entorno de Blender para luego ser transportada a Catia para recortarla y darle espesor. La parte de diseño en Blender es llevada a cabo por la otra parte del proyecto.

El proceso de obtención de la misma una vez obtenido el modelo en formato .stl por lo tanto, comienza con la importación de la malla desde el entorno de Blender, de tal forma se obtiene una nube de puntos con la unión de los cuales se consigue la superficie de la máscara propiamente dicha. A partir de esa nube se genera la superficie necesaria para la obtención del sólido, el cual se genera con la operación de *ThickSurface*, dando un espesor a la geometría plana anterior y creando el cuerpo máscara. En la figura 73 se puede ver la sucesión de las diferentes operaciones.

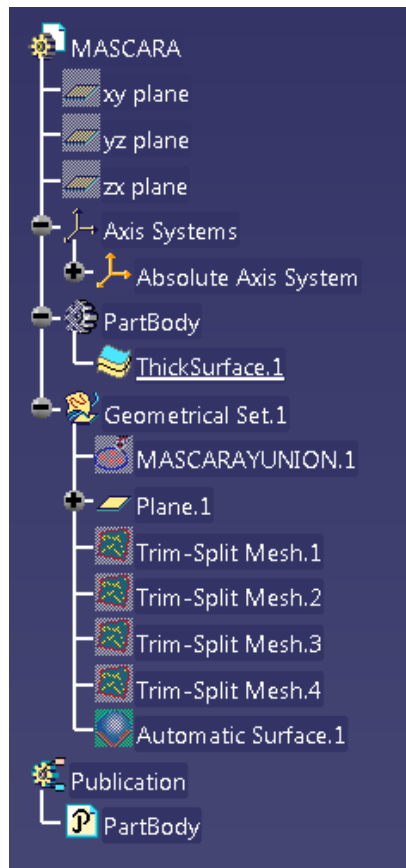


Figura 73. Árbol de operaciones para generar la pieza máscara.

El resultado final en Catia V5 es el mostrado en la figura 74, como se puede ver se trata de una superficie de gran complejidad y es por ello que se decidió no llevarla a cabo empleando este programa.

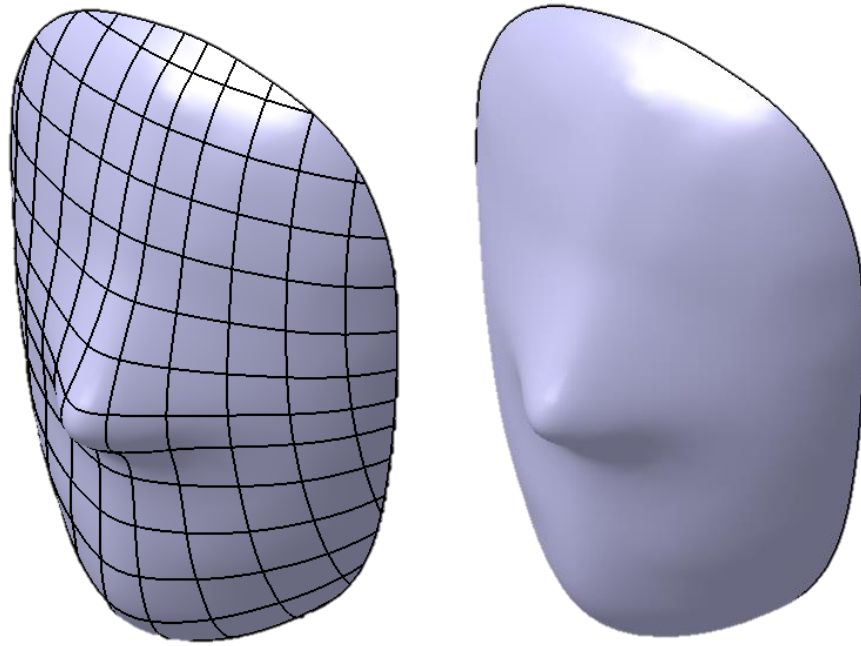


Figura 74. Modelo Catia V5 pieza máscara.

➤ Orejeras:

La orejera se trata de uno de los elementos estéticos unidos a la pieza principal del casco, el diseño en Catia V5 se muestra en la figura 75 y la figura 76, siendo la izquierda y la derecha respectivamente. Se diseña con dos funciones principales, la primera de las cuales es con respecto al problema de la distancia de proyección, la cual obliga a que el proyector se encuentre en una posición muy alejada de la máscara, haciendo que sea necesario disimularlo de algún modo en la parte posterior de la cabeza, lo cual se logra con la implementación de ambas. En segundo lugar, una idea de desarrollo posterior del proyecto pasa por la inclusión de unos altavoces que permitan ampliar la interacción con el entorno, y se considera que estas piezas serían idóneas para albergarlos.



Figura 75. Modelo Catia V5 pieza orejera izquierda.

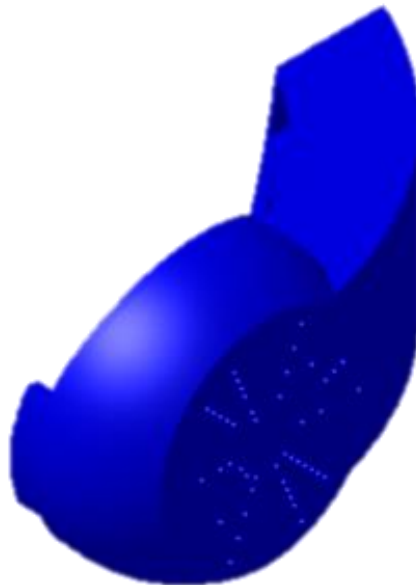


Figura 76. Modelo Catia V5 pieza orejera derecha.

➤ Saliente superior cámara:

Éste es otro de los elementos principales adheridos a la pieza principal del casco, tratándose de un elemento no solo estético sino que posee también una funcionalidad en el posterior uso de la cabeza robótica. En un primer momento la pieza se pensó con una idea simplemente estética pero, al igual que ocurre con las orejeras, se planteó su utilización en un futuro como la pieza que incluya una cámara para continuar el desarrollo del modelo. En la figura 77 se muestra una imagen del diseño en Catia V5.

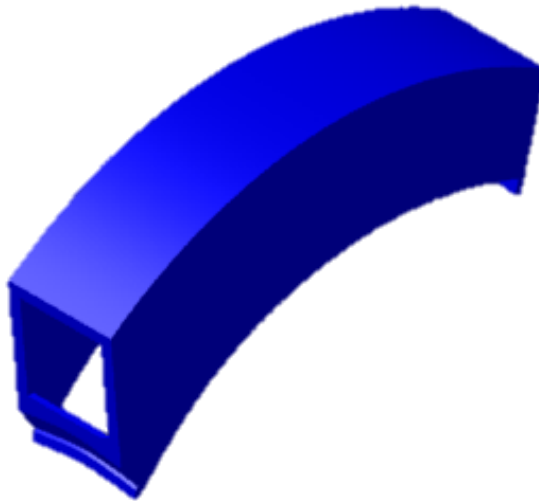


Figura 77. Modelo Catia V5 pieza saliente superior cámara.

➤ Saliente posterior:

En este caso, al contrario que ocurre con los anteriores, se trata de una pieza únicamente estética, recortada del resto del casco para facilitar la labor de impresión del mismo. Ésta se puede colocar por pegado sobre la pieza principal del casco, o bien simplemente posicionarla por encaje en el mismo. En la figura 78 se muestra una imagen del diseño en Catia V5.



Figura 78. Modelo Catia V5 pieza saliente posterior.

➤ Soporte cámara:

La pieza de soporte cámara se trata de un elemento que se coloca por encaje sobre la pieza soporte cámara, y no en la pieza principal del casco como ocurre con el resto de elementos del subensamblaje casco. La pieza se diseña con la idea de posicionar una cámara USB para la realización de algunas pruebas cuando el montaje de la cabeza robótica llegue a su fin. Es importante destacar que el encaje de la misma se podría haber realizado directamente sobre la pieza “saliente superior cámara”, pero se decide realizarlo en dos piezas distintas para que, en caso de requerirse un cambio de cámara, solo sería necesario repetir ésta y no modificar toda la pieza superior. Su diseño en Catia V5 se muestra en la figura 79.

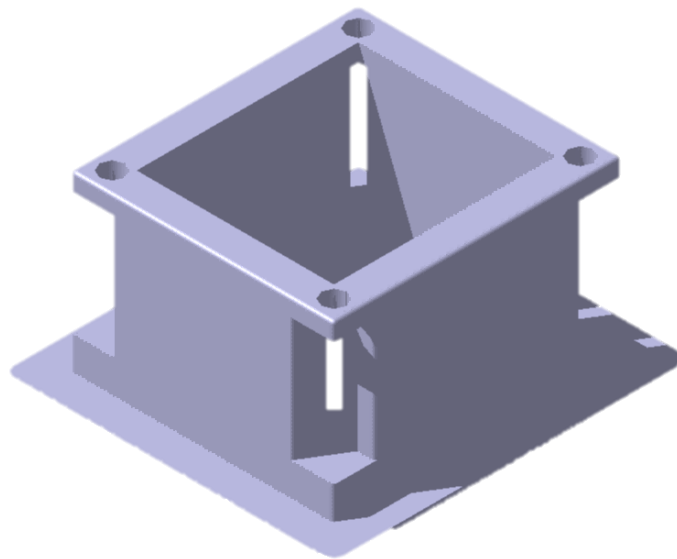


Figura 79. Modelo Catia V5 pieza soporte cámara.

➤ Elementos inferiores de sujeción:

Estas dos piezas simétricas, mostrado el diseño de una de ellas en la figura 80, se diseñan posteriormente al montaje real del subensamblaje casco con el objetivo de mejorar la sujeción y el posicionamiento de la zona de la máscara. Ésta, al igual que su simétrica ya mencionada, se posiciona en la parte anterior e inferior del casco, estando cada una en uno de los laterales del mismo.



Figura 80. Modelo Catia V5 piezas elementos inferiores de sujeción.

CAPÍTULO 5: ELEMENTOS ELECTRÓNICOS Y SU CONFIGURACIÓN

CONFIGURACIÓN COMPONENTES ELECTRÓNICOS EN EL MODELO

El cometido de este apartado está dedicado a la explicación de la configuración de montaje llevada a cabo para lograr el control de los dos servomotores HS-M7990TH de la marca Hitec [11], a partir de los cuales se debe lograr el movimiento de la cabeza robótica según lo previsto. Se muestra una imagen del mismo en la figura 81.

En la tabla 8 aparecen las especificaciones de rendimiento de ambos servomotores, y en la tabla 9 las especificaciones físicas. Todas las características cumplen los límites establecidos en el cálculo cinemático y dinámico del sistema como se determinó en dicho apartado.



Figura 81. Servomotor modelo HS-M7990TH.

Tabla 8. Especificaciones de rendimiento de los servomotores.

Especificaciones de rendimiento	
Rango de voltaje de funcionamiento (V)	6.0V ~ 7.4V
Velocidad (segundo/60°)	0.21 ~ 0.17
Rango de par máximo kg cm.	36.0 ~ 44.0
Empate actual en reposo	23 mA
Consumo de corriente de funcionamiento sin carga	480 mA
Parada del sorteo actual	9,800 mA
Ancho de banda muerta	1 μ s

Tabla 9. Especificaciones físicas servomotores.

Especificaciones físicas	
Dimensiones (mm)	43,8 x 22,4 x 40,0
Peso (g)	79,0
Tipo de circuito	G2.5 programable digital
Tipo de motor	Cepillo de metal sin núcleo
Material de engranaje	Metal
Tipo de rodamiento	Doble rodamiento de bolas
Eje de salida (tipo / Ømm)	Norma 24
Material de la Caja	Plástico / aluminio
Resistencia al polvo / agua	A prueba de salpicaduras
Medidor de conector (AWG) / recuento de hilos	20/80

Para llevar a cabo el control de los dos servomotores ya mencionados, se decide la utilización del microprocesador ESP32 DEVKIT V1 [12], sobre el cual será cargado el programa de control que determina el funcionamiento del sistema. Las características básicas de este microprocesador son las que aparecen resumidas en la tabla 10.

Tabla 10. Especificaciones técnicas del microprocesador.

Especificaciones	
Microcontrolador	CPU Tensílica de 32 bits de núcleo simple/doble Xtensa LX6
Voltaje de funcionamiento	3.3 V
Voltaje de entrada	7-12 V
Pines de E/S digitales (DIO)	28
Clavijas de entrada analógica (ADC)	8
Pines de salidas analógicas (DAC)	2
UARTs	3
SPIs	2
I2Cs	3
Memoria Flash	4 mb
SRAM	520 kb
Velocidad de reloj	240 Mhz
Wi-Fi	IEEE 802.11b/g/n/e/i

El Esp32 DevKit v1 es uno de los tableros de desarrollo creados por DOIT, el cual incluye el módulo ESP-WROOM-32, el conjunto cuenta con WiFi, Bluetooth, Ethernet y soporte de baja potencia. En la figura 82 se muestra una imagen de la placa en cuestión donde se aprecian el conjunto de pines de entrada, así como el puerto de conexión micro B USB, el módulo ESP-WROOM-32 y los botones de BOOT y RESET.



Figura 82. Microprocesador modelo Esp32 DevKit v1.

El motivo de la elección de este microprocesador en concreto es la utilización del módulo WiFi, de tal forma que permita una conexión remota de los servomotores, lo cual dotaría a la cabeza robótica de la posibilidad de un funcionamiento autónomo, sin necesidad de encontrarse en todo momento conectada a un ordenador para el control de sus movimientos.

El resto de elementos electrónicos utilizados en el montaje son una fuente de alimentación de 12 V, un transformador de tensión para conectar los servomotores a la corriente de funcionamiento correcta, entre 6 V y 7,4 V, y una regleta de cableado para las diversas conexiones.

Todos estos elementos antes mencionados van posicionados sobre la base fija o subensamblaje torso, a excepción del servomotor superior cuya posición se encuentra sobre la pieza “soporte proyector y servomotor” del mecanismo superior de cabeceo.

CÓDIGO DE CONTROL DE LA CABEZA ROBÓTICA

A la hora de diseñar el código para realizar el control de los servomotores, se plantearon diferentes opciones entre las cuales se desarrollaron y probaron las siguientes:

- Implementación de un joystick para el que cada una de las direcciones del mismo serviría para mover uno de los dos servomotores, mientras que el botón funcionaba como botón de detención de los mismos. Este programa es de gran utilidad en primera instancia para comprobar de forma rápida el correcto funcionamiento del modelo.
- Control de ambos servomotores a través del monitor serie del programa Arduino ID, de esta forma se señalan los movimientos a realizar por ambos servomotores simultáneamente y de forma precisa.
- Control de ambos servomotores de forma externa, empleando cualquier dispositivo con acceso a internet. Este será el último programa utilizado, ya que no limita a la cabeza robótica a ser controlada únicamente empleando un ordenador como ocurriría con el anterior. Añadido a esto, en caso de ser necesario, también se puede emplear el control mediante el monitor serie.

A continuación se explica el funcionamiento del código final empleado [13], definiendo las librerías y comandos empleados. En cuanto a las librerías, se emplean la “WiFi.h” y la “Servo.h”, siendo la primera la que permite la conexión del microprocesador con una red WiFi, habilitando de esa forma el control remoto a través de la dirección IP que se muestra en el monitor serie; la segunda es la librería que introduce el conjunto de comandos que servirán para el control de los servomotores.

Una ventaja del uso de la librería de servomotores es que se logra un mejor control de los mismos, pudiendo realizarse disminuciones de velocidad correctamente, ya que para ese caso concreto el arco de giro del servomotor, de 180°, se divide en ciento ochenta pasos y, por lo tanto, al introducir un lapso de tiempo entre paso y paso no se observan dichas pausas en el modelo real. Es por ello que se emplea esta librería en lugar de utilizar otro tipo de funciones de control, ya que en estas el número de pasos es menor y por ello no es tan sencillo realizar un control efectivo de la velocidad.

A continuación, se incluye un diagrama de flujo que define el funcionamiento del programa de control empleado, dividido entre la figura 83 y la figura 84.

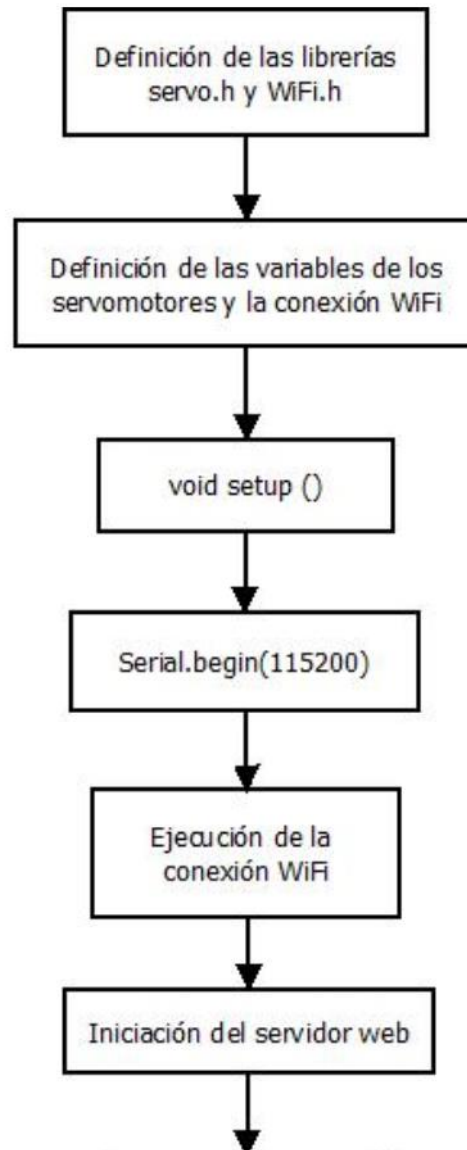


Figura 83. Diagrama de flujo del programa de control, parte 1.

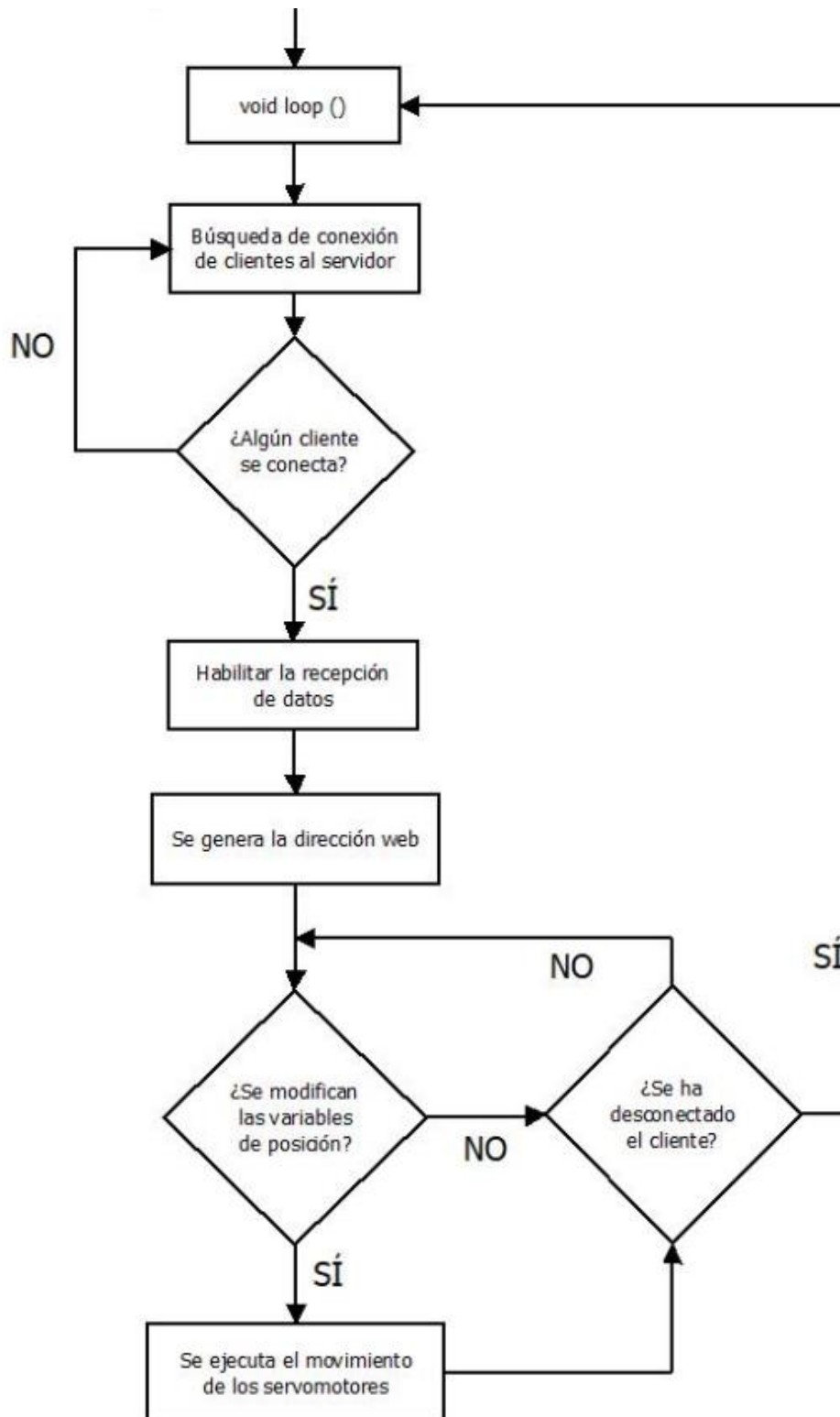


Figura 84. Diagrama de flujo del programa de control, parte 2.

El siguiente paso es el de llevar a cabo una escueta definición del código empleado y el funcionamiento del mismo, para ello se dividirá en tres partes, la parte inicial de llamada de librerías e introducción de variables, la parte del “void setup” y por último la del “void loop”. No se lleva a cabo una explicación más detallada del código ya que éste se encuentra comentado de forma suficiente, además del diagrama de flujo ya mostrado.

En la introducción de variables, se realiza en primer lugar la llamada a las dos librerías ya mencionadas, así como la inicialización de las variables de los servomotores y el nombre y contraseña de la red WiFi a la que se va a conectar el microprocesador.

```
#include <WiFi.h>    // Introducción de la librería Wi-Fi.h para conexión remota.
#include <Servo.h>    // Introducción de la librería Servo.h de control de los servomotores.

Servo myservo1,myservo2; // Crear un elemento servo para controlar un servomotor.
// Se pueden crear hasta doce elementos servo.

// GPIO al que se encuentran conectados los servomotores.
static const int servo1Pin = 36; // Movimiento de izquierda-derecha.
static const int servo2Pin = 39; // Movimiento de arriba-abajo.

// Introducir las credenciales de red correspondientes.
const char* ssid    = "Mecatronica";
const char* password = "*Disa.Eij*";

// Establecer el número de puerto del servidor web en 80.
WiFiServer server(80);

// Variable para almacenar la solicitud HTTP.
String header;
```



```
// Decodificar el valor HTTP GET.  
String valueString = String(5);  
int pos1 = 0;  
int pos2 = 0;
```

En cuanto al “void setup”, en él se enlaza la variable objeto de cada servomotor con el puerto al que está conectado cada uno de ellos, dejándolos de esta forma ligados a los potenciómetros que aparecerán al entrar en la dirección IP que se muestra en el monitor serie. A su vez, también se realiza la conexión a la red WiFi introducida antes.

```
void setup() {  
  Serial.begin(115200);  
  
  // Conecta el servomotor según el pin al elemento servo.  
  myservo1.attach(servo1Pin);  
  myservo2.attach(servo2Pin);  
  
  // Conectarse a la red Wi-Fi con SSID y contraseña.  
  Serial.print("Connecting to ");  
  Serial.println(ssid);  
  WiFi.begin(ssid, password);  
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {  
    delay(5000);  
    Serial.print(".");  
  }  
  // Imprime la dirección IP local e inicia el servidor web.  
  Serial.println("");  
  Serial.println("WiFi connected.");  
  Serial.println("IP address: ");
```

```

Serial.println(WiFi.localIP());

server.begin();

}

```

Por último, en el “void loop” es donde se produce el control de las conexiones sobre la dirección IP ya mencionada, teniendo en cuenta la conexión y desconexión sobre la misma y controlando los movimientos de cada uno de los servomotores, siendo además en esta parte donde se puede controlar la velocidad de los mismos.

```

void loop(){

  WiFiClient client = server.available(); // Esperando a los usuarios entrantes.

  if (client) { // Si se conecta un nuevo usuario

    Serial.println("New Client."); // sacar por pantalla un mensaje en el puerto serie

    String currentLine = ""; // hacer una cadena para contener los datos entrantes del usuario

    while (client.connected()) { // ejecutar en bucle mientras el usuario permanezca conectado

      if (client.available()) { // si existen bytes para leer del cliente,

        char c = client.read(); // leer un byte, posteriormente

        Serial.write(c); // imprimirlo en el monitor serie.

        header += c;

        if (c == '\n') { // Si el byte es un caracter de nueva línea.

          // Si la línea actual está en blanco, tiene dos caracteres de nueva línea seguidos.

          // Ese es el final de la solicitud HTTP del cliente, así que envíe una respuesta:

          if (currentLine.length() == 0) {

            // Los encabezados HTTP siempre comienzan con un código de respuesta (por ejemplo,
            HTTP/1.1 200 OK)

            // y un tipo de contenido para que el usuario sepa lo que viene, luego una línea en blanco:

            client.println("HTTP/1.1 200 OK");

            client.println("Content-type:text/html");

```

```

client.println("Connection: close");

client.println();

// Mostrar la página web HTML.
client.println("<!DOCTYPE html><html>");

client.println("<head><meta name=\"viewport\" content=\"width=device-width, initial-
scale=1\">");

client.println("<link rel=\"icon\" href=\"data:;\">");

// CSS para diseñar los botones de encendido/apagado.
// Se puede modificar los atributos de color de fondo y tamaño de fuente.
client.println("<style>body { text-align: center; font-family: \"Trebuchet MS\", Arial;
margin-left:auto; margin-right:auto;});");

client.println(".slider { width: 300px; }</style>");

client.println("<script
src=\"https://ajax.googleapis.com/ajax/libs/jquery/3.3.1/jquery.min.js\"></script>");

// Página web.
client.println("</head><body><h1>Movimiento cabeza</h1>");

client.println("<p>Giro izda-decha: <span id=\"servoPos1\"></span></p>");

client.println("<input type=\"range\" min=\"0\" max=\"180\" class=\"slider\" id=\"s1\"
onchange=\"servo(this.value,this.id)\" value=\"\"+valueString+\"\"/>");

client.println("<p>Cabeceo adelante-detras: <span id=\"servoPos2\"></span></p>");

client.println("<input type=\"range\" min=\"0\" max=\"180\" class=\"slider\" id=\"s2\"
onchange=\"servo(this.value,this.id)\" value=\"\"+valueString+\"\"/>");

client.println("<script>var slider1 = document.getElementById(\"s1\");");

client.println("var servoP1 = document.getElementById(\"servoPos1\");
servoP1.innerHTML = slider1.value;");

client.println("slider1.oninput = function() { slider1.value = this.value;
servoP1.innerHTML = this.value; });");

client.println("$.ajaxSetup({timeout:1000}); function servo(pos,id) { ");

//client.println("$.get(\"/\"+id+\"/?value=\" + pos + \"&\"); {Connection:
close;};</script>");

client.println("$.get(\"/\"+id+\"/?value=\" + pos + \"&\"); {Connection: close;});");

```

```

//client.println("<script>var slider2 = document.getElementById(\"s2\");");
client.println("var slider2 = document.getElementById(\"s2\");");

client.println("var servoP2 = document.getElementById(\"servoPos2\");
servoP2.innerHTML = slider2.value;");

client.println("slider2.oninput = function() { slider2.value = this.value;
servoP2.innerHTML = this.value; }");

client.println("$.ajaxSetup({timeout:1000}); function servo(pos,id) { ");
client.println("$.get(\"/\"+id+\"/?value=\" + pos + \"&\"); {Connection:
close;}</script>");

client.println("</body></html>");

//Serial.println(header);
//GET /?value=180& HTTP/1.1
if(header.indexOf("GET /s1/?value=")>=0) {
    pos1 = header.indexOf('=');
    pos2 = header.indexOf('&');
    valueString = header.substring(pos1+1, pos2);

    // Girar el servomotor.
    myservo1.write(valueString.toInt());
    Serial.println(valueString);
}
else if (header.indexOf("GET /s2/?value=")>=0) {
    pos1 = header.indexOf('=');
    pos2 = header.indexOf('&');
    valueString = header.substring(pos1+1, pos2);

    // Girar el servomotor.
    myservo2.write(valueString.toInt());
    Serial.println(valueString);
}

```

```
// La respuesta HTTP termina con otra línea en blanco.
client.println();

// Romper el bucle while.
break;

} else { // Si tienes una nueva línea borra la línea actual.
    currentLine = "";
}

} else if (c != '\r') { // Si tienes algo más que un carácter de retorno de carro,
    currentLine += c; // agregarlo al final de la línea actual.
}

}

}

// Borra la variable del encabezado
header = "";

// Cerrar la conexión.
client.stop();

Serial.println("Client disconnected.");

Serial.println("");

}

}
```

CAPÍTULO 6: DESARROLLO Y MONTAJE DEL MODELO REAL

CONFIGURACIÓN E IMPRESORAS 3D EMPLEADAS

Para realizar de forma física el mecanismo de la cabeza, cuyo diseño ha sido explicado antes, se decide emplear la impresión 3D, utilizando para ello el programa “Cura Engine” y dos impresoras, la “Ender 3” y la “Ultimaker 3 Extended”, de las que más adelante se darán detalles de sus características.

Los materiales empleados para la creación de las piezas serán PLA para todas las piezas y para los soportes de algunas de ellas, y PVA para los soportes de las piezas con requerimientos funcionales o estéticos más elevados.

En cuanto al programa empleado, “Cura Engine”, a continuación se detallarán las características del mismo así como las distintas configuraciones empleadas a la hora de generar los diferentes modelos de impresión.

La elección de este programa en lugar de “Slyc3r” se llevó a cabo atendiendo a una de las cuestiones más importantes en cuanto a la realización de alguna de las piezas a imprimir, que es la realización de la impresión con doble extrusor que permite la impresora “Ultimaker 3 Extended”, permitiendo la utilización de material PVA (material soluble en agua) para elaborar los soportes de las piezas más complejas. Es por este motivo que se escogió el programa en cuestión, ya que su interfaz es más práctica y sencilla para la elaboración de los modelos con doble extrusor. También cabe destacar que ambas impresoras recomiendan la utilización de dicho programa.

La ventaja de emplear PVA como material de soporte es clave al hablar de piezas con geometrías complejas o piezas poco esbeltas, para las cuales la realización del soporte con PLA podría suponer algún problema a la hora de retirar dicho material de soporte.

Con respecto a los principales parámetros que se han ajustado para las diferentes impresiones son los mostrados en la figura 85.

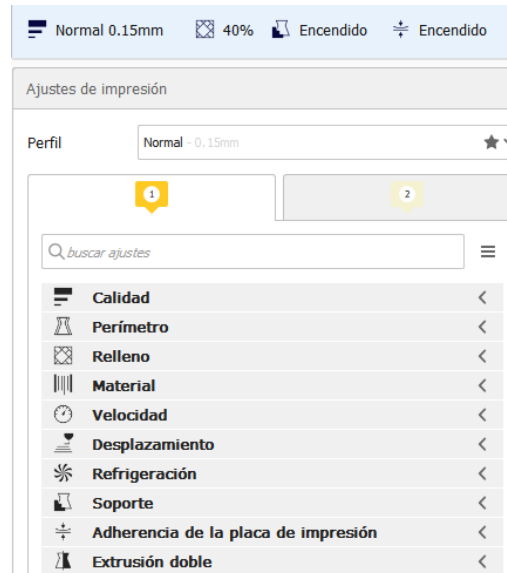


Figura 85. Conjuntos de parámetros que afectan a la impresión 3D.

- **Calidad:** dentro de la configuración de calidad de la impresión, dos de los parámetros más importantes son la altura de capa y la altura de capa inicial. La altura de capa influye en la componente estética de las piezas, siendo más uniforme cuanto más pequeña es, con el inconveniente de que cuanto menor es la altura de capa mayor es el tiempo de impresión. En cuanto a la altura de la capa inicial, se trata de un parámetro de gran importancia a la hora de hablar del agarre de la primera capa de impresión a la cama caliente, siendo beneficioso que ésta sea de mayor grosor y que se ejecute a una velocidad menor, como veremos en las configuraciones de velocidad de impresión. La configuración habitual empleada es la mostrada en la figura 86.

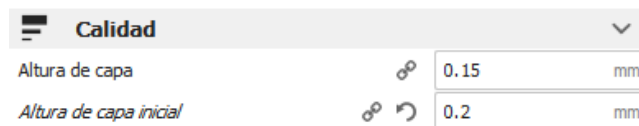


Figura 86. Parámetros de calidad en las impresiones 3D.

Por lo general se empleará una altura de capa de 0,15 mm, siendo ésta la definida como normal, y una altura de capa inicial de 0,2 mm la cual se ha comprobado que es óptima junto con otras características de adhesión que explicaremos más adelante para la correcta deposición de la primera capa.

- **Perímetro:** los parámetros correspondientes a la configuración de los diferentes perímetros de impresión, por lo general, no es necesario realizar

modificaciones sobre ellos de no observarse ninguna peculiaridad particular en las piezas; pudiendo, por ejemplo, ser necesario aumentar el número de capas en la parte inferior, superior o periferia, en caso de desear una mayor resistencia de la pieza. La configuración habitual empleada es la mostrada en la figura 87.

Perímetro	
Grosor de la pared	1 mm
Recuento de líneas de pared	3
Grosor superior/inferior	1 mm
Grosor superior	1 mm
Capas superiores	7
Grosor inferior	1 mm
Capas inferiores	7
Expansión horizontal	0 mm

Figura 87. Parámetros de perímetros en las impresiones 3D.

En el conjunto de piezas diseñadas son parámetros que no han sufrido modificación alguna, ya que no ha sido requerido y un aumento de las capas en cualquiera de las tres posiciones supondría un aumento en el tiempo de impresión notable.

- **Relleno:** este conjunto de parámetros es uno de los más importantes a tener en cuenta a la hora de realizar una impresión 3D, esto es debido a que modifica en gran medida características muy importantes como son la resistencia de las piezas impresas y el tiempo de impresión. La relación entre ambas características buscadas, aumento de la resistencia y disminución del tiempo de impresión, es inversamente proporcional, lo cual supone que un aumento de la densidad de relleno conlleva un aumento considerable de la resistencia de la pieza pero, a su vez, provoca un elevado aumento del tiempo de impresión. Es por lo explicado anteriormente que hay que tener una elevada precaución a la hora de determinar esta parte de la configuración, siendo ésta muy dependiente de cada pieza en cuestión. La configuración habitual empleada es la mostrada en la figura 88.

Relleno	
Densidad de relleno	40 %
Patrón de relleno	Triángulos

Figura 88. Parámetros de relleno en las impresiones 3D.

En nuestro caso todas las piezas se han elaborado con un patrón de relleno triangular, ya que es de los que mayor resistencia aporta; en cuanto a la densidad de relleno, ésta ha variado en gran medida dependiendo de cada una de las piezas.

- Material: esta configuración incluye las diferentes temperaturas de extrusión y cama caliente, así como las variables correspondientes a la retracción. Estos valores dependen del material empleado, PLA en este caso. La configuración habitual empleada es la mostrada en la figura 89.

Material	
Temperatura de impresión	200 °C
Temperatura de impresión de la capa inicial	205 °C
Temperatura de la placa de impresión	60 °C
Temperatura de la capa ...sión en la capa inicial	60 °C
Habilitar la retracción	<input checked="" type="checkbox"/>
Retracción en el cambio de capa	<input type="checkbox"/>
Distancia de retracción	6.5 mm
Velocidad de retracción	25 mm/s

Figura 89. Parámetros de material en las impresiones 3D.

- Velocidad: los valores de las diferentes velocidades son clave en cuanto a los tiempos de impresión y la calidad de la misma, viniendo determinados por el material empleado y la impresora en cuestión. La configuración habitual empleada es la mostrada en la figura 90.

Velocidad	
Velocidad de impresión	80 mm/s
Velocidad de relleno	80 mm/s
Velocidad de pared	40 mm/s
Velocidad de soporte	25 mm/s
Velocidad de relleno del soporte	25 mm/s
Velocidad de desplazamiento	250 mm/s
Velocidad de capa inicial	20 mm/s

Figura 90. Parámetros de velocidad en las impresiones 3D.

En las piezas llevadas a cabo esta configuración no ha sido modificada ya que los tiempos de impresión no han sido excesivos y la calidad de las piezas obtenidas ha sido alta.

- **Desplazamiento:** en el que solo se tendrá en cuenta el parámetro de retracción. La configuración habitual empleada es la mostrada en la figura 91.



Figura 91. Parámetros de desplazamiento en las impresiones 3D.

- **Refrigeración:** configuración necesaria para el control de la temperatura entre capas, mejorando la calidad de la impresión. Esta configuración es la que viene por defecto. La configuración habitual empleada es la mostrada en la figura 92.

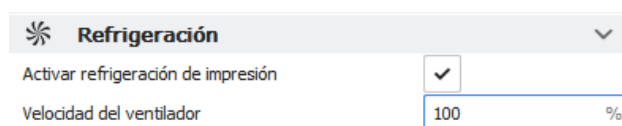


Figura 92. Parámetros de refrigeración en las impresiones 3D.

- **Soporte:** en la configuración del soporte es importante distinguir la diferencia entre ambas impresoras, ya que en la “Ender 3” solo es posible realizar el soporte de PLA y, por lo tanto, se deben escoger bajas densidades para permitir fáciles eliminaciones posteriores del mismo. En cambio, en la “Ultimaker 3 Extended”, es posible realizar soportes más consistentes con capas superiores sólidas que mejoran el acabado y con ello la calidad de las piezas impresas. La configuración habitual empleada es la mostrada en la figura 93.

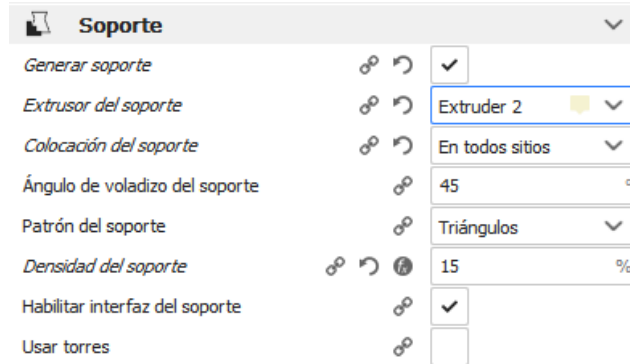


Figura 93. Parámetros de soporte en las impresiones 3D.

Los valores más modificados del soporte han sido la densidad y el patrón de soporte. A su vez, otro valor modificado para algunas de las impresiones es la colocación del soporte, pudiendo seleccionarse que éste únicamente se apoye sobre la cama caliente, lo cual puede ayudar a reducir la cantidad del mismo así como el acabado de las piezas. Es importante tener en cuenta también que, al realizar las impresiones con la impresora de un solo extrusor, el extrusor de soporte siempre será el extrusor 1 o extrusor de PLA.

- Adherencia a la placa de impresión: configuración muy importante para mejorar la adherencia de la primera placa, motivo de muchos de los fallos de las impresiones como puede ser, por ejemplo, el levantamiento de alguna de las zonas por excesiva temperatura o por ser elementos de poco espesor. La configuración habitual empleada es la mostrada en la figura 94.



Figura 94. Parámetros de adherencia en las impresiones 3D.

Para conseguir una buena adherencia en todas y cada una de las piezas llevadas a cabo, se ha seleccionado la opción de elaboración del borde, lo cual produce en cada una de las impresiones una capa con sucesivas pasadas que crean un plano alrededor de la pieza que mejora en gran medida su adherencia a la cama caliente.

- Extrusión doble: parámetros únicamente disponibles para la impresora “Ultimaker 3 Extended”, donde se puede seleccionar la creación de una torre auxiliar que permite la limpieza de cada uno de los cabezales de impresión

cada vez que se produzca el cambio de uno a otro, evitando de esta forma muchos fallos en piezas por intrusión de material entre capas. La configuración habitual empleada es la mostrada en la figura 95.

Extrusión doble		
Activar la torre auxiliar	<input checked="" type="checkbox"/>	
Torre auxiliar circular	<input checked="" type="checkbox"/>	
Tamaño de la torre auxiliar	15	mm
Volumen mínimo de la torre auxiliar	6	mm ³
Posición de la torre auxiliar sobre el eje X	172.9	mm
Posición de la torre auxiliar sobre el eje Y	186.76	mm

Figura 95. Parámetros de extrusión doble en las impresiones 3D.

Dentro de los valores modificados se encuentran las dimensiones de la torre auxiliar, las cuales se redujeron con respecto a las que venían por defecto para, en su mayor medida, evitar el excesivo gasto de material que produce su elaboración. También es posible, como se ve en la figura 95, modificar la posición de la torre, lo cual puede permitir un acortamiento en los tiempos de impresión.

Una vez determinada la configuración de la impresión, a continuación se muestran las dos impresoras empleadas con sus características principales:

➤ Ultimaker 3 Extended [14]:

Sus características principales están recogidas en la tabla 11.

Tabla 11. Resumen características impresora Ultimaker 3 Extended.

Tecnología de impresión	FDM (Fused Deposition Modeling)
Tamaño de impresión	(215 x 215 x 300) mm Extrusión individual (197 x 215 x 300) mm Extrusión dual
Tamaño de máquina	(342 x 505 x 688) mm
Peso	11,3 kg
Máxima velocidad de desplazamiento	300 mm/s
Filamentos compatibles	PLA, ABS, CPE, CPE+, PVA, PC, TPU 95A, PP y filamento de ruptura, de 2,85 mm
Entrada	(100-240 V) (4 A) (50-60 Hz) (221 W máximo)
Salida	DC (24 V) (9,2 A)
Espesor de capa	(0,1-0,4) mm
Diámetro de la punta de extrusión	0,25 mm, 0,4 mm ó 0,8 mm
Precisión	(60-600) μ m
Formato de archivos	STL, OBJ, X3D, 3MF, BMP, GIF, JPG, PNG y G-Code
Forma de trabajo	WiFi, LAN o USB
Máxima temperatura del nozzle	280 °C

En la figura 96 se puede observar una imagen de la impresora Ultimaker 3 Extended.



Figura 96. Impresora 3D Ultimaker 3 Extended.

➤ Ender 3 [15]:

Sus características principales están recogidas en la tabla 12.

Tabla 12. Resumen características impresora Ender 3.

Tecnología de impresión	FDM (Fused Deposition Modeling)
Tamaño de impresión	(220 x 220 x 250) mm
Tamaño de máquina	(440 x 410 x 465) mm
Peso	8 kg
Máxima velocidad de desplazamiento	180 mm/s
Filamentos compatibles	PLA, TPU y ABS, de 1,75 mm
Entrada	AC (100-265 V) (50-60 Hz)
Salida	DC (24 V) (15 A) (360 W)
Espesor de capa	(0,1-0,4) mm
Diámetro de la punta de extrusión	0,4 mm
Precisión	±0,1 mm
Formato de archivos	STL, OBJ, G-Code
Forma de trabajo	Online u offline con tarjeta SD
Máxima temperatura del nozzle	255 °C
Máxima temperatura de la cama caliente	110 °C

En la figura 97 se puede observar una imagen de la impresora Ender 3.



Figura 97. Impresora 3D Ender 3.

CARACTERÍSTICAS DEL MONTAJE

El proceso de montaje se llevó a cabo siguiendo la estrategia del diseño, en primer lugar, se realizaron los submontajes de los cuatro subensamblajes que son el principal o superior, el intermedio, el del torso y el del casco.

Algunas piezas de gran tamaño ha sido necesario imprimirlas en varias etapas, siendo de esta forma necesario un trabajo de adhesión previo al de montaje. Este proceso de adhesión es necesario, por ejemplo, para las piezas del casco, y es llevado a cabo empleando un pegamento muy resistente para plásticos. De esta forma se adhieren las cuatro piezas de la parte exterior del casco y, por separado, las otras tres que sujetan la máscara de proyección.

Para la unión de las diferentes piezas se emplean los elementos comerciales citados en el listado anterior, necesitando algunos de ellos de un procesado previo, por ejemplo el eje del cuello. Este tubo de aluminio se adquiere de una longitud más elevada de la requerida y, por lo tanto, requiere de una operación de serrado para conseguir la largura necesaria, seguida de dos operaciones de taladrado para obtener los agujeros pasantes donde se encontrarán posicionados los dos pasadores que unen la pieza al sistema.

Los elementos comerciales empleados son en su mayor medida tornillos, arandelas y tuercas, pero siendo también empleados otros elementos como ejes que actúan como pasadores, cierres de eje que impiden la salida de dichos pasadores, rodamientos que ayudan a evitar el desgaste que se produciría en giros donde el plástico se encontrase en contacto con otro plástico, etc.

En cuanto a la utilización de rodamientos, cabe destacar que es indispensable para conseguir un mecanismo resistente al desgaste, ya que si los ejes se situasen en contacto directo con el plástico acabarían por desgastarlo provocando la rotura o un funcionamiento incorrecto. Para la inclusión fija de estos rodamientos en las piezas impresas se hace uso de un estañador, el cual permite dar calor a los rodamientos los cuales quedan encajados con facilidad en las piezas de PLA impresas en 3D.

Otros elementos comerciales que no se han mencionado antes y han sido empleados en el proyecto son pinturas de spray y recubrimiento de impresión 3D, los cuales se han utilizado sobre el casco para mejorar la apariencia del mismo.

El recubrimiento de impresión 3D se trata de XTC-3D [16], una resina con la que se consigue eliminar por completo las marcas de las distintas capas de impresión que quedan sobre las piezas de PLA, dando de esta forma un aspecto mucho más visual a todas las piezas del casco.

La pintura también es empleada sobre las piezas del casco ya que, posteriormente a su impresión, se decide dar color al mismo para mejorar su apariencia. Se opta por la idea de la pintura en spray para agilizar la obtención de un resultado, ya que repetir las piezas con filamento de color alargaría en gran medida el tiempo de elaboración del modelo.

A continuación, se muestran el conjunto de las piezas impresas en 3D que conforman la cabeza robótica, en primer lugar las correspondientes a cada subensamblaje, seguidas del montaje del mismo. Por último se puede observar la cabeza robótica con su ensamblaje completo. No se incluyen en algunos subensamblajes algunas piezas estéticas que impiden ver el montaje de los mismos.

Subensamblaje superior o principal:

Las piezas “manivela” (figura 98), “bielas” (figura 99) y el montaje de “sección cabeza intermedia” (figura 100) y “soporte servomotor y proyector” (figura 101) forman un cuadrilátero articulado en conjunto con la bancada, que en este caso sería el “soporte cuello” (figura 102).

Es este mecanismo, anteriormente mencionado, el que genera el movimiento de cabeceo producido por el servomotor situado en la parte superior de la pieza “soporte servomotor y proyector”, estando la cruceta de dicho servomotor conectada a la pieza denominada como “manivela”.

Este subensamblaje es sobre el que se posicionan los 13 rodamientos, quedando estos fijados al ser introducidos mediante calentamiento.

En la figura 103 se puede observar el subensamblaje completo.



Figura 98. Fotografía pieza manivela.



Figura 99. Fotografía piezas biela.

Las dos siguientes piezas se imprimen por separado para facilitar la labor de impresión, pero ambas se fijan la una a la otra mediante cuatro tornillos, dos en la parte superior y dos en la parte inferior. Ambas giran sobre el eje situado en la parte inferior de la pieza “sección cabeza intermedia”.



Figura 100. Fotografía pieza sección cabeza intermedia.

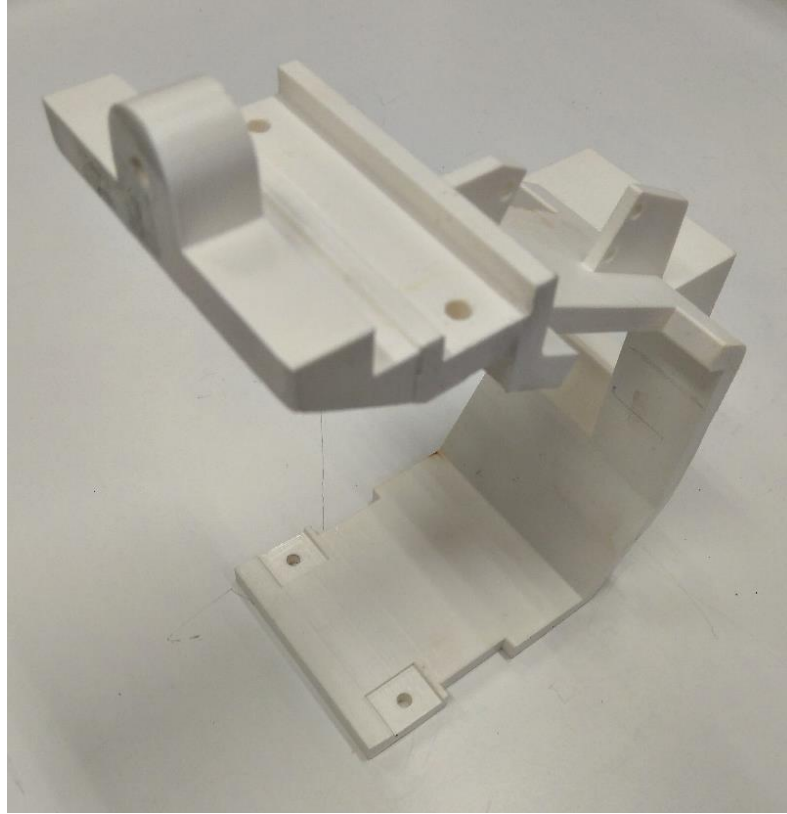


Figura 101. Fotografía pieza soporte servomotor y proyector.



Figura 102. Fotografía pieza soporte cuello.



Figura 103. Fotografía montaje completo del subensamblaje superior.

Subensamblaje intermedio:

El siguiente subensamblaje consta únicamente de dos piezas impresas, siendo el resto de las piezas adquiridas. Estas piezas compradas son un soporte de rodamiento y un tubo de aluminio seccionado y taladrado, el cual actúa como eje principal del cuello.

También son necesarios dos pasadores que unen el eje del cuello con las dos piezas impresas y ocho tornillos, cuatro que unen el “elemento superior de anclaje al eje” (figura 104) con el subensamblaje superior y otros cuatro que unen el soporte de rodamiento con el subensamblaje inferior. La otra pieza impresa es el “elemento inferior de anclaje al eje” (figura 105).



Figura 104. Fotografía elemento superior de anclaje al eje.

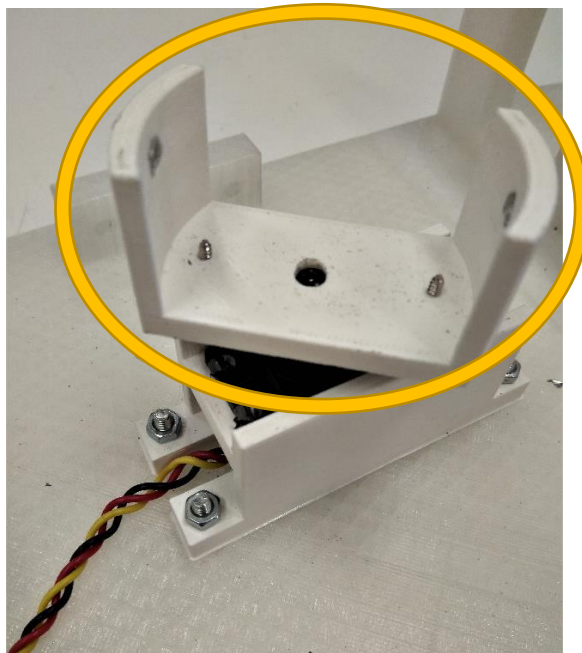


Figura 105. Fotografía elemento inferior de anclaje al eje.

Subensamblaje inferior:

El conjunto de piezas que pertenecen a este subensamblaje se caracterizan por ser fijas con respecto al sistema completo. La utilidad de las mismas es la de hacer de base al conjunto, además de servir de anclaje para el servomotor que produce el giro panorámico y para los elementos electrónicos como la fuente de alimentación, el microprocesador, etc. Todos los elementos se encuentran unidos mediante tornillos entre sí, a excepción del “soporte de

rodamiento inferior” (figura 108) que se encaja en el “soporte servomotor inferior” (figura 109). El resto de piezas son el “elemento central torso” (figura 106), el “elemento lateral torso” (figura 107), los “elementos de sujeción” y la “base modelo torso” (figura 110).



Figura 106. Fotografía elemento central torso.

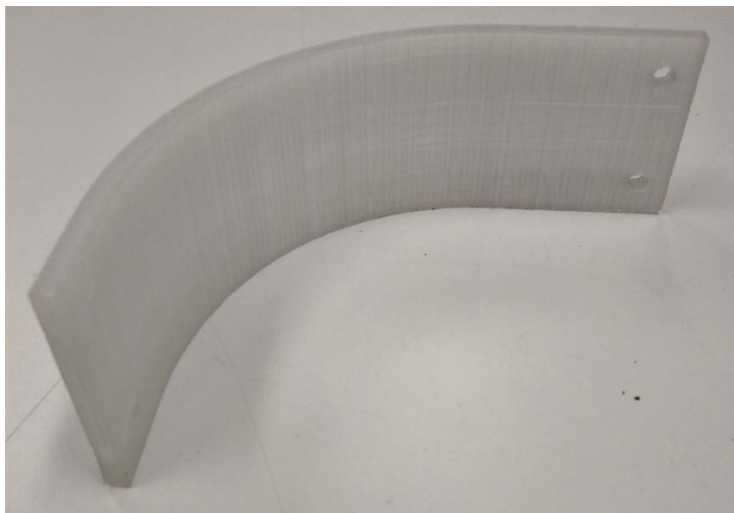


Figura 107. Fotografía elemento lateral torso.

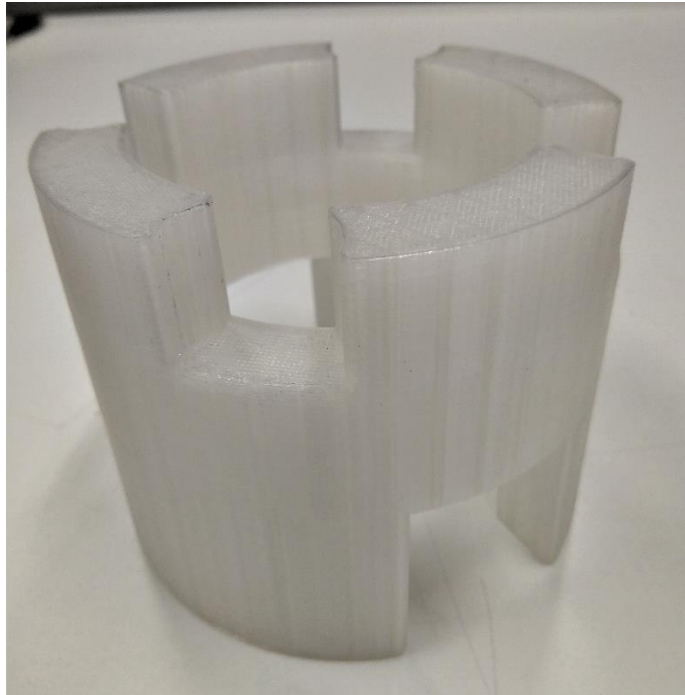
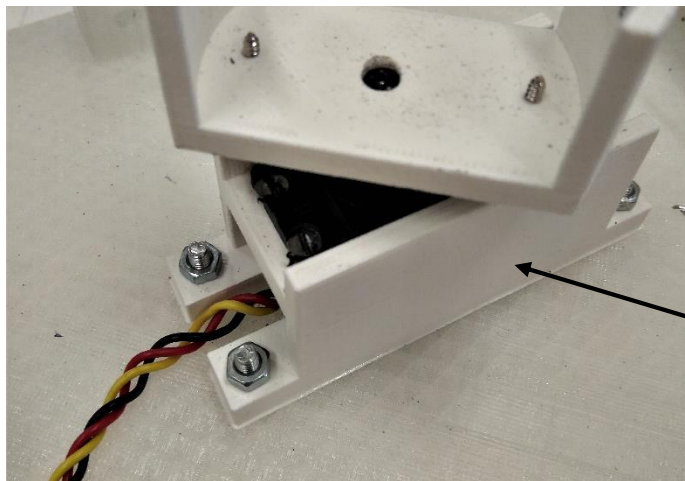


Figura 108. Fotografía soporte de rodamiento inferior.



Soporte
servomotor
inferior.

Figura 109. Fotografía soporte servomotor inferior.

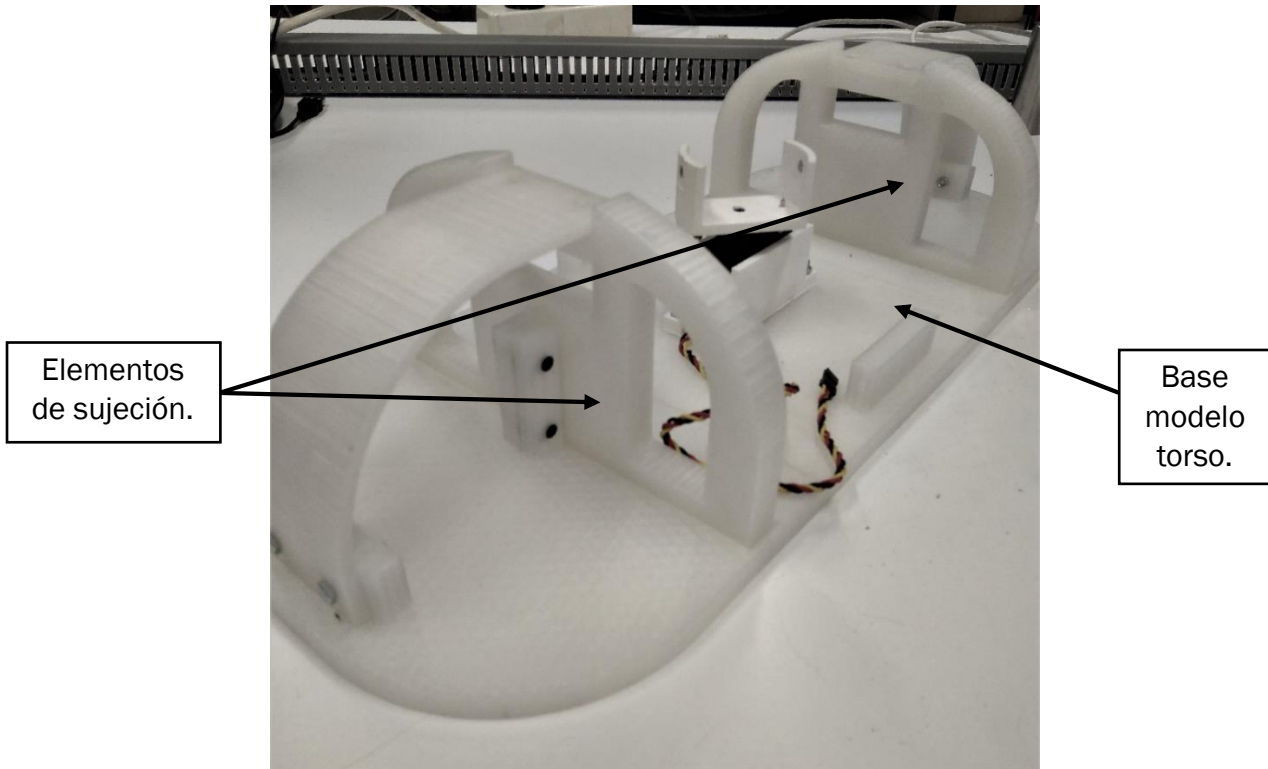


Figura 110. Fotografía elementos de sujeción y base modelo torso.

En la figura 111 se muestran el subensamblaje inferior e intermedio.

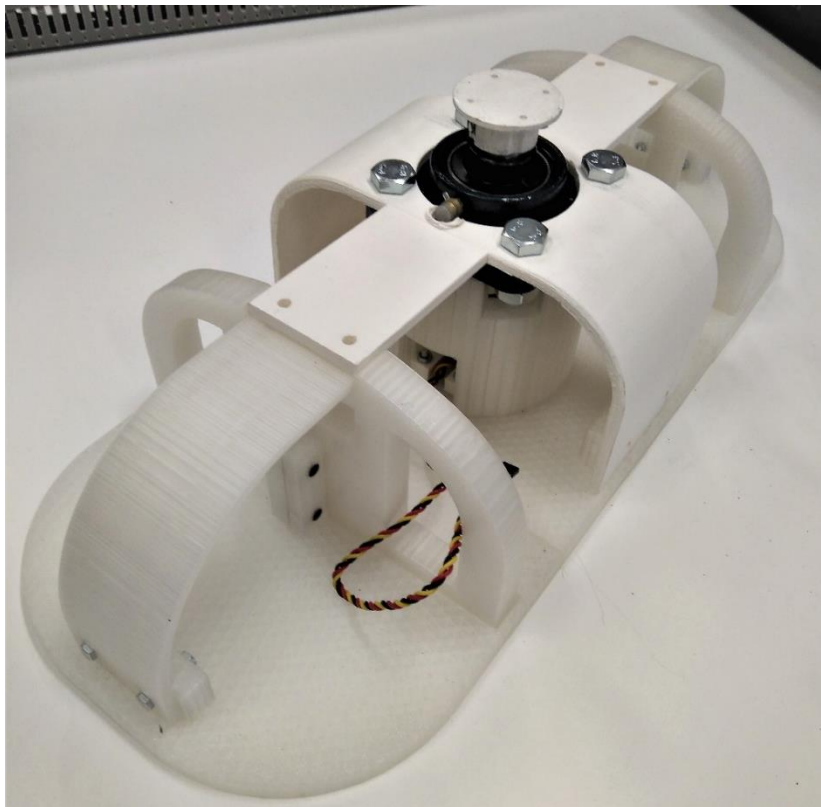


Figura 111. Fotografía montaje subensamblajes inferior e intermedio.

Subensamblaje casco:

El conjunto de piezas que conforman el casco son estéticas, han sido llevadas a cabo mediante impresión 3D y recubiertas con una pasta que elimina las marcas dejadas por la sucesión de las diferentes capas de impresión y, algunas de ellas, pintadas con sprays.

En cuanto a la pieza “máscara”, que se muestra en la figura 112, es importante destacar que se encuentra impresa con material PLA transparente, ya que ésta será utilizada como pantalla de proyección por el proyector.



Figura 112. Fotografía máscara.

El resto de piezas que conforman el casco son las orejeras (figura 115), el “saliente superior hueco” (figura 116), el “saliente posterior” (figura 117) y la pieza principal del casco, seccionado en dos piezas que son los rebordes del casco y la pieza principal del casco mostradas en la figura 113, la figura 114 y la figura 118.



Figura 113. Fotografía reborde máscara.



Figura 114. Fotografía rebordes máscara y máscara.



Figura 115. Fotografía orejeras.

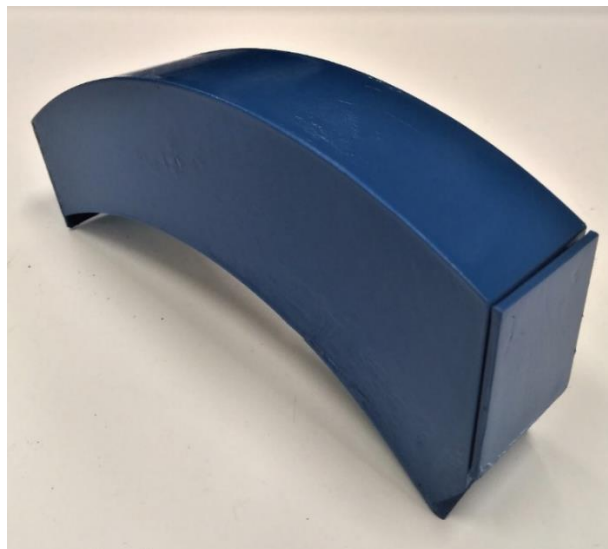


Figura 116. Fotografía saliente superior hueca.

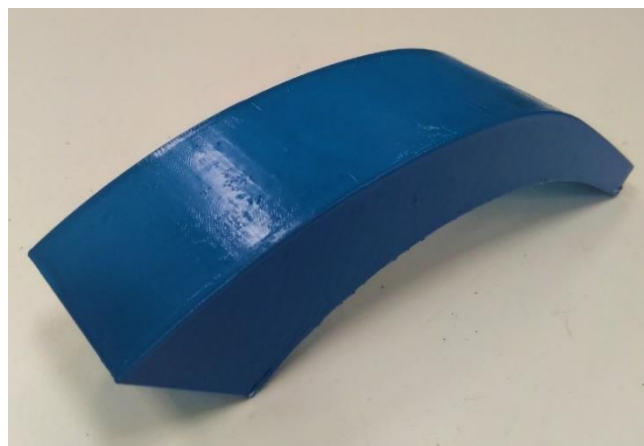


Figura 117. Fotografía saliente posterior.

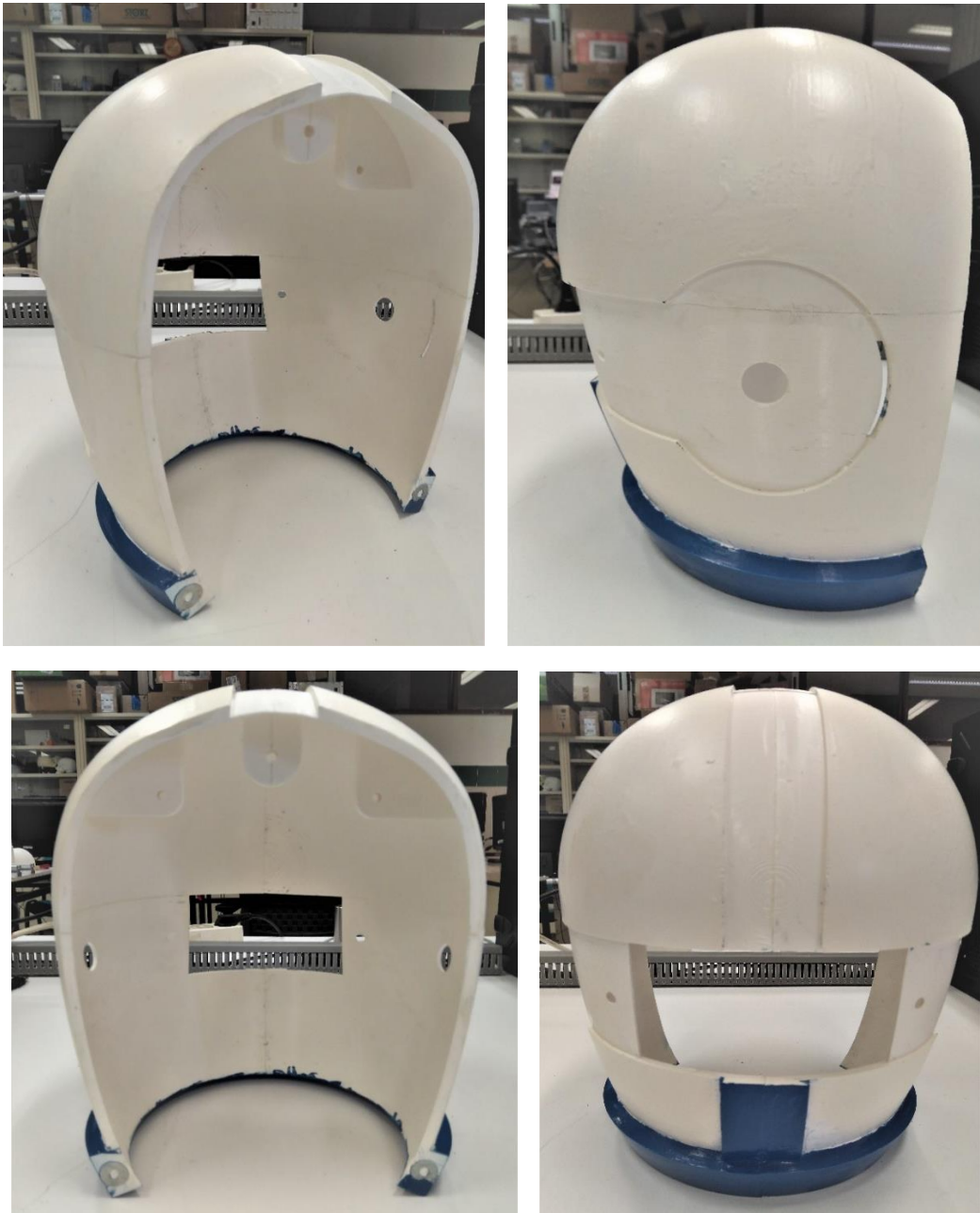


Figura 118. Vistas principales pieza principal del subensamblaje casco.

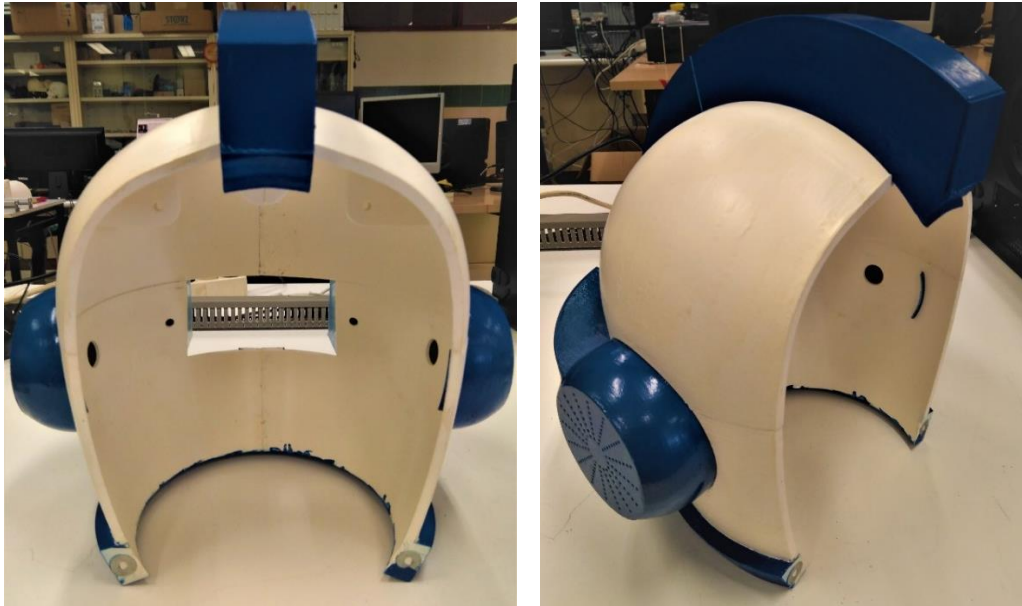


Figura 119. Fotografías subensamblaje casco a excepción de la máscara.

En la figura 119 se observa la mayor parte de las piezas del casco ensambladas, no se adjunta una imagen del casco en conjunto con la máscara ya que ésta sobresale por debajo y es imposible realizar una fotografía con el casco apoyado, por lo que el conjunto completo se observará en la imagen de la cabeza robótica completa.

A continuación, en la figura 120 y la figura 121 se muestran imágenes del mecanismo completo de la cabeza robótica.

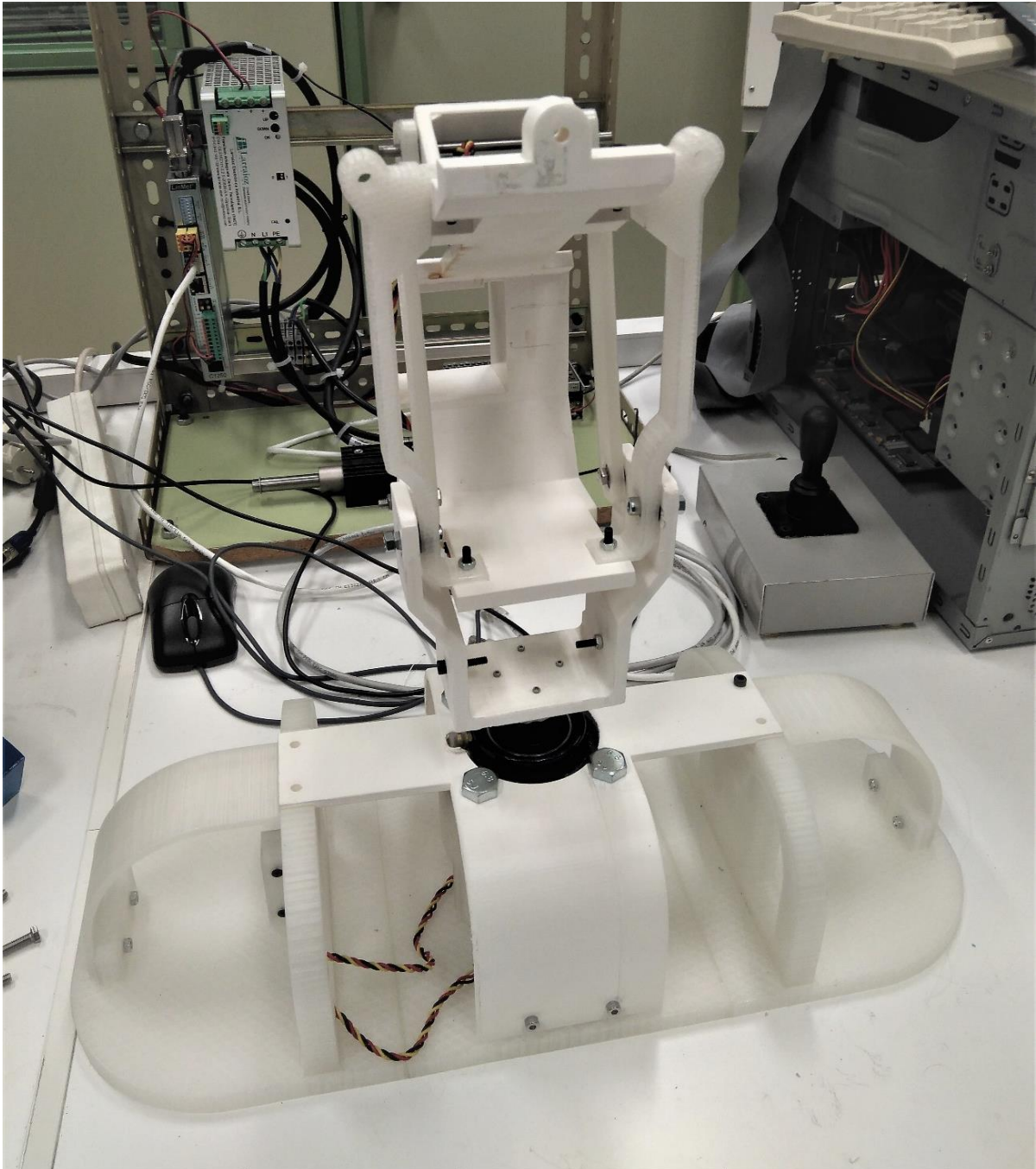


Figura 120. Fotografía mecanismo completo ensamblado.

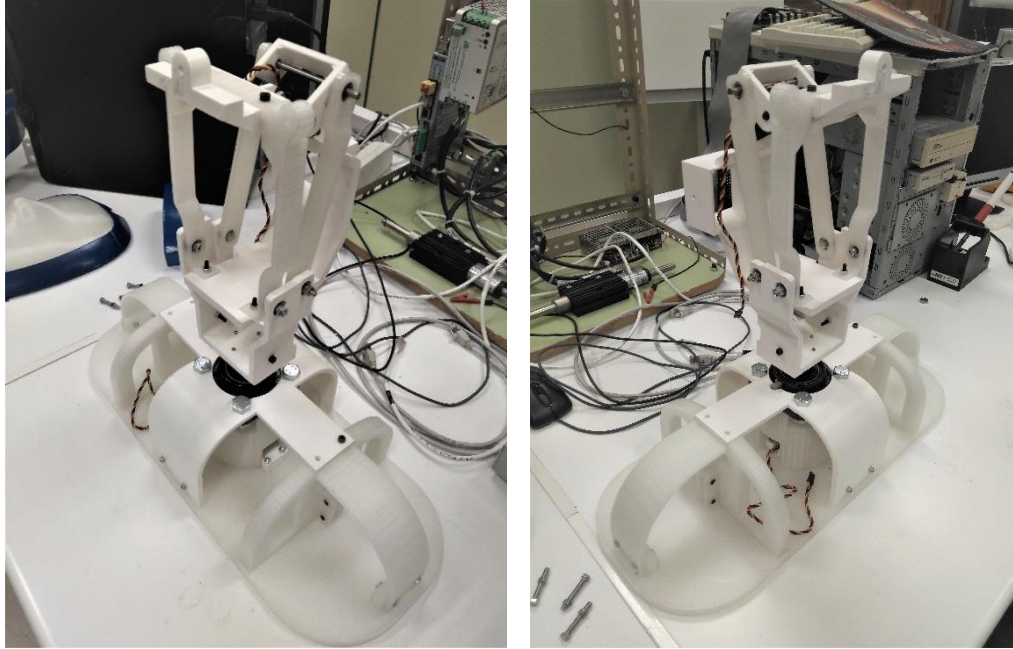


Figura 121. Fotografías vistas mecanismo completo ensamblado.

En estas imágenes se muestran ensamblados los subensamblajes superior, intermedio e inferior, todos a excepción del subensamblaje casco, el cual es meramente estético salvo la máscara la cual sirve como pantalla de proyección.

Por último, en las figuras figura 122 y figura 123 contemplamos el resultado final del montaje, la cabeza robótica con todas sus piezas ensambladas.

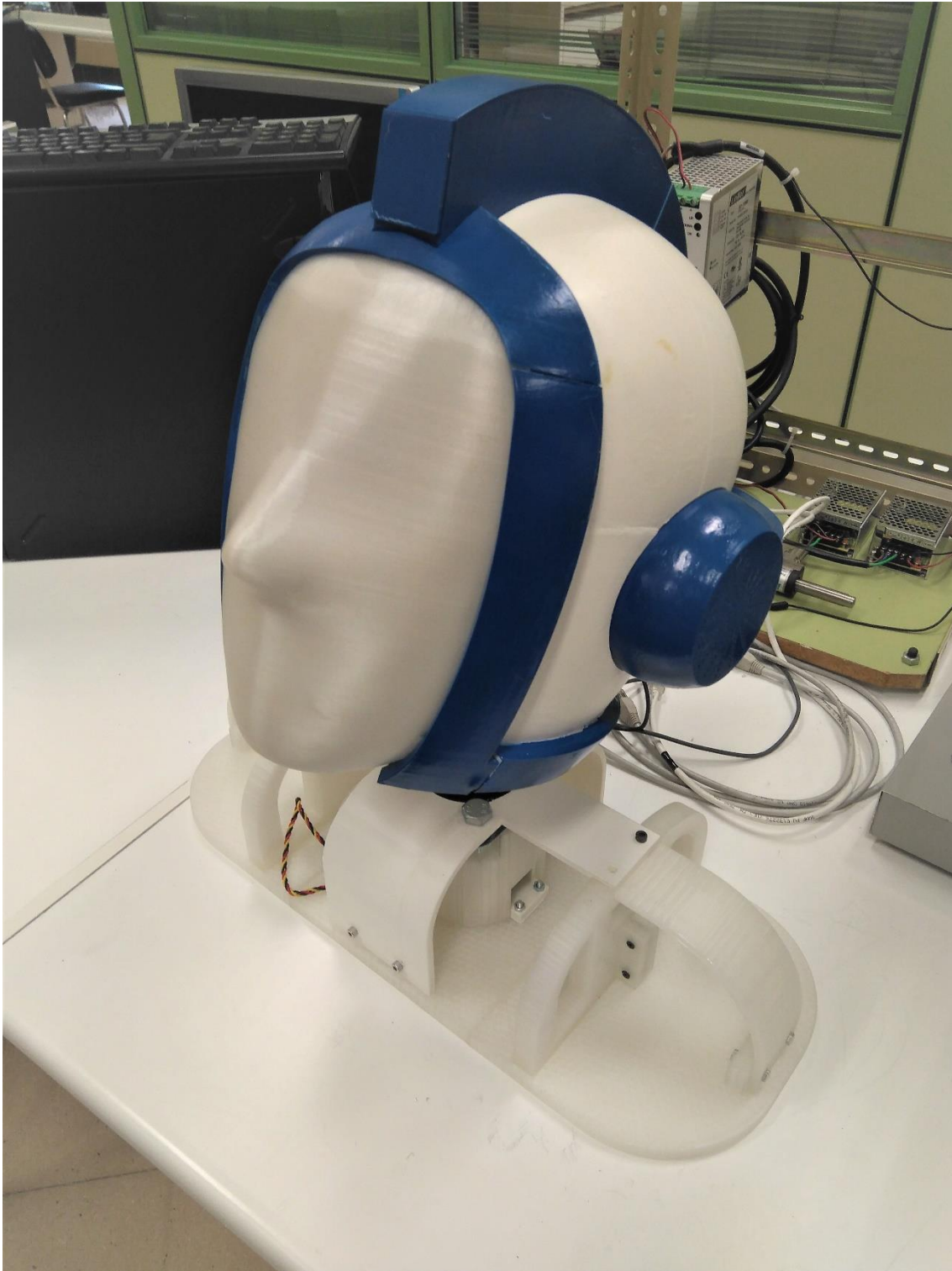


Figura 122. Fotografía cabeza robótica completa ensamblada.

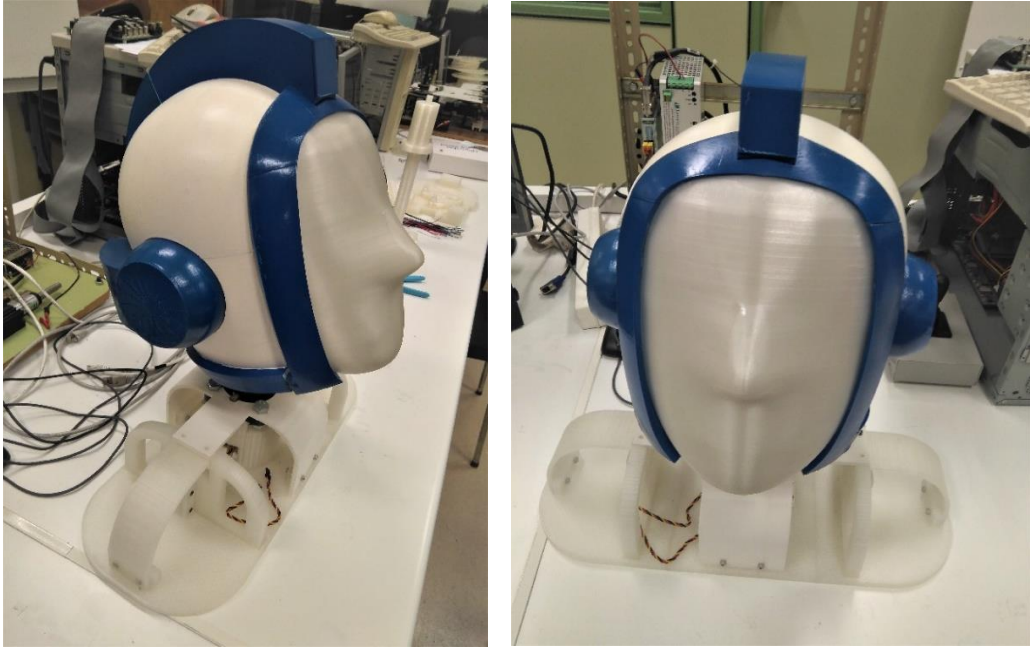


Figura 123. Fotografías vistas cabeza robótica completa ensamblada.

CAPÍTULO 7: RESULTADOS OBTENIDOS

En este apartado se llevará a estudio el modelo final obtenido, teniendo en cuenta los siguientes puntos de evaluación: montaje del modelo real y comparación con el diseño en Catia V5, funcionalidad del mecanismo diseñado para el movimiento, antropomorfismo logrado con el modelo y evaluación del funcionamiento con el programa de control de los servomotores.

Con respecto a la comparación entre el modelo real y el diseñado con Catia V5, en la figura 124 se puede observar el diseño realizado en Catia, donde se muestran cuatro formatos de vista del mismo, entre los que se encuentran el modelo alámbrico, la representación con las líneas de borde, sin las líneas de borde y con las líneas de tangencia de las piezas. En la figura 125 se muestra el modelo real impreso en 3D, siendo éste idéntico al diseño.

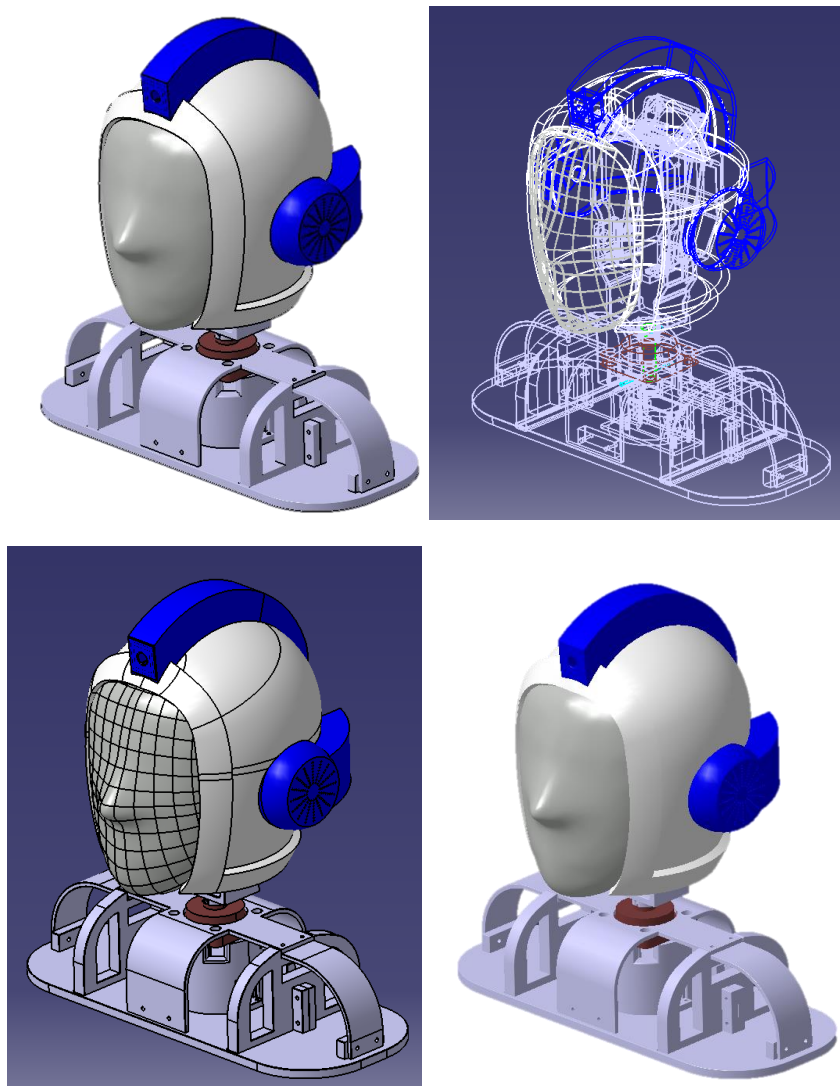


Figura 124. Imágenes diseño completo en Catia V5.



Figura 125. Montaje real completo.

El siguiente punto de estudio importante corresponde a la obtención de las diferentes posiciones deseadas en cada una de las direcciones principales. Para su comprobación se ha realizado una captura en cada una de dichas posiciones máximas, definidas previamente en la figura 12.

En primer lugar se estudia el movimiento de giro horizontal o panorámico, siendo los valores que delimitan el mismo 49° en ambas direcciones. En la figura 126 se puede observar la cabeza robótica situada en las dos posiciones indicadas, comprobando por lo tanto que cumple dicho requisito.



Figura 126. Posiciones límite de giro panorámico.

A continuación se lleva a cabo el estudio del giro vertical o de cabeceo, siendo los valores que delimitan el mismo -35° y 41° , tomándose como positivo el ángulo por encima de la horizontal. En la figura 127 se puede observar la cabeza robótica situada en las dos posiciones indicadas, comprobando por lo tanto que cumple dicho requisito.

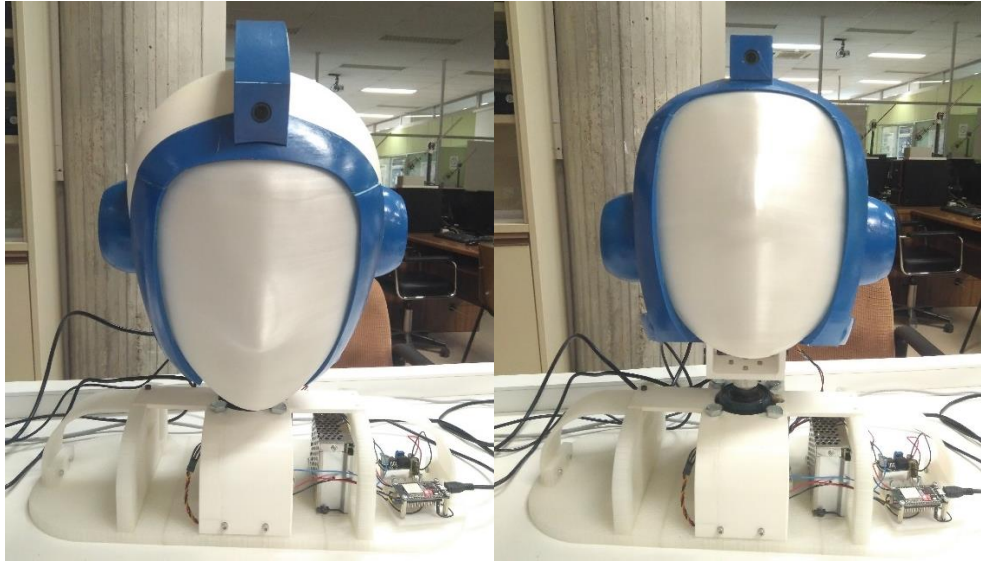


Figura 127. Posiciones límite de giro de cabeceo.

A su vez, se debe cumplir que la cabeza robótica logre alcanzar las posiciones extremo en las dos direcciones simultáneamente, lo cual se contempla en la figura 128, donde la cabeza alcanza dos posiciones límite, la primera con el giro izquierdo y la inclinación en dirección negativa y la segunda con giro derecho y la inclinación en dirección positiva, determinando por lo tanto el correcto cumplimiento de dicho requisito.

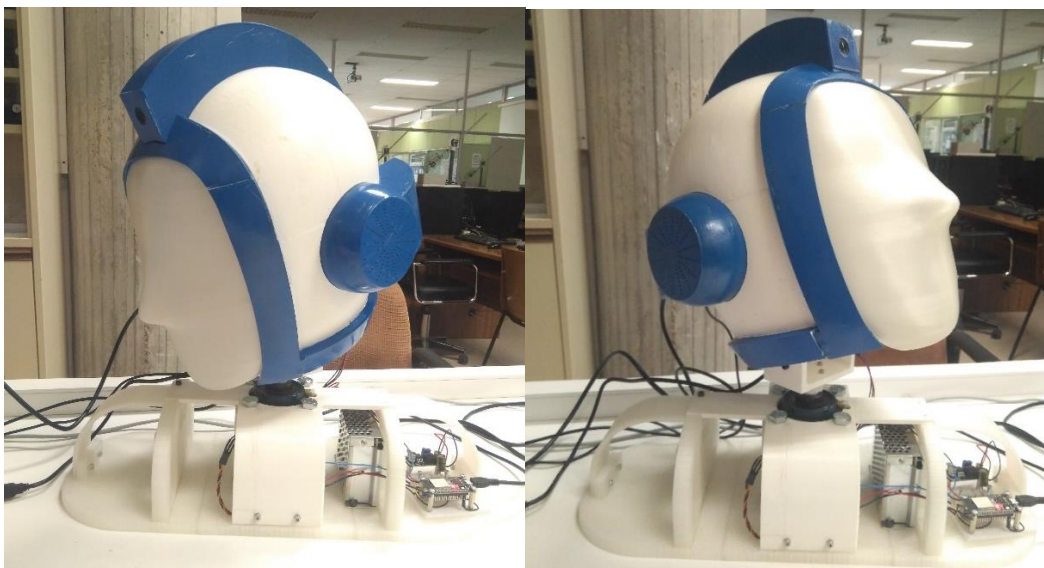


Figura 128. Posiciones límite de giro conjuntas.

A partir de este estudio anterior se comprueba el correcto funcionamiento del mecanismo diseñado así como del programa de control de los servomotores, a partir del cual se logra alcanzar dichas posiciones de forma precisa.

Por último, restaría comprobar el antropomorfismo logrado por la cabeza robótica en conjunto con el funcionamiento del sistema de proyección. En la figura 129 se puede observar una imagen del conjunto en funcionamiento, donde se junta el propósito buscado de un robot con rasgos humanoides y un rostro humano.

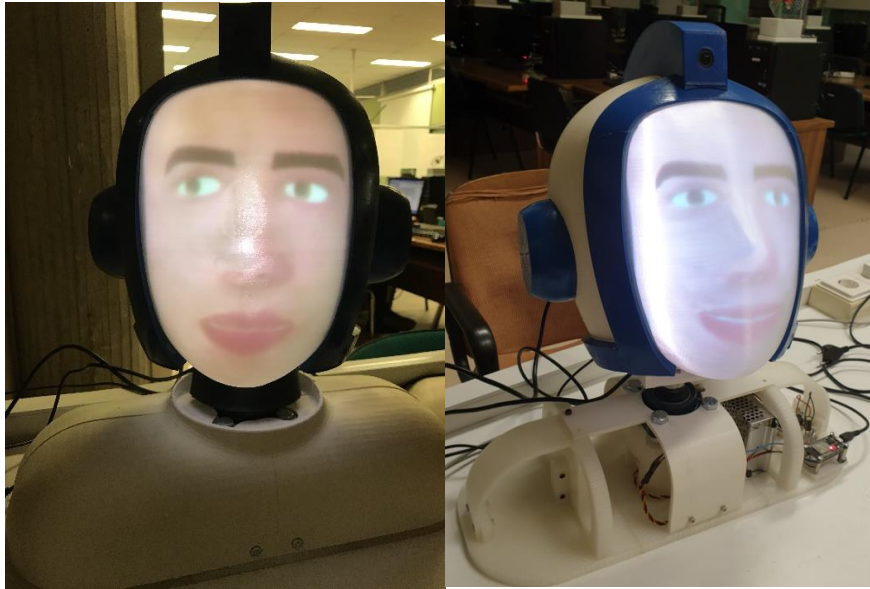


Figura 129. Resultado montaje con la máscara proyectada.

Otro de los resultados importantes obtenidos a lo largo del proyecto corresponde a la obtención de unas velocidades de giro que se asemejen a las de una persona humana, hecho al que se da mención en este capítulo pero que ha sido demostrado con la elaboración del cálculo cinemático y su comprobación con los servomotores seleccionados para generar el movimiento.

CAPÍTULO 8: ESTUDIO ECONÓMICO

Para la realización del estudio económico del proyecto, se tendrán en cuenta los materiales necesitados para su elaboración, las máquinas empleadas y, por último, se hará una estimación del coste que supondría tener a un ingeniero o un equipo de ingenieros trabajando en dicho proyecto.

En primer lugar, se determinarán el conjunto de costes directos, dentro de los que se incluyen los costes de los materiales empleados, los cuales ascienden a un total de 1.173,83 €, teniendo en cuenta todas las bobinas de filamento de impresión 3D empleadas en su producción, las piezas necesarias para el montaje, los dos servomotores empleados, el proyector, la lente de proyección, etc. El conjunto de elementos adquiridos se puede consultar en la tabla 16.

Otro de los costes directos a tener en cuenta, sería el de amortización o depreciación de programas y equipos empleados de forma implícita en la obtención del proyecto, ya que la amortización de otro tipo de elementos entraría dentro de los costes indirectos. Todos los cálculos respectivos a las amortizaciones se detallan a continuación, y se muestran resumidos en la tabla 14.

Para el cálculo de los programas solo se tendrán en cuenta los que su licencia de uso supone algún coste, no mencionándose, por ello, todos los de libre acceso. El programa de diseño utilizado es el Catia V5 con la licencia de estudiante, la cual tiene un coste anual de 100,00 €. Para la realización de todo el proceso de diseño ya mencionado, se emplea un ordenador ASUS ROG GL752V con Windows 10 cuya licencia cuesta unos 259,00 €.

Al igual que el precio de las licencias, como se ha mencionado antes, también se tendrá en cuenta la amortización de los equipos empleados, donde se incluyen ordenadores y máquinas. Para la determinación de la amortización del ordenador utilizado se tiene en cuenta una vida útil del mismo de unos seis años, obtenido al precio de compra de 1200,00 €. Con todos los datos anteriores se obtiene una amortización estimada del ordenador de unos 120,00 €, teniendo para ello en cuenta la duración del proyecto.

En cuanto al coste de máquina empleada, se valora el uso de las dos impresoras 3D, no teniéndose en cuenta para el cálculo las situaciones en las que ha sido necesaria la utilización del taladro de columna u otro tipo de maquinaria, ya que estas han sido necesarias en ocasiones muy específicas. Para llevar a cabo esta estimación, se considerará la amortización de ambas máquinas teniendo en cuenta su vida útil y el gasto energético de las mismas. El método de cálculo para la obtención de cada amortización será el mostrado en la ecuación 20, donde se relacionan las horas útiles de funcionamiento de

cada impresora con el precio de la misma y las horas que ha estado en funcionamiento.

Ecuación 20

$$\text{Amortización} = \frac{\text{Precio De Compra} \times \text{Horas de Uso}}{\text{Horas de Vida Útil}}$$

Por lo tanto, a partir de los datos recogidos en la tabla 13 y empleando la ecuación 10, se obtiene que la amortización de la impresora Ultimaker 3 Extended supone 230,00 €, y para la impresora Ender 3 5,00 €. Es importante añadir que las horas de vida útil de las impresoras, son estimadas teniendo en cuenta un buen funcionamiento de las mismas a lo largo de cinco años, y con un promedio de impresión de tres horas al día. Para la impresora Ender 3 se tiene en cuenta un tiempo de vida menor, siendo de unos tres años a ese ritmo de funcionamiento.

Tabla 13. Variables de los costes de impresión.

<i>ULTIMAKER 3 EXTENDED</i>	
PRECIO DE COMPRA	4500,00 €
HORAS DE VIDA ÚTIL	5475 h
HORAS DE USO	280 h
<i>ENDER 3</i>	
PRECIO DE COMPRA	264,00 €
HORAS DE VIDA ÚTIL	3285 h
HORAS DE USO	60 h

A continuación, como se ha mencionado antes, se incluye el resumen de las amortizaciones, el cual se muestra en la tabla 14.

Tabla 14. Resumen del conjunto de amortizaciones.

AMORTIZACIONES	COSTE (€)
CATIA V5 VERSIÓN ESTUDIANTE	100,00
WINDOWS 10	259,00
ASUS ROG GL752V	120,00
ULTIMAKER 3 EXTENDED	230,00
ENDER 3	5,00
TOTAL	714,00

Para finalizar el conjunto de costes directos se debe tener en cuenta la mano de obra, para la cual se supondrá un sueldo de ingeniero junior, es decir, unos 20.000,00 € anuales. Con el valor del sueldo quedaría por determinar el número de horas de trabajo en cada uno de los campos del proyecto, así como el coste por hora que correspondería al ingeniero contratado, teniendo para ello en cuenta el valor anual antes mencionado y el número de días laborales que posee un año.

En un año genérico existen 148 días no laborables, 104 correspondientes a los fines de semana, 30 que pertenecerían al trabajador como días de vacaciones anuales y 14 de fiestas nacionales, autonómicas y provinciales. Con estos datos, y teniendo en cuenta un trabajo de 8 horas diarias, se obtiene un sueldo por hora de 11,50 €.

A partir de los cálculos ya realizados y el número de horas dedicadas a cada parte del proyecto, las cuales se muestran en la tabla 15, se obtiene un coste de 16.100,00 €.

Añadido a todos los costes directos calculados anteriormente, también será importante considerar algunos costes indirectos como serían el consumo de electricidad, los desplazamientos, etc. Es difícil realizar una estimación certera a cada uno de ellos por lo que se realiza una estimación global, con la cual se determina que los costes indirectos ascienden a un total de 200,00 €.

La suma de todos los costes, directos e indirectos, da un valor resultante de 18.187,83 €, que se correspondería con el coste total del proyecto.

Tabla 15. Distribución temporal del trabajo.

DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DEL TRABAJO	
	HORAS
DOCUMENTACIÓN	190
<i>Información sobre proyectos del mismo campo</i>	100
<i>Posibles servomotores a emplear</i>	20
<i>Estudio de Arduino IDE</i>	40
<i>Estudio de electrónica de control</i>	30
ESTUDIO PREVIO	210
<i>Cálculo cinemático</i>	50
<i>Cálculo dinámico</i>	60
<i>Cálculos estructurales</i>	20
<i>Realización de prediseños</i>	60
<i>Estudio con relación a la implementación real</i>	20
DESARROLLO	410
<i>Diseño CAD en Catia V5</i>	300
<i>Programación para el control de los servomotores</i>	80
<i>Búsqueda y adquisición de piezas comerciales</i>	30
PUESTA A PUNTO	450
<i>Impresión de las piezas diseñadas</i>	120
<i>Montaje del conjunto</i>	200
<i>Tratamiento de las piezas impresas</i>	50
<i>Implementación del sistema electrónico de control</i>	20
<i>Ajuste de montaje y funcionamiento</i>	60
DOCUMENTACIÓN	100
<i>Hardware y sistemas de control</i>	100
TOTAL DE HORAS	1400

Tabla 16. Elementos adquiridos y su valor económico.

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO/UNIDAD (€/UD.)	COSTE (€)
RODAMIENTO	RODAMIENTO DE BOLAS	13	1,00	13,00
	SOPORTE RODAMIENTO	1	8,30	8,30
ANILLO DE RETENCIÓN	CIRCLIPS (ANILLOS DE RETENCIÓN)	14	0,15	2,10
ARANDELA	ARANDELAS	6	0,05	0,30
TORNILLO Y TUERCA	TORNILLOS M10x60 Y TUERCAS M10	4	1,00	4,00
	TORNILLOS M6x30 Y TUERCAS M6	5	1,00	5,00
	TORNILLO M6x10	1	0,75	0,75
	TORNILLOS Y TUERCAS M5	18	0,50	9,00
	TORNILLOS Y TUERCAS M3	4	0,50	2,00
EJE	EJES DIÁMETRO 5 mm	4	2,00	8,00
	EJE DIÁMETRO 20 mm	1	6,00	6,00
PROYECTOR	PROYECTOR	1	180,00	180,00
LENTE	LENTE DE 180°	1	20,00	20,00
SERVOMOTOR	SERVOMOTOR HS-M7990TH	2	206,00	412,00

MICROPROCESADOR	MICROPROCESADOR ESP32 DEVKIT V1	1	10,00	10,00
FUENTE DE TENSIÓN	FUENTE DE ALIMENTACIÓN	1	17,00	17,00
TRANSFORMADOR	TRANSFORMADOR DE CORRIENTE	1	6,00	6,00
ELEMENTOS ELECTRÓNICOS	ELECTRÓNICA VARIADA PARA LAS CONEXIONES	-	-	2,00
FILAMENTO DE IMPRESIÓN	PLA BLANCO BOBINA 1 Kg DIÁMETRO 2,85 mm	4	48,24	192,96
	PLA TRANSPARENTE 1 Kg DIÁMETRO 2,85 mm	1	67,95	67,95
	PLA TRANSPARENTE 1 Kg DIÁMETRO 1,50 mm	2	17,99	35,99
	PVA 0,25 Kg DIÁMETRO 2,85 mm	3	57,16	171,48
			COSTE TOTAL (€)	1.173,83

CAPÍTULO 9: CONCLUSIONES

LOGROS ALCANZADOS

A continuación se lleva a cabo un estudio de las conclusiones obtenidas tras la finalización del proyecto, en las cuales se determinará el grado de cumplimentación de los objetivos predispuestos al comienzo del mismo. A continuación se enumeran las diferentes metas alcanzadas con respecto a cada uno de los principales objetivos globales del proyecto:

- Mecanismo que genera el movimiento:
 - El diseño de un mecanismo de cuadrilátero articulado que genera el movimiento de cabeceo sin interferir en el sistema de proyección.
 - El cálculo de las diferentes características cinemáticas y dinámicas que deben poseer los servomotores seleccionados para cumplir los requerimientos funcionales del modelo final y selección de los mismos.
 - La determinación del conjunto de sistemas de referencia de los que se compone el sistema global, así como los cambios de base entre ellos.

- Proyector y sistema de proyección:
 - La elección de un proyector de tamaño reducido, poco peso y distancia de proyección pequeña que permita su inclusión en el sistema.
 - La elaboración de un diseño capaz de albergar el sistema de proyección, de tal forma que ningún elemento se interponga entre el haz y la máscara de proyección.

- Diseño del modelo:
 - El estudio de varios prediseños posibles seleccionando el de características más viables para el proyecto y a partir del cual se genera el mecanismo mencionado antes.
 - La elaboración del diseño final en Catia V5: mecanismo superior, piezas de sujeción, elementos exteriores estéticos, base fija, etc.
 - La comprobación cinemática de las diferentes condiciones geométricas influyentes, siendo las más importantes de ellas la distancia de proyección y la libertad de movimientos previstos.

- Electrónica:
 - La selección de los componentes necesarios para el correcto control de los servomotores que producen el movimiento.
 - El estudio de las diferentes opciones en cuanto a la forma de control de los servomotores, logrando una conexión que puede evitar el uso de un ordenador junto a la cabeza robótica.

- Impresión 3D:
 - La correcta impresión de las diferentes piezas que componen el modelo real, estudiando la óptima ejecución de las mismas en cuanto a aprovechamiento de tiempos y resistencia de las piezas.

- Montaje y pruebas:
 - El montaje de todo el conjunto de piezas impresas y elementos externos adquiridos, algunos de los cuales han requerido de procesados previos.
 - La implementación del sistema electrónico: microprocesador, fuente de alimentación, cableado, etc.
 - Las diversas pruebas hasta la obtención de un programa de control de los servomotores que proporciona un resultado final satisfactorio.

LÍNEAS FUTURAS DE DESARROLLO

En cuanto a los proyectos de mejora posibles a mencionar, hay una gran variedad de sistemas nuevos de interacción con las personas que sería posible implementar sobre el modelo existente.

Dentro de los sistemas de interacción es importante destacar dos de ellos, que son dos altavoces y una cámara. Ambos elementos son sencillos de incluir en el modelo final, ya que en la etapa de diseño se previó su futura inclusión, dejando espacio en el casco para ellos. En el caso de la cámara, ésta se ensambla en el modelo en la última etapa de montaje, por lo que queda todo dispuesto para el posterior desarrollo.

Para la inclusión de los altavoces, se prevé la colocación de uno en cada una de las orejas del casco, de tal forma que permitiese a la cabeza robótica emitir sonidos y comunicarse con las personas con las que está interactuando.

El otro, como ya se ha mencionado, consistiría en incluir habilidades de interacción mediante la utilización de una cámara colocada en la parte superior frontal del casco. Ésta permitiría desde tomar los rasgos faciales de una persona para su proyección, hasta la implementación de un sistema de seguimiento visual con diversas interacciones en función del número de personas que encuentre, el movimiento de las mismas, etc.

APLICACIONES PRÁCTICAS

Como aparece mencionado en los dos primeros capítulos de este documento, en los últimos años la investigación sobre los robots sociales ha aumentado en gran medida debido, principalmente, a que los casos de interacciones humano-robot son algo común en el día a día de muchas personas. Es por esto que mejorar el nivel de interacción consiguiendo un mayor antropomorfismo, como el que se logra al dotar al robot de apariencia, rostro y movimientos similares a los de los humanos, hace que estas interacciones sean más sencillas y efectivas.

A continuación se mencionan algunas de las posibles aplicaciones que podría tener este proyecto en la actualidad:

- Elemento de información. Con la conexión de unos altavoces sería un eficiente elemento para transmitir información a gente en un centro comercial, una estación, un museo, etc.
- Ayuda para personas con necesidades especiales. Se trataría de un elemento de gran ayuda para cierta parte de la sociedad, pudiendo realizar tareas de recordatorios, alarmas, etc.
- Elemento de interacción. Al igual que en los últimos años existen una gran variedad de sistemas de interacción de uso cotidiano como Alexa, en un futuro este tipo de sistemas podrían ser una mejora de ese campo.

En definitiva, se trata de un modelo con varios tipos de utilidades pero, a parte de sus diversas funcionalidades actuales, con la implementación de más sistemas de obtención de información exterior y de comunicación con el medio, podría llegar a adquirir aún mayor número de aplicaciones.

CAPÍTULO 10: BIBLIOGRAFÍA

[1] Robots sociales en la actualidad.

https://www.tendencias21.net/Robots-sociales-la-nueva-generacion_a2833.html

[Accedido por última vez el 24/03/2019].

[2] Historia y datos acerca del robot ASIMO.

<https://asimo.honda.com/asimo-history/>

[Accedido por última vez el 09/04/2019].

[3] Historia y datos acerca del robot Sophia.

<https://www.hansonrobotics.com/sophia/>

[Accedido por última vez el 09/04/2019].

[4] Historia y datos acerca del robot NAO.

<https://web.archive.org/web/20141126051405/http://www.active8robots.com/products/nao-humanoid-robot/>

[Accedido por última vez el 09/04/2019].

[5] Historia y datos acerca del robot Furhat.

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

[Accedido por última vez el 20/04/2019].

[6] Aplicaciones prácticas en empresas del robot Furhat.

<https://www.furhatrobotics.com/customer-stories/>

[Accedido por última vez el 28/04/2019].

[7] Documentación de ICRA sobre el diseño mecatrónico.

<https://core.ac.uk/download/pdf/19771607.pdf>

[Accedido por última vez el 28/04/2019].

[8] Diseño de una cabeza robótica con estudio de movilidad.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4063071/>

[Accedido por última vez el 28/04/2019].

[9] Diseño de la cabeza robótica iCub con estudio de movilidad.

http://welcome.isr.tecnico.ulisboa.pt/wp-content/uploads/2015/05/1553_06-icra-icub-head.pdf

[Accedido por última vez el 28/04/2019].

[10] Libro de máquinas y mecanismos para los cálculos cinemáticos y dinámicos.

CARDONA, S. "Teoría de máquinas". UPC, 2001.

[11] Información sobre los servomotores.

<https://hitecrd.com/products/servos/ultra-premium-digital-servos/hs-m7990th-mega-torque-hv-magnetic-encoder-servo/product>

[Accedido por última vez el 18/06/2019].

[12] Información sobre el microprocesador.

https://docs.zerynth.com/latest/official/board.zerynth.doit_esp32/docs/index.html

[Accedido por última vez el 23/06/2019].

[13] Código de control del sistema.

<https://randomnerdtutorials.com>

[Accedido por última vez el 16/09/2019].

[14] Información sobre la impresora Ultimaker 3 Extended.

<https://ultimaker.com/3d-printers/ultimaker-3>

[Accedido por última vez el 10/07/2019].

[15] Información sobre la impresora Ender 3.

https://es.creality3donline.com/kit-oficial-de-impresora-3d-creality3d-ender-3-diy_p0019.html

[Accedido por última vez el 10/07/2019].

[16] Información sobre la resina empleada sobre las piezas impresas estéticas.

<https://createc3d.com/analisis-de-xtc-3d-una-resina-para-el-recubrimiento-y-alisado-de-nuestras-impresiones/>

[Accedido por última vez el 15/08/2019].

ANEXO 1: DISEÑO DEL CASCO

El casco y el conjunto de piezas que se ensamblan en el mismo son las piezas de mayor dificultad en este proyecto en cuanto al diseño. Es por esto que se decide dedicar un espacio en los anexo para abordar los diferentes pasos en la etapa de diseño que llegan a la obtención de estas piezas.

Operaciones llevadas a cabo para la obtención del casco sin seccionar:

- Cuerpo principal casco:

Para llevar a cabo el primero de los elementos sobre el cual se va a apoyar el resto de la geometría, se van a determinar una serie de guías y secciones mediante las cuales, empleando una multisección del módulo de superficies, se obtendrá la superficie exterior de una de las dos mitades del futuro casco.

Secciones empleadas y consideraciones de las mismas:

1. Sketch de forma del hueco de la cara:

Se trata de uno de los elementos más importantes de la pieza, ya que determina el espacio que existirá posteriormente para enlazar con la máscara, la cual debe ir ensamblada sobre el propio casco. Se muestra el sketch con sus respectivas cotas en la figura 130.

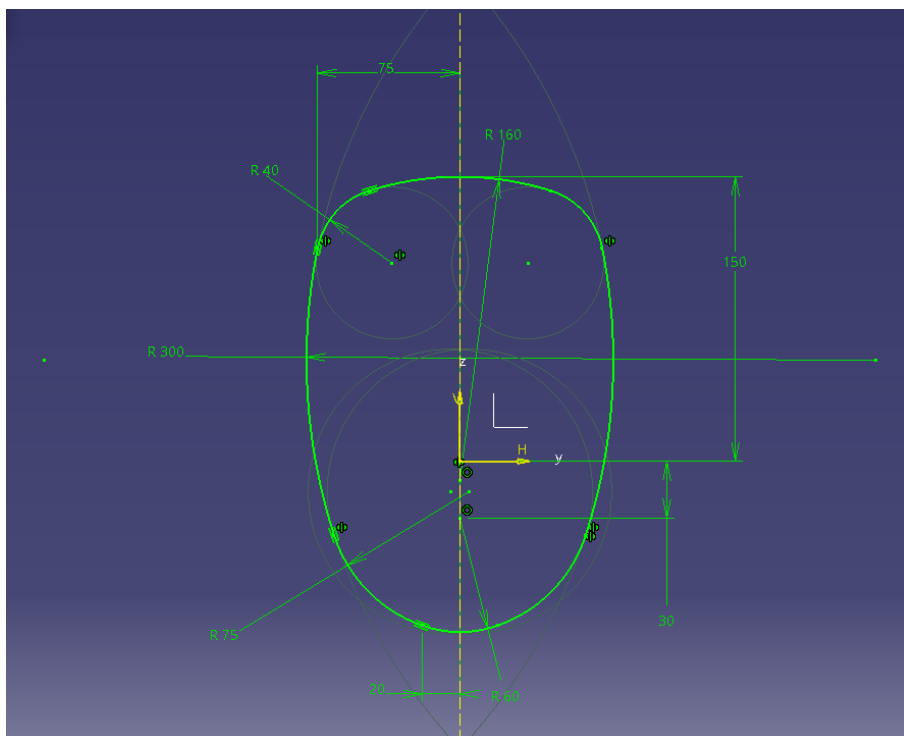


Figura 130. Sketch Catia V5 de la sección facial frontal.

En cuanto a su geometría, se valoró la opción de proyectar dicho sketch sobre un plano inclinado, lo cual le daría mayor toque de realismo y un carácter más estético

al casco, pero esta idea se desechó por dos temas importantes: en primer lugar, el ensamblaje con la máscara sería de una mayor complejidad, dando una mayor dificultad al diseño de ambas piezas, y en segundo lugar, podría producir problemas en cuanto a la impresión futura de las piezas diseñadas, dependiendo de los ángulos de inclinación y de la posición en la que las piezas pudieran ser impresas. Es por esto anterior que se decidió realizar dicho sketch en un plano vertical, evitando de esa forma esos posibles problemas futuros.

Sobre el sketch anterior se realizan dos recortes consecutivos, de tal forma que se elimina una de las mitades del mismo y la zona inferior, ya que el casco irá abierto en esa posición.

2. Sketch de seguimiento de forma:

Este sketch, pese a no ser tan complejo como el anterior, ha sido el que más modificaciones a sufrido en la etapa de diseño debido a su elevada importancia geométrica, la cual es debida principalmente a la disposición del proyector dentro del casco. Esto acarreó ciertas complicaciones al trabajar con varias circunferencias tangentes entre sí, ya que producen un diseño difícil de controlar pero siendo necesario en caso de requerir un diseño realista. El sketch con las cotas correspondientes se muestra en la figura 131.

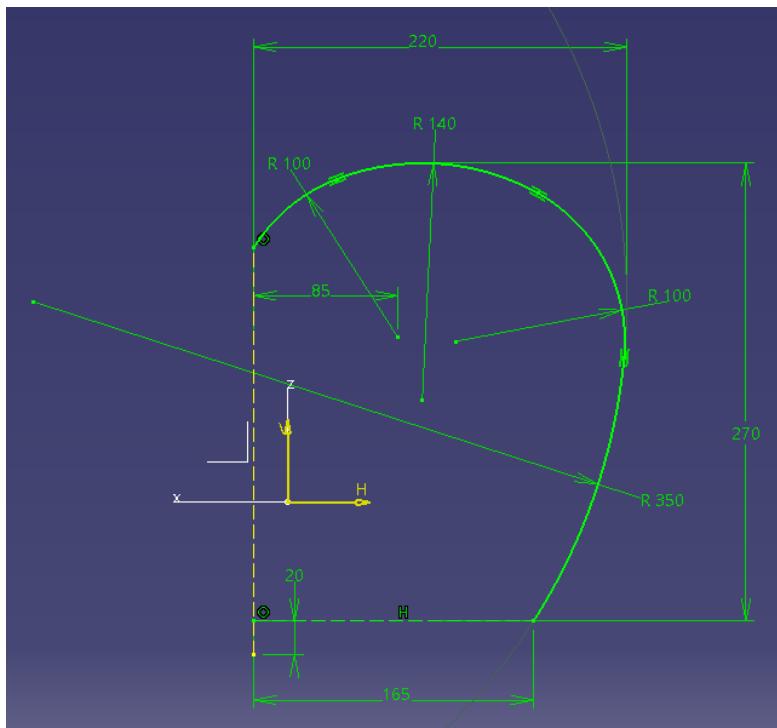


Figura 131. Sketch Catia V5 de la sección lateral del casco.

Después de la realización del mismo, se lleva a cabo un suavizado de la sección, evitando de esa forma muchas de las innecesarias líneas medias que aparecen en el diseño. La configuración del suavizado se muestra en la figura 132.

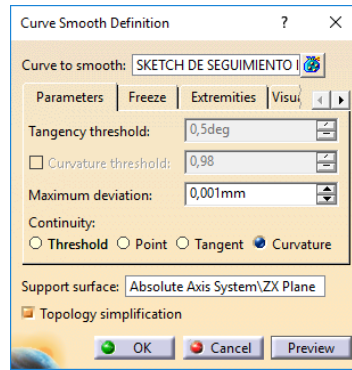


Figura 132. Suavizado del sketch sección lateral cráneo.

Como se explicará a continuación, para que exista continuidad en tangencia en la superficie generada por multisección, será necesario crear una superficie tangente en el punto de enlace entre la generada por multisección y su simétrica.

Guías empleadas y consideraciones de las mismas:

1. Sketch inferior:

Para generar la guía inferior a seguir por la multisección, simplemente se realiza un sketch, mostrado en la figura 133, donde los dos puntos frontales de la sección coincidan con los puntos del sketch de forma de la cara y, en la parte posterior, la circunferencia creada sea tangente al sketch de seguimiento de forma, por lo que no es necesario introducir ninguna cota nueva para dicho elemento.

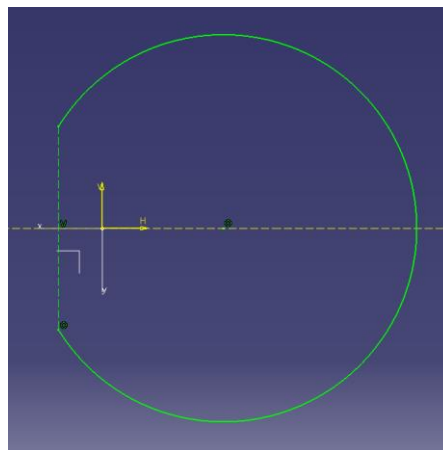


Figura 133. Sketch Catia V5 guía inferior de seguimiento.

Para su utilización en la multisección, como ésta se realiza solo de la mitad del casco, es necesario cortar la sección por su plano de simetría.

2. Sketch sección intermedia casco:

Este sketch, mostrado en la figura 134, tiene como objetivo conseguir un resultado final más acorde con la forma normal de un casco, haciendo que éste sea más alargado en su dirección vertical y se adapte más al resultado buscado.

Al igual que ocurre con el anterior, no es necesario introducir ninguna cota, simplemente añadiendo restricciones con respecto al resto de sketch generados.

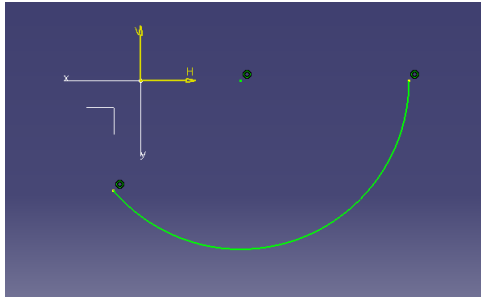


Figura 134. Sketch Catia V5 guía intermedia de seguimiento.

Al ser realizado directamente a la mitad, no es necesario seccionarlo para realizar la multisección.

Una vez explicadas las diferentes secciones y guías a emplear, se definen las características de la multisección, la cual posee la configuración mostrada en la figura 135.

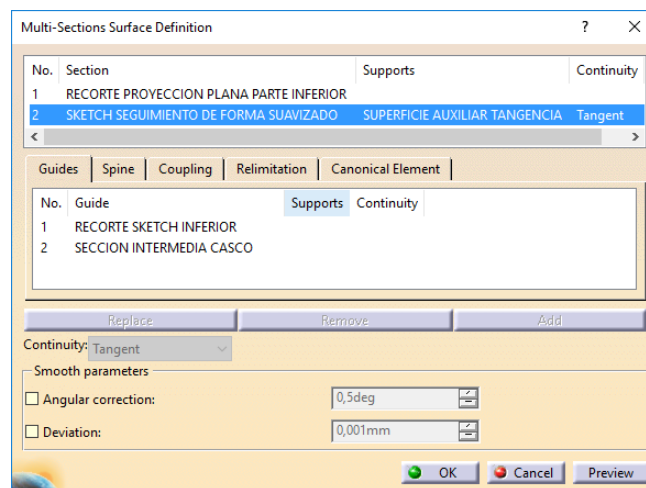


Figura 135. Configuración multisección superficie exterior del casco.

Como se determinó antes, para garantizar la continuidad entre la superficie generada y su simétrica, es necesario añadir condiciones de tangencia a la sección en su zona de conexión, para lo cual se crea una superficie tangente como se puede observar en la figura 136.

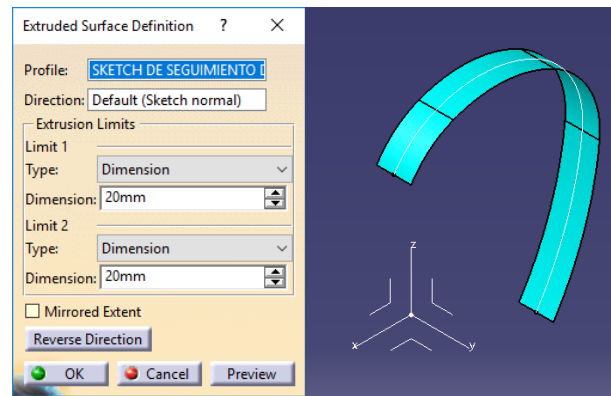


Figura 136. Superficie auxiliar de tangencia obtenida por una extrusión

La dirección de extrusión para la obtención del plano auxiliar de tangencia se deja por defecto, ya que es la perpendicular al sketch, pudiendo seleccionarse también la dirección en Y del sistema de ejes. La superficie generada se cambia de color para diferenciarse de otras superficies finales obtenidas en el proceso de elaboración de la pieza, ayudando a su comprensión.

El conjunto de guías, secciones y superficies auxiliares, así como el resultado final de la multisección se pueden observar en la figura 137.

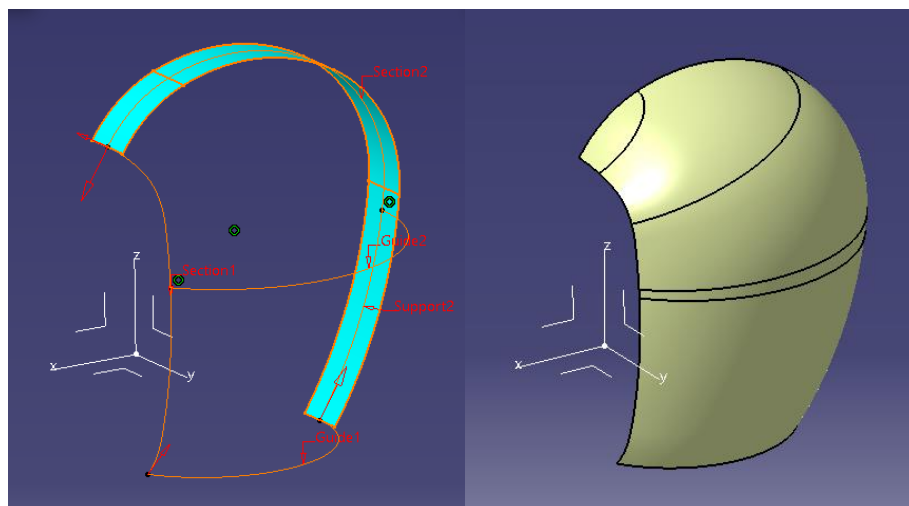


Figura 137. Guías, secciones y superficies auxiliares multisección.

Con esta superficie obtenida, el siguiente paso consiste en realizar su simétrica, unir ambas superficies y transformarlas en un sólido. En la figura 138 se puede observar la adhesión de las dos superficies y en la figura 139 la creación del sólido principal casco.

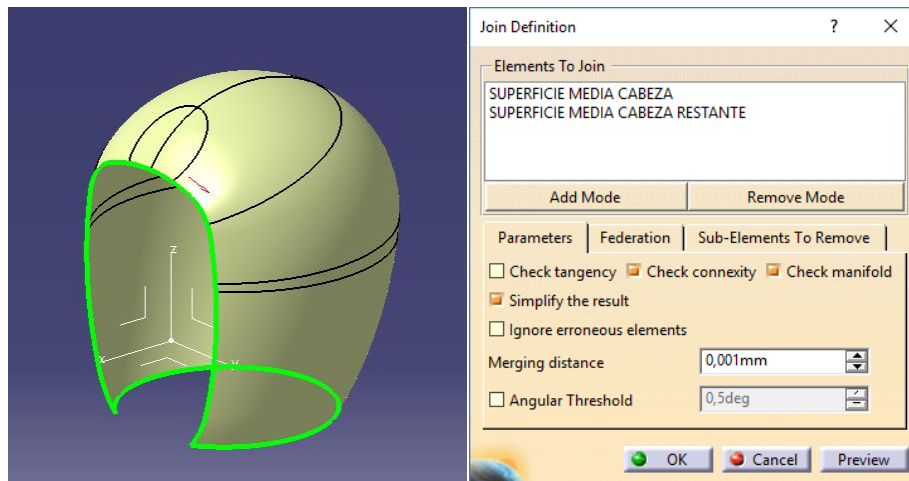


Figura 138. Unión de las superficies exteriores del casco.

Es importante comprobar a la hora de unir ambas superficies, que los bordes de la superficie resultante sean los deseados y no queden espacios entre ambas, ya que de ser así generaría problemas futuros.

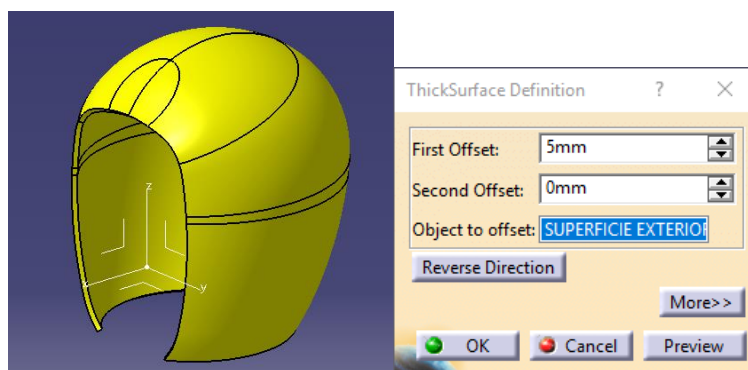


Figura 139. Primera parte sólida del casco.

Como se observa en la figura 139, para la obtención del sólido final se emplea la opción “Thick Surface”, a partir de la cual se puede generar un sólido extruyendo una superficie en una dirección normal a la superficie, siendo seleccionado en este caso la dirección interior ya que la superficie generada anteriormente se define como superficie exterior del casco.

- Rebordes laterales casco:

Este elemento es en su mayor parte estético, aunque es importante destacar que también posee una utilidad al aumentar la superficie de la zona donde se va a realizar la unión con la máscara ya que, de no ser así, ésta sería muy reducida y sería complicado diseñar la unión.

Para generar esta geometría es necesario apoyarse en el cuerpo ya generado, los pasos para su obtención son los siguientes:

1. Superficie general buscada a recortar:

Para ello es necesario realizar una operación de “Offset” a la distancia deseada a partir de la superficie exterior del casco generada antes, en este caso los parámetros utilizados son los que se muestran en la figura 140.

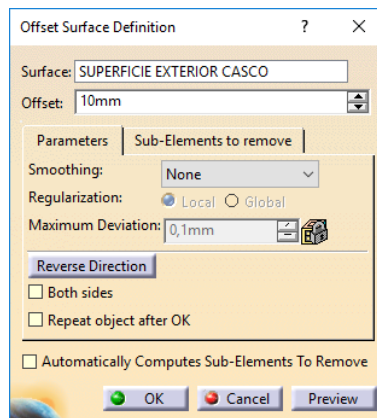


Figura 140. Configuración superficie paralela a la exterior del casco.

De esta forma se obtiene una superficie idéntica a la anterior a una distancia de 10 mm.

2. Recortes sobre la superficie semilla:

A partir de la superficie anterior se realizan dos recortes consecutivos, con los que se obtienen las superficies deseadas como se muestra en la figura 141 y la figura 142.

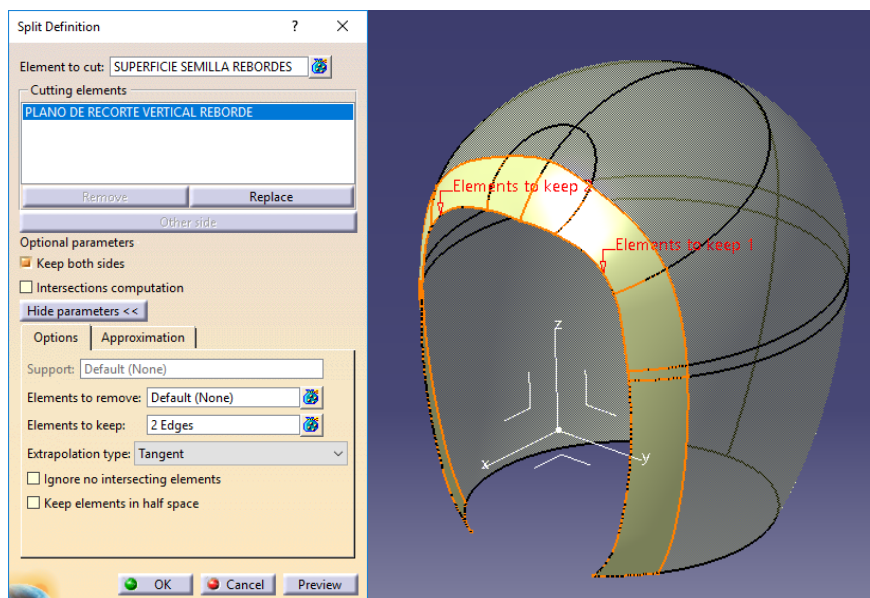


Figura 141. Recortes para obtener la superficie de rebordes frontales.

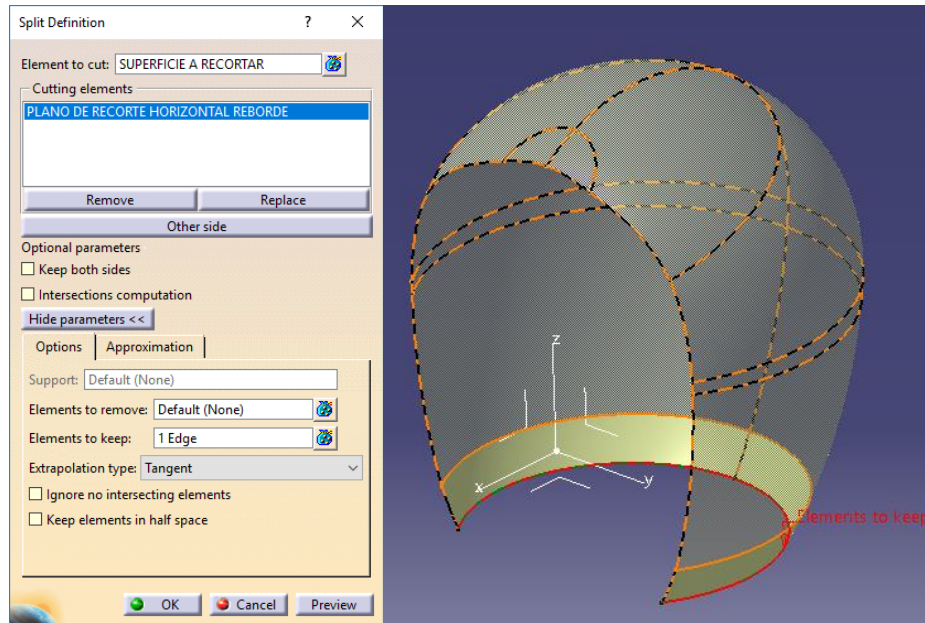


Figura 142. Recortes para obtener la superficie de rebordes inferiores.

Es importante a la hora de realizar la operación de recorte “Split”, de ser posible, seleccionar siempre algún elemento a mantener o a eliminar en lugar de emplear la opción “Other side”, ya que en caso de modificaciones de geometría es posible que esta última opción de problemas y en caso de piezas complejas puede ser difícil determinar dónde se encuentra el fallo.

3. Superficie final completa y generación del sólido correspondiente:

Mediante la operación de unión o “Join” se enlazan las dos superficies obtenidas por recortes, obteniendo el resultado mostrado en la figura 143.

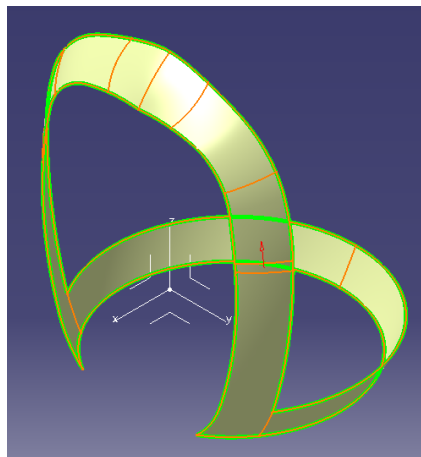


Figura 143. Unión de los rebordes frontal e inferior.

Como en el apartado anterior, es importante observar que las líneas exteriores que marca la superficie final son correctas.

Una vez obtenida la superficie solo es necesario realizar extrusión de la misma en la dirección correspondiente, de tal forma que se obtiene el sólido representado en la figura 144.

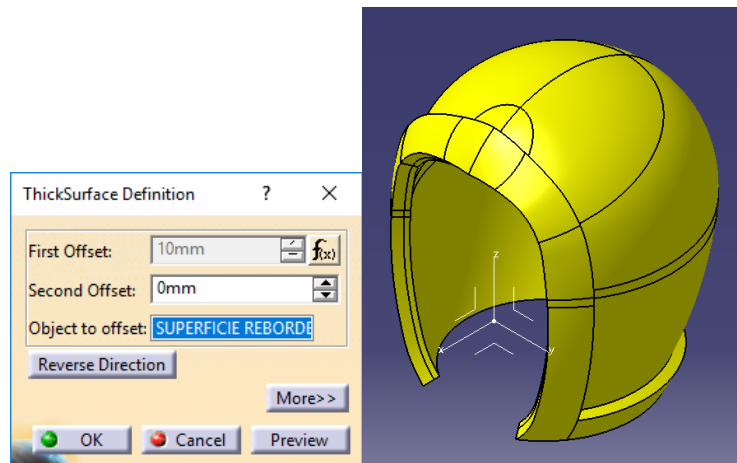


Figura 144. Generación del reborde sólido.

Es importante que la cota introducida en la operación de “Thick Surface” esté vinculada con la introducida en la operación inicial de “Offset”, de tal forma que en caso de cambiar la primera se actualice ésta última.

- Cuerpo cresta superior:

Este elemento, pese a que podría ser simplemente estético, se ha decidido llevar a cabo para, en caso de ser deseado en un futuro, poder introducir en su interior una cámara que permitiese escanear el rostro de la gente con la que interactúe el robot, cosa que permitiría desde poder escanear el rostro de la persona para mostrarlo en la proyección, hasta responder a determinados estímulos producidos por dicha persona.

Para su elaboración, al igual que el anterior, es necesario apoyarse en el modelo inicial del casco. El procedimiento es el siguiente:

1. Generación del sketch a emplear:

Se genera la silueta deseada de la zona superior o cresta, determinando así la forma exterior del elemento a generar. Dicho sketch se muestra en la figura 145.

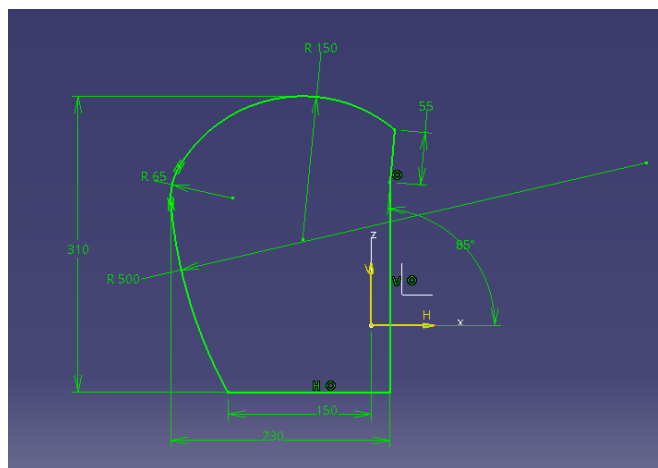


Figura 145. Sketch que contiene la forma de la cresta superior del casco.

La inclinación de la zona superior tiene que ser característica para, en un futuro, colocar si así se requiere una cámara en dicha pieza.

2. Superficie generada a partir del sketch:

A partir del sketch generado antes, se genera una superficie con el comando de extrusión y con la dirección predeterminada normal al plano del sketch, también podría determinarse la dirección del eje y.

En cuanto a la dirección de extrusión se selecciona la opción de “Mirrored Extent”, la cual hace que la dimensión introducida se prolongue en las dos direcciones normales al plano del sketch, como se observa en la configuración de la figura 146.

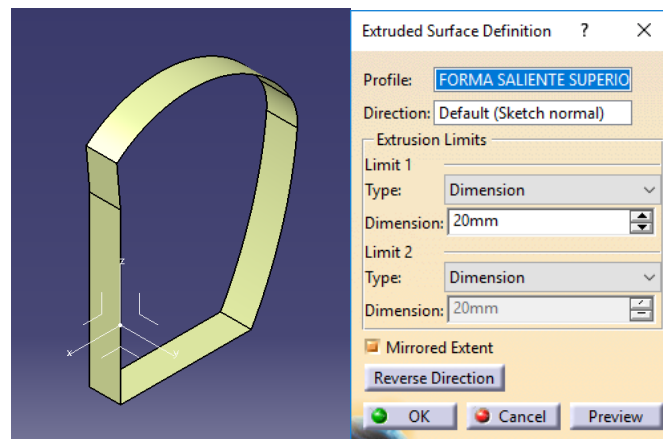


Figura 146. Generación de la superficie superior de la cresta.

3. Rellenado de las superficies laterales restantes:

Para conseguir la superficie exterior completa buscada se emplea el comando “Fill Surface”, con el cual seleccionando un contorno cerrado plano genera la superficie interior. De esta forma, como se ve en la figura 147 y la figura 148, se cierran los dos laterales para obtener el sólido encerrado por todas las superficies generadas.

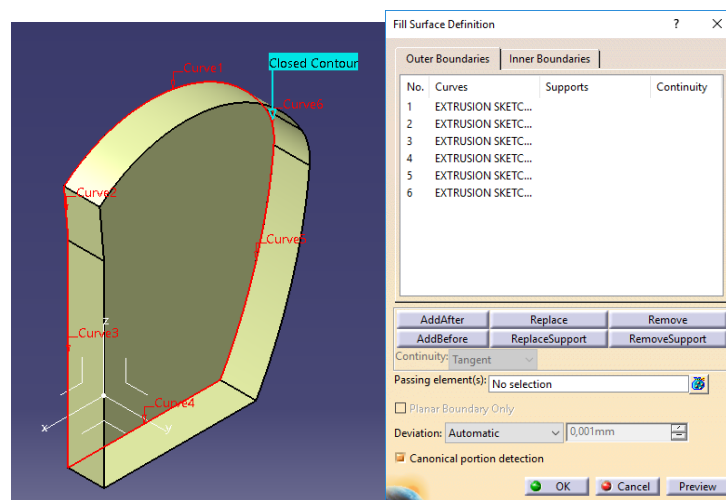


Figura 147. Generación de la superficie izquierda de la cresta.

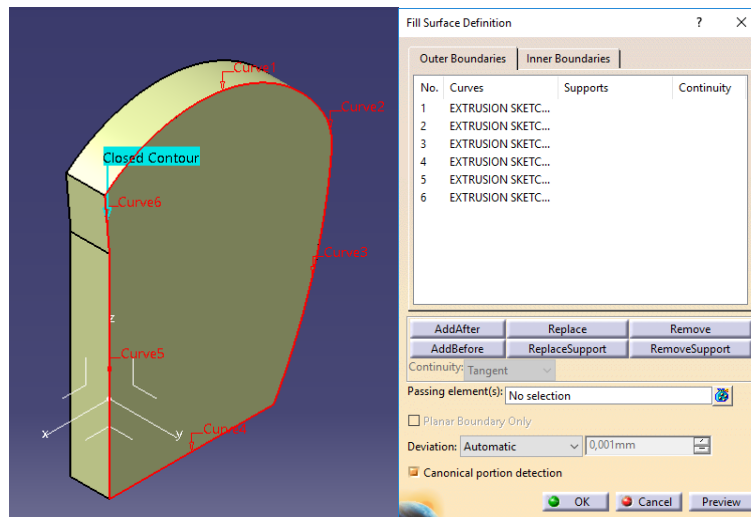


Figura 148. Generación de la superficie derecha de la cresta.

4. Unión de las superficies generadas:

Para obtener el sólido es necesario que las superficies estén cosidas entre sí, para ello se emplea el comando “Join”, seleccionando las superficies en cuestión como se muestra en la figura 149.

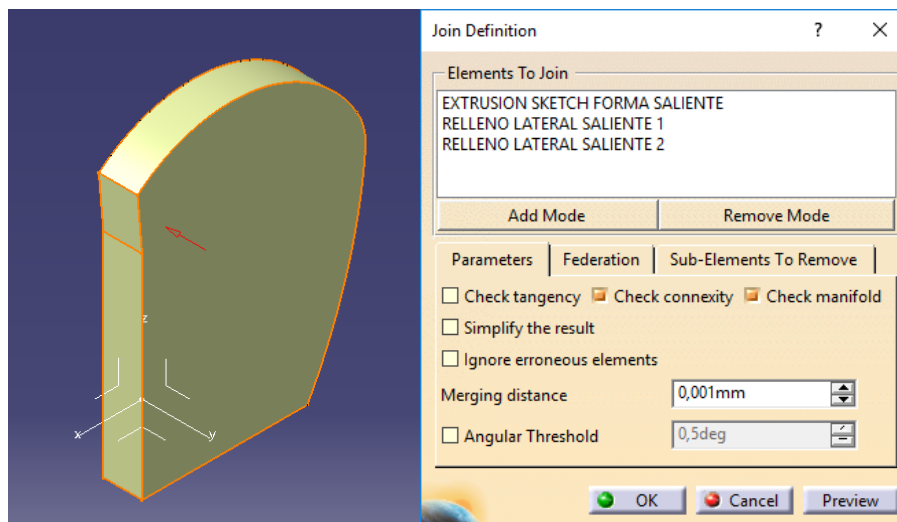


Figura 149. Unión de las tres superficies de la cresta.

5. Recorte del conjunto de superficies:

Como el resultado buscado es únicamente la parte de las superficies que sobresale del casco por la parte superior, se recorta el conjunto creado en el paso anterior con la superficie superior del casco generada al principio, mostrándose la configuración correspondiente en la figura 150.

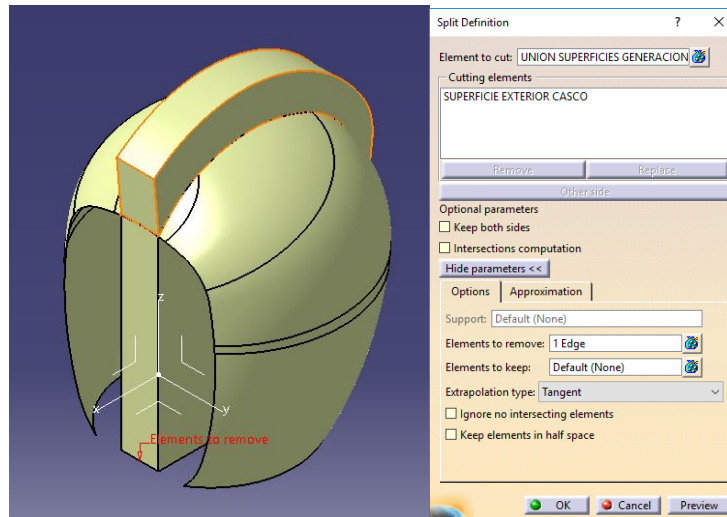


Figura 150. Recorte con el que se consigue la cresta final.

De tal forma que el resultado final obtenido es el mostrado en la figura 151.

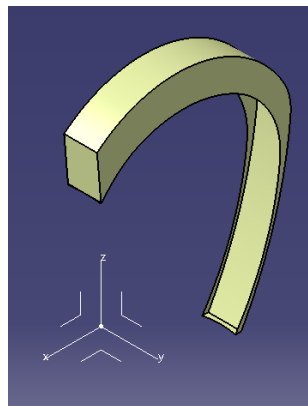


Figura 151. Resultado final de la superficie cresta superior.

6. Elaboración del sólido:

Como el conjunto de superficies generales poseen una cara hueca, la generación del sólido se lleva a cabo empleando la opción “Sew Surface” del módulo de “Part Design”, con el cual cosemos el sólido existente entre la superficie y el casco sólido existente, de tal forma que el resultado obtenido es mostrado en la figura 152.

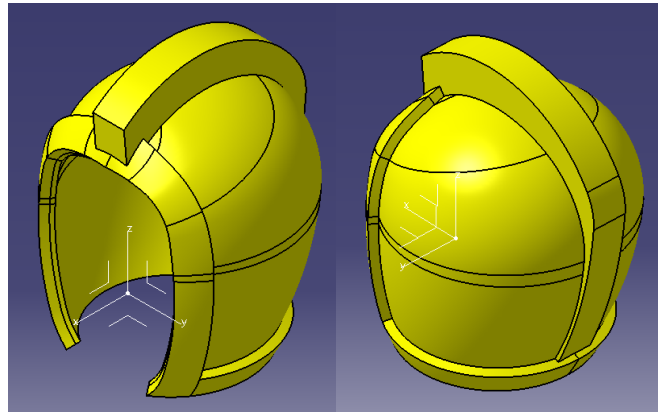


Figura 152. Adhesión al casco del sólido cresta.

También habría sido posible obtener la superficie restante por recorte de la superior del casco, de forma que se podría haber cosido a las anteriores y haber solidificado el conjunto.

- Cuerpo lateral zona proyector:

El motivo que lleva a la creación de este cuerpo en un principio es la posibilidad de que el proyector sobresalga por la parte posterior del casco, requisito indispensable para que se cumpla la distancia necesaria de modo que, al proyectar desde el mismo sobre la máscara, la imagen resultante cubra toda la superficie de la misma.

Para conseguir esto se decide realizar en el casco un saliente a media altura que sea mayor que el ancho del proyector empleado. Posteriormente se decidió emplear también este elemento para crear dos orejeras que permitirán una posterior instalación de dos altavoces.

En cuanto a los pasos seguidos para su elaboración son los siguientes:

1. Generación del sketch con la forma del saliente:

En primer lugar, se genera un sketch con la forma deseada del saliente para que este cumpla los requerimientos establecidos antes, éste se genera en uno de los dos planos definidos como el plano inferior y superior del saliente en cuestión. La forma y cotas de dicho sketch se muestran en la figura 153.

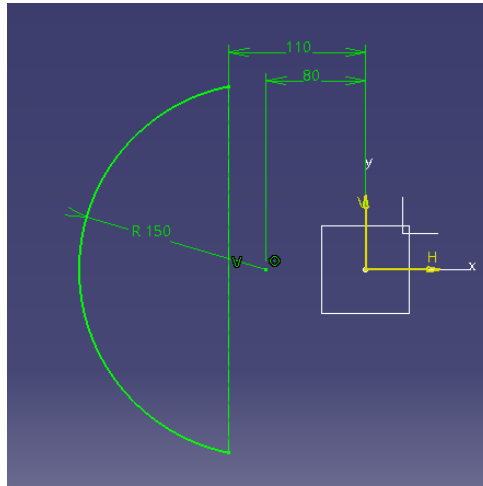


Figura 153. Sketch de generación del saliente posterior.

2. Extrusión del sketch generado:

Para obtener la superficie exterior del cuerpo a extruir, la generamos a partir del sketch obtenido antes, realizando una extrusión del mismo hasta una cierta distancia (en este caso 62 mm), de tal forma que se obtiene el contorno posterior buscado. La superficie y la configuración de creación de la misma se muestran en la figura 154.

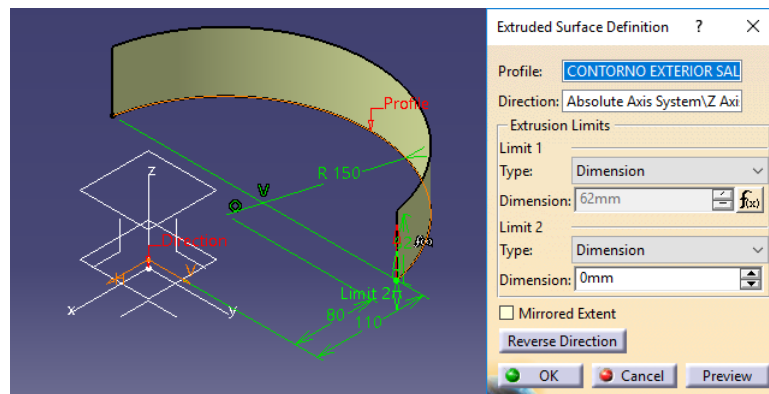


Figura 154. Obtención de la superficie posterior del saliente.

3. Superficies laterales a recortar:

Para la obtención de las superficies paralelas al plano YZ se realiza la extracción de las líneas verticales de la superficie vertical generada antes y se realiza una extrusión de las mismas en la dirección del eje Y, obteniendo el resultado de la figura 155.

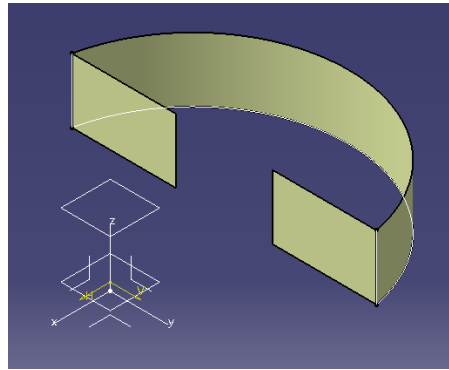


Figura 155. Superficies laterales del saliente posterior.

4. Obtención de la superficie vertical de cierre restante:

Para la generación de la superficie vertical que falta para cerrar el cuerpo a generar se recorta, empleando los dos planos ya mencionados antes, la superficie exterior de la cabeza. Se muestra la configuración correspondiente en la figura 156.

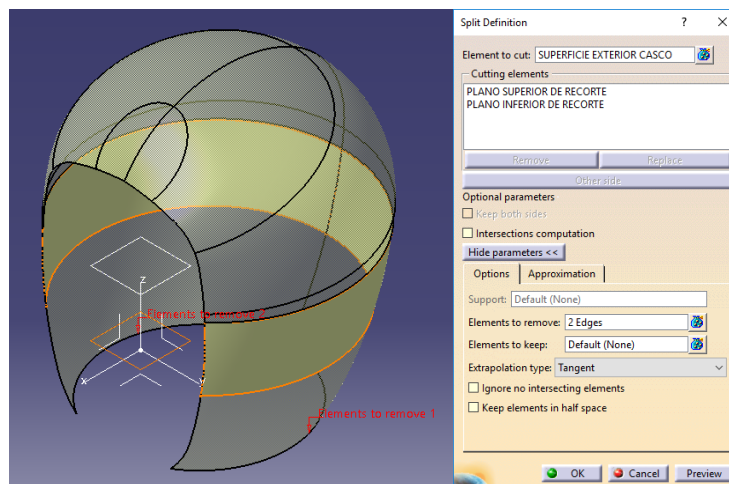


Figura 156. Obtención de la superficie anterior del saliente posterior.

Como ya se ha mencionado en otros casos anteriores, es necesario seleccionar ciertos elementos que se sepa que van a ser removidos para que, en caso de que existan modificaciones en el diseño, no se modifique la sección seleccionada. En este recorte en concreto se seleccionan las dos líneas inferiores como elementos a eliminar.

5. Recorte y cosido de las superficies laterales:

Como las superficies laterales paralelas al plano YZ se generaron de una longitud aleatoria es necesario recortarlas y unirlas a su vez al resto de superficies; para ello, con motivo de ahorrar los pasos a realizar, se emplea la operación de “Trim” la cual, a diferencia de la de “Split”, además de recortar la superficie en cuestión la cose a la superficie de recorte como se puede observar a continuación para cada una de las dos superficies laterales. Dichas configuraciones y resultados se muestran en la figura 157 y la figura 158.

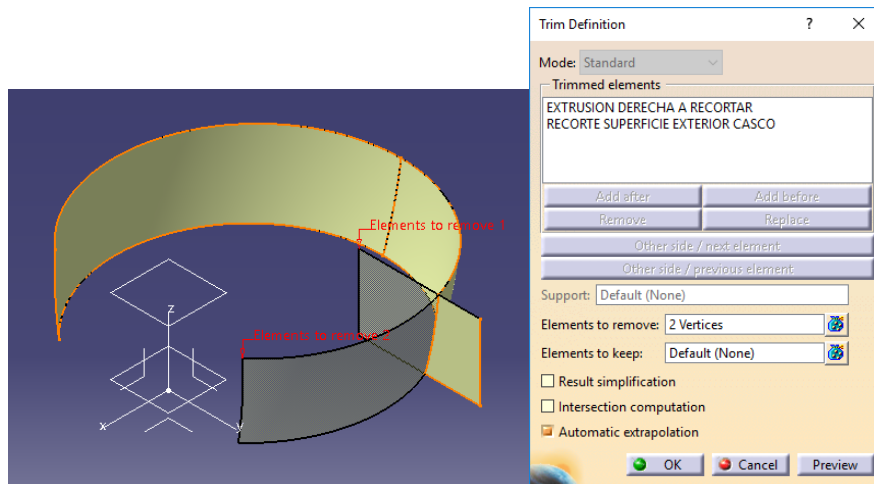


Figura 157. Recorte de la superficie lateral derecha saliente posterior.

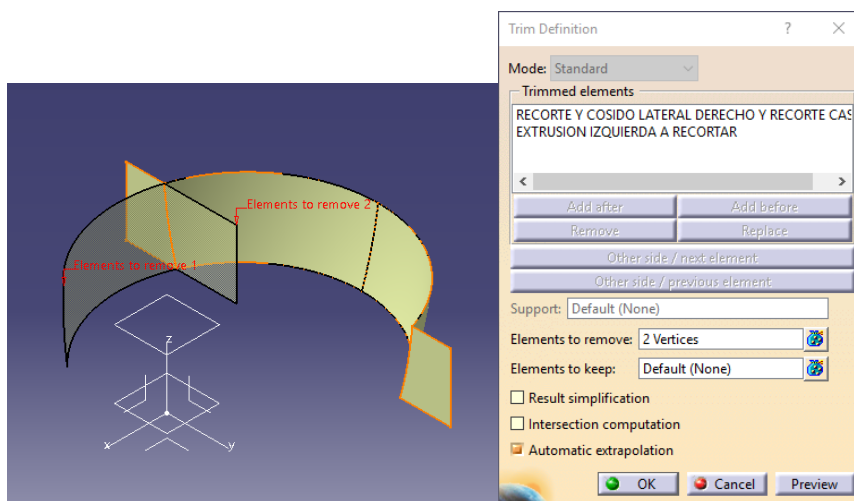


Figura 158. Recorte de la superficie lateral izquierda saliente posterior.

Se selecciona para ambos recortes dos puntos como puntos a eliminar para estabilizar la operación con respecto a modificaciones futuras.

6. Generación de las superficies superior e inferior:

Para la rápida obtención de las superficies superior e inferior que cierran el cuerpo a generar, se emplea la operación “Fill Surface”, a partir de la cual se rellena el contorno seleccionado al tratarse de una superficie plana. La obtención de las dos superficies planas se muestra en la figura 159 y la figura 160.

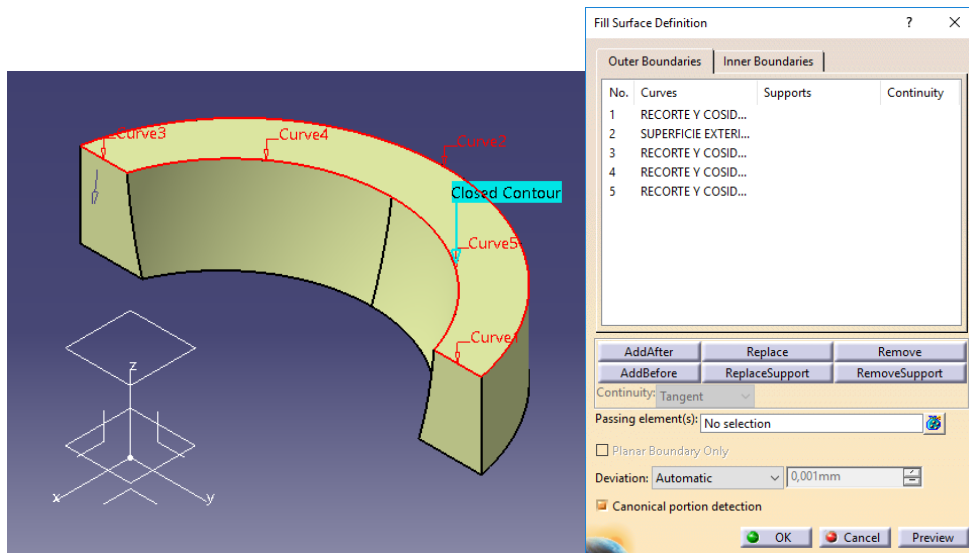


Figura 159. Obtención de la cara superior del saliente posterior.

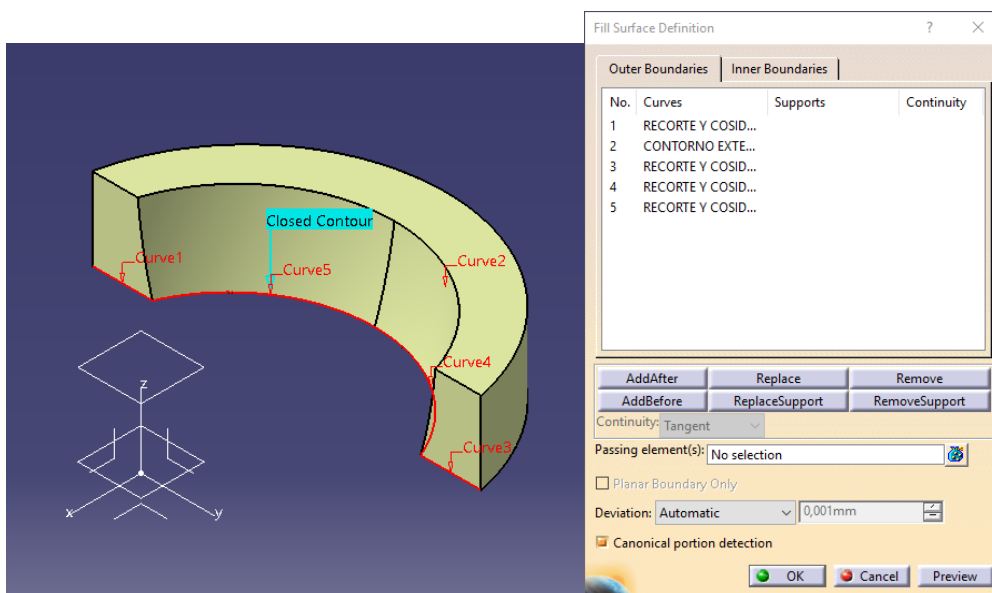


Figura 160. Obtención de la cara inferior del saliente posterior.

7. Unión de todas las superficies generadas:

Para la unión de todas las superficies se emplea, como en el resto de casos, la operación de "Join", con la cual se obtiene la forma exterior de la geometría a generar que aparece en la figura 161.

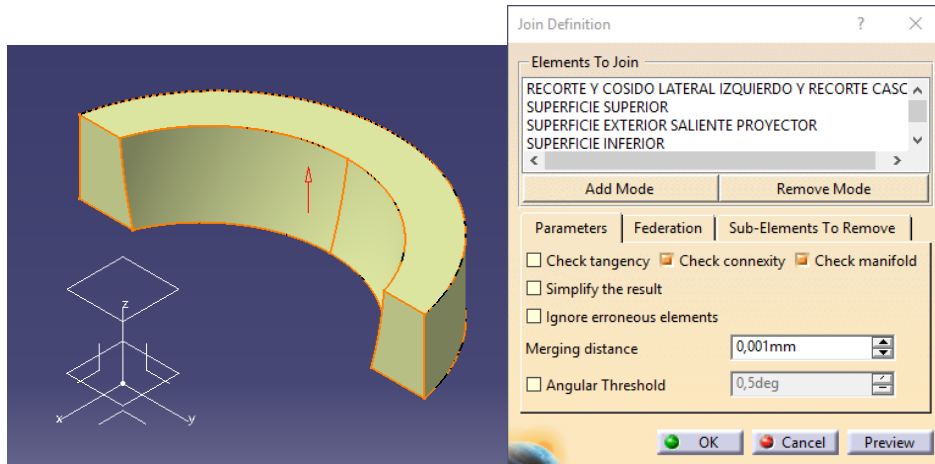


Figura 161. Unión de las superficies del saliente posterior.

8. Generación del sólido correspondiente:

Para la obtención del sólido a partir de la superficie final cerrada generada se emplea la operación de “Close Surface” ya que esta opción permite solidificar un cuerpo mediante un conjunto de superficies cerradas, generando el resultado de la figura 162.

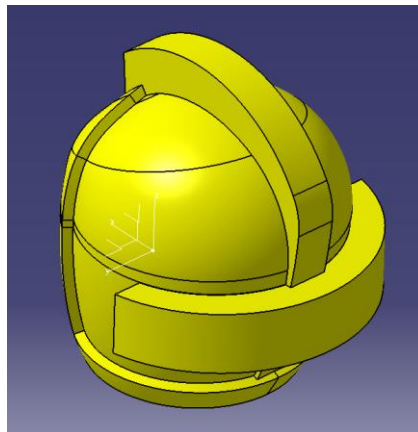


Figura 162. Sólido obtenido tras la solidificación del saliente posterior.

En este caso también podría haberse utilizado la operación de “Sew Surface” para ahorrar pasos pero por ciertos problemas que generaba emplear esta opción se decidió resolverlo de esta forma.

- Elementos orejeras:

La utilidad de estos elementos, como se explicó en el apartado anterior será la de poder añadir, en caso de que fuese deseado, un altavoz a cada lado de la cabeza. Estos elementos pese a su funcionalidad ya explicada, también ayudan a que el resultado final sea más estético cubriendo de cierta forma el saliente lateral generado en la operación anterior.

En cuanto a la generación de ambos sólidos, se llevará a cabo el diseño de únicamente uno de ellos, obteniéndose el otro por simetría.

Las operaciones llevadas a cabo para su obtención son las siguientes:

1. Generación de geometría auxiliar a emplear:

En este caso aparte de ciertos planos límite y de recorte es necesario generar el centro de la esfera que se realizará posteriormente para la zona lateral del casco, así como del eje en que se encontrará dicho punto.

Para ello, en primer lugar, se genera un punto sobre el plano XZ a la distancia deseada, a partir del cual se genera el eje sobre el que se encontrará el punto que definiremos como centro de la circunferencia.

Pensando en que el casco tenga una geometría lógica se decide que el centro de la esfera se encuentre en la superficie del casco, obteniendo dicho punto empleando una operación de intersección entre el eje ya generado y la cabeza, de forma que se generan dos puntos de los cuales nos quedamos con el deseado gracias a la operación posterior de selección por cercanía.

Todos los elementos mencionados se muestran en la figura 163. También será necesaria la creación de un plano para posteriores recortes.

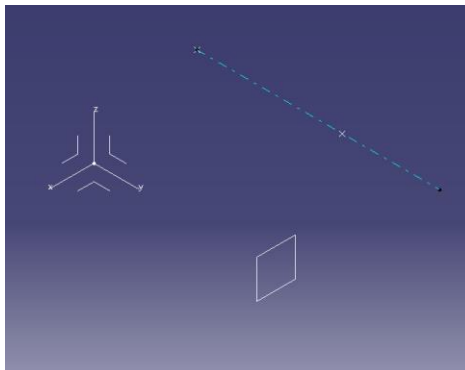


Figura 163. Geometría básica para la obtención de la orejera derecha.

2. Generación de la esfera:

Para conseguir un cuerpo inicial de una forma lógica para la generación de la orejera se decide realizar una esfera tomando como centro el punto obtenido antes. En cuanto a su generación, se emplea la operación "Sphere Surface", para la cual solo es necesario determinar el centro y el radio de la misma, así como el hecho de que se trata de una esfera completa y no una sección. El resultado y los parámetros seleccionados se observan en la figura 164.

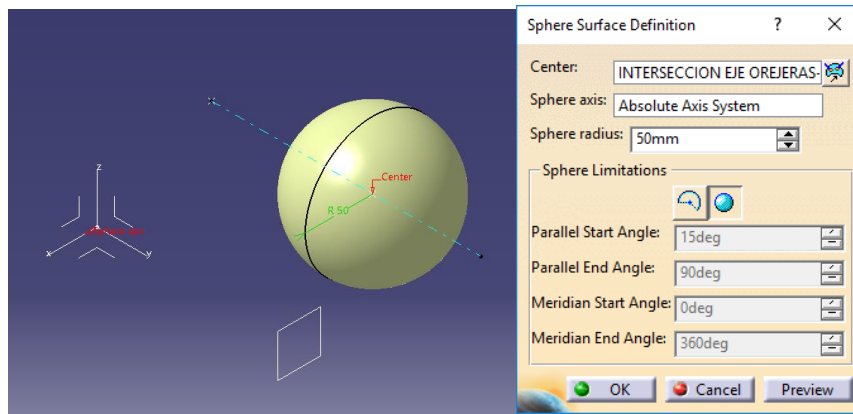


Figura 164. Obtención de la esfera base de la orejera.

3. Obtención de una cara plana en la esfera:

El proceso llevado a cabo para la obtención de una cara plana en la esfera consta de tres pasos que son, en primer lugar, el recorte de una zona de la esfera con el plano generado anteriormente. Dicho recorte se muestra en la figura 165.

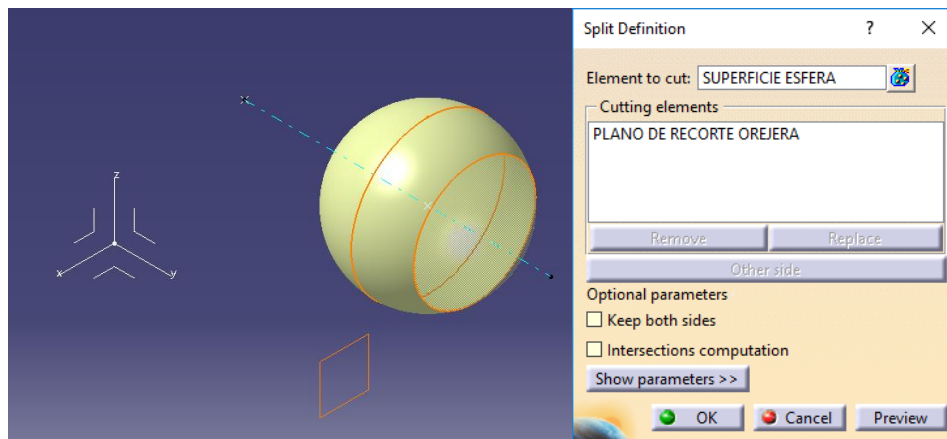


Figura 165. Recorte de la parte lateral de la esfera.

En segundo lugar, con la operación de “Fill Surface”, se genera la superficie plana correspondiente al agujero creado en la esfera tras el recorte, encontrándose la configuración de la misma en la figura 166.

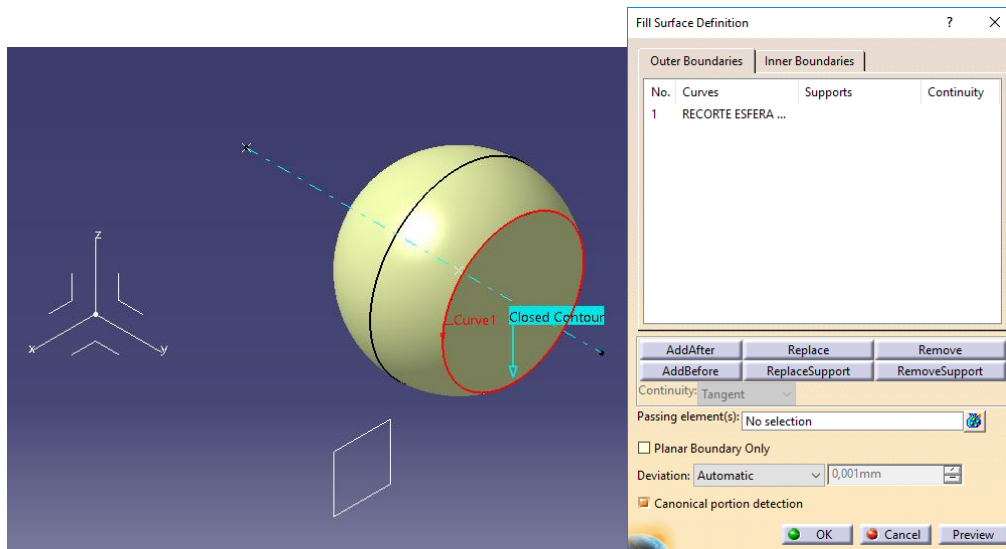


Figura 166. Obtención de superficie en el hueco recortado.

Por último, para la adhesión de la superficie de la esfera y de la superficie plana creada en el apartado anterior, se emplea la operación de “Join” como se observa en la figura 167.

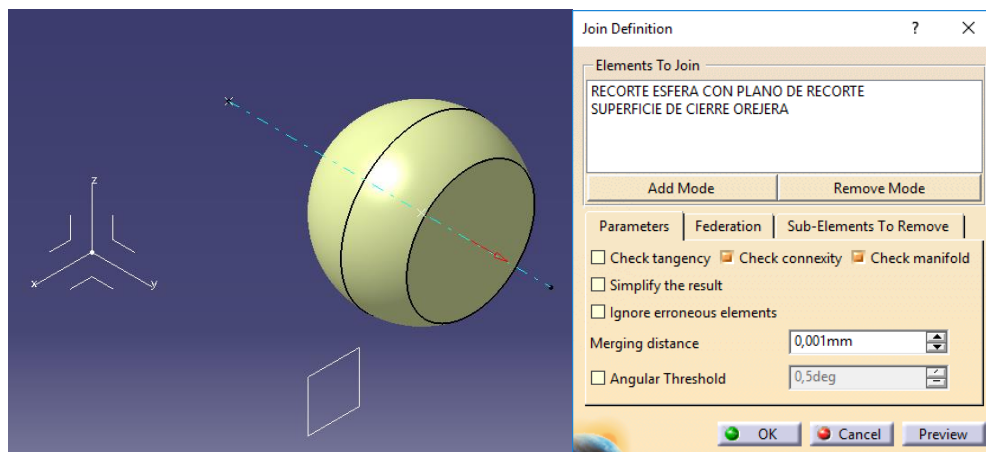


Figura 167. Unión de la superficie plana y la esférica.

4. Recorte de la superficie restante:

Parte de la superficie de la esfera es necesario retirarla, ya que se encontraría en el interior del casco, es por ello que es necesario realizar una operación de recorte, siendo en este caso más útil la de “Trim”, permitiendo recortar y coser la superficie necesaria de la orejera con una superficie generada por adhesión de otras obtenidas por extracción que corresponde con la zona exterior del casco. Se muestra la configuración del resorte en la figura 168.

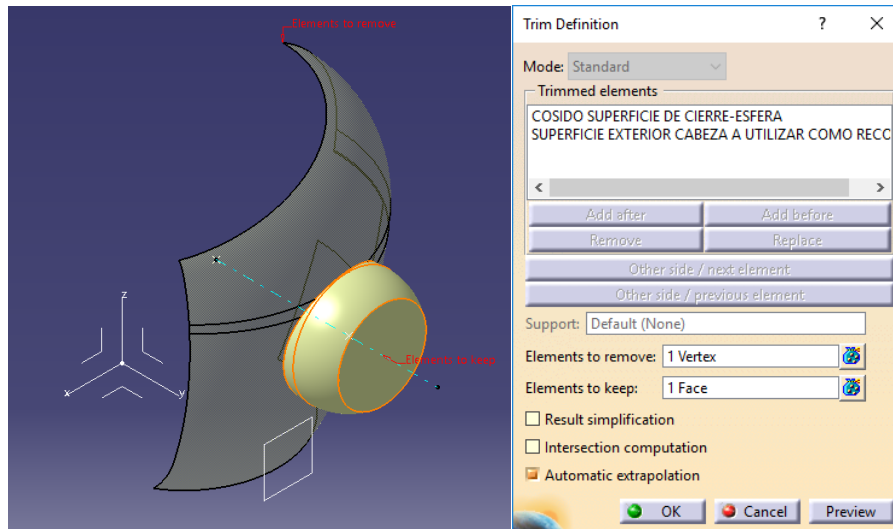


Figura 168. Obtención de la superficie final de la oreja.

De esta forma se obtiene directamente la superficie final cerrada a solidificar.

Como en otras ocasiones, se seleccionan los elementos a remover o a mantener sobre los elementos empleados para prevenir posibles variaciones futuras.

5. Generación de los dos sólidos orejeras:

En primer lugar se genera la primera orejera a partir de la superficie cerrada creada mediante una operación de “Close Surface”. La segunda es creada por simetría de las mismas respecto del plano XZ.

Seccionamiento del casco:

En este punto para la obtención del conjunto final solo queda la realización de una perforación posterior para el encaje del proyector, siendo este llevado a cabo con la realización de un sketch en un plano frontal con la forma de dicha perforación y posteriormente una operación de “pocket”.

Una vez tenemos todo el cuerpo casco diseñado se lleva a cabo el seccionamiento del mismo, empleando para ello tanto planos como superficies, a partir de los cuales se obtienen por separado las piezas: orejera izquierda, orejera derecha, saliente superior hueco cámara y saliente posterior estético.

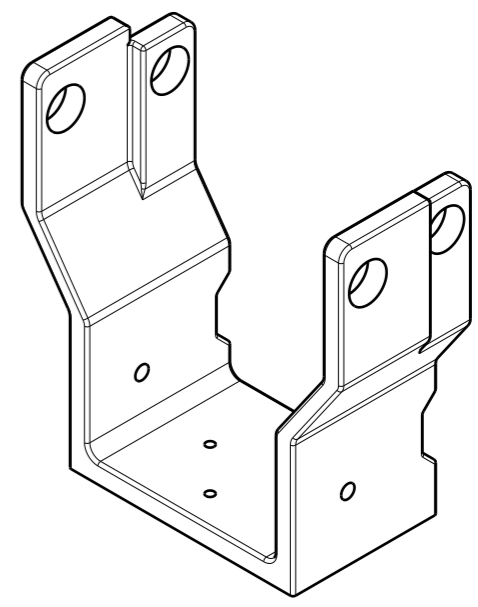
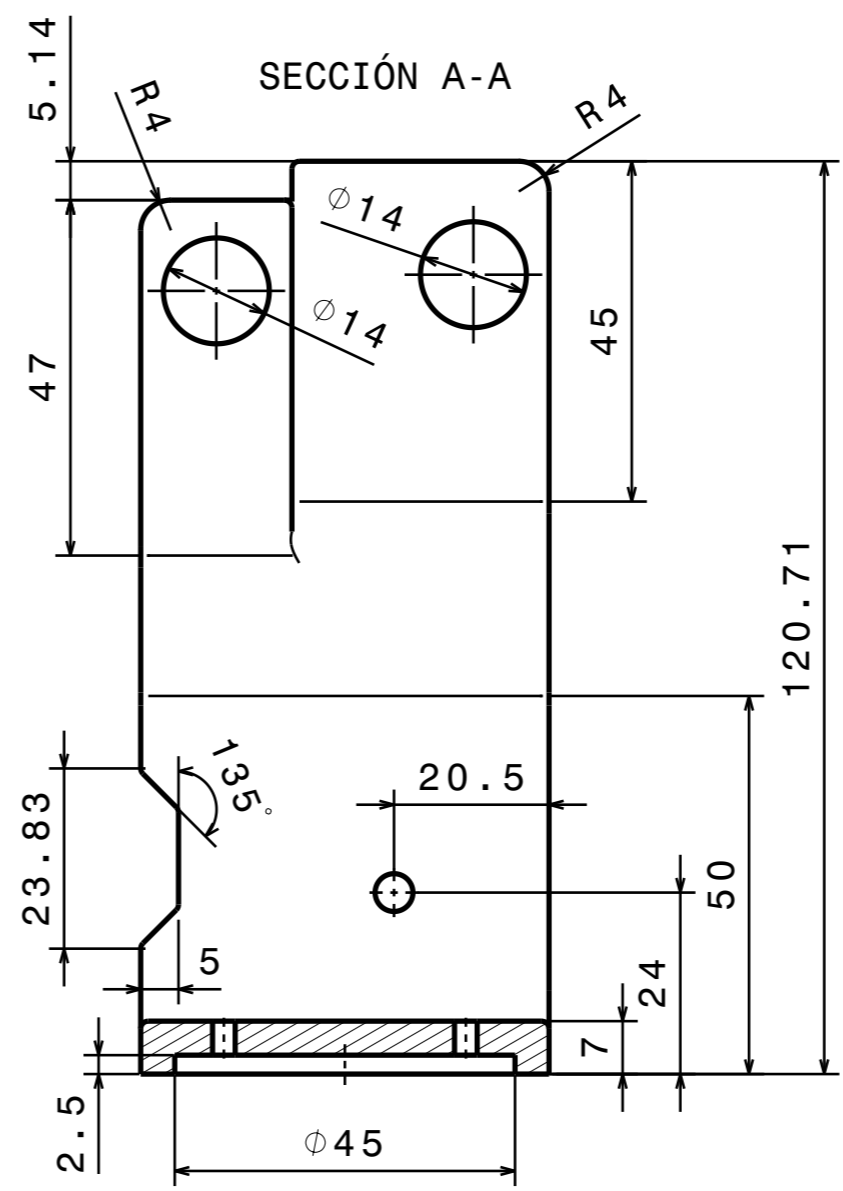
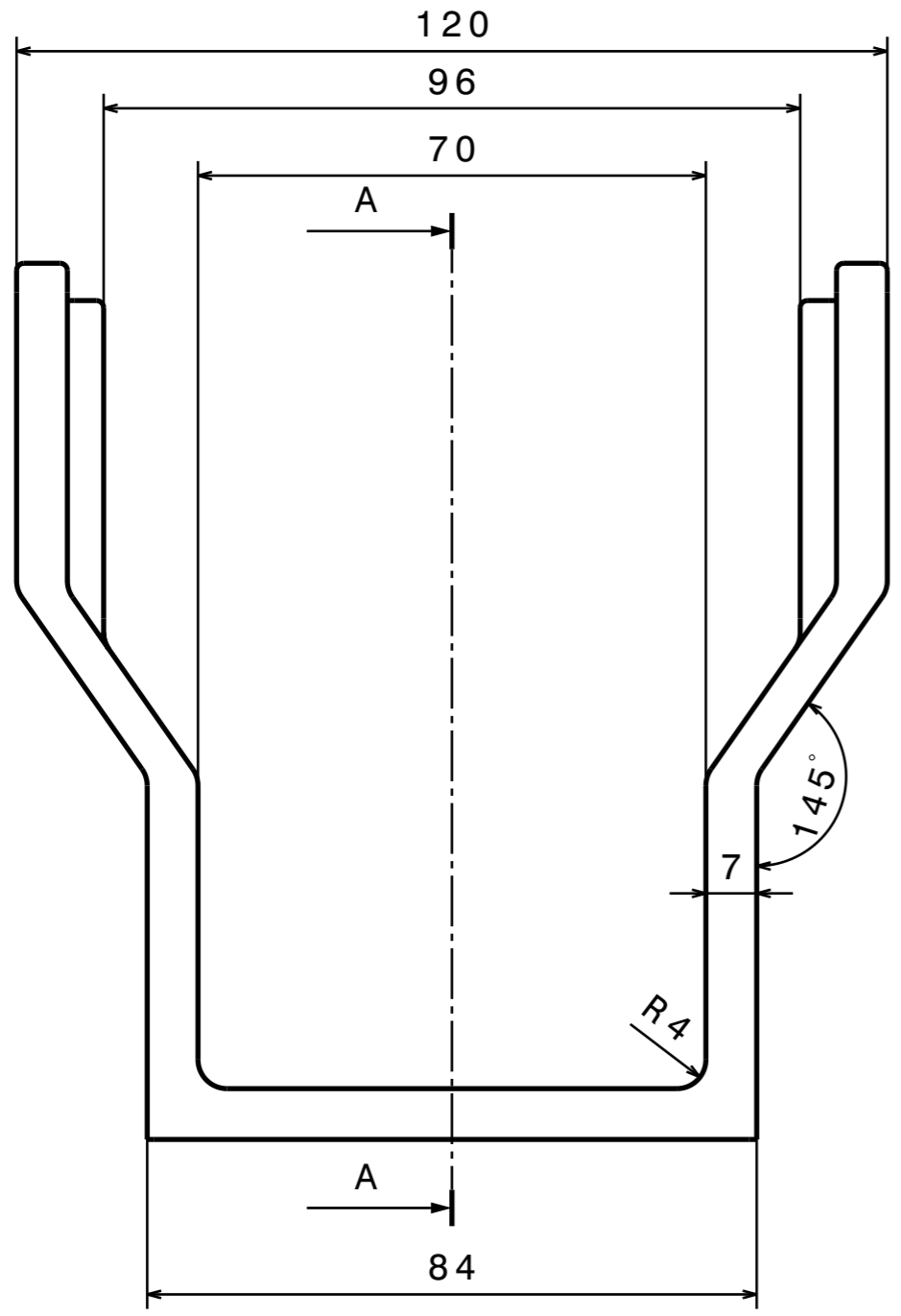
Gracias a esto se facilita la labor de impresión y, para las piezas que es necesario, se ejecuta un vaciado para la inclusión en su interior de elementos como pueden ser una cámara, unos altavoces, etc.

Para la adhesión de dichas piezas al conjunto casco se generan las correspondientes pestañas de unión o elementos de anclaje.

ANEXO 2: PLANOS

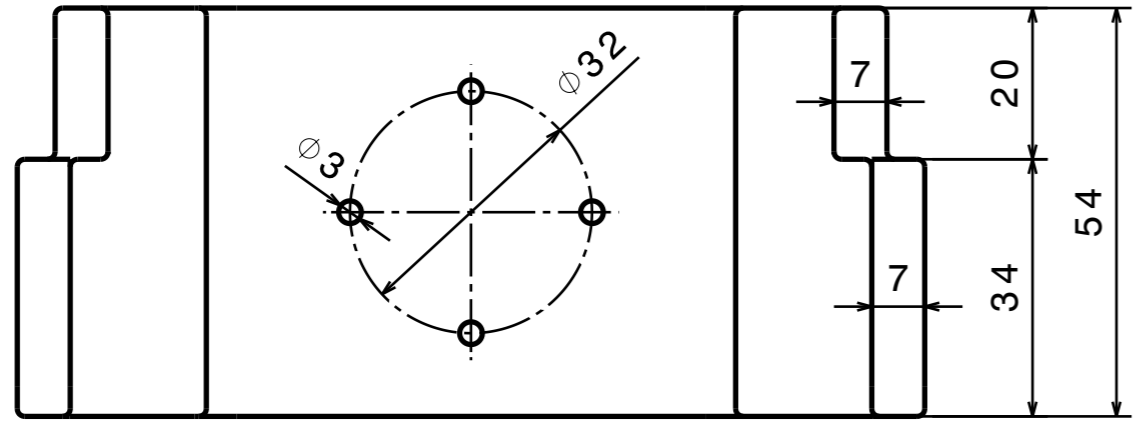
A continuación se incluyen los planos de cada una de las piezas diseñadas que forman parte del modelo de la cabeza robótica. Éstas aparecen en el mismo orden que han sido definidas anteriormente: en primer lugar, las correspondientes al subensamblaje superior o principal, seguido del subensamblaje intermedio, posteriormente las del subensamblaje inferior o torso y, por último, las del subensamblaje casco.

En cuanto a las piezas del casco, las que son generadas dentro de un mismo archivo de pieza y posteriormente seccionadas han sido representadas en un mismo plano, ya que su definición por separado posee una geometría difícil de determinar mediante acotación. Las cotas que se muestran en dicho plano no definen completamente la geometría del casco por su excesiva complejidad, por ello se complementan con la información mostrada en el anexo 1.



REPRESENTACIÓN ISOMÉTRICA
ESCALA 1:2

REDONDEOS FINOS
DE RADIO 1,0 mm



DISEÑADO POR: 71953589K		CABEZA ROBÓTICA CON ALTA CAPACIDAD GESTUAL	I	-
FECHA: 14/11/2019			H	-
COMPROBADO POR:		G	-	
FECHA:		F	-	
TAMANO A3		E	-	
ESCALA 1:1		ESCUOLA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES (UVa)	D	-
MASA (kg) 0,15	NOMBRE DE LA PIEZA SOPORTE_CUELLO	C	-	
		B	-	
		A	-	

Este diseño es de nuestra propiedad; no se puede reproducir ni comunicar sin previo acuerdo.

H G F E D C B A

4

3

2

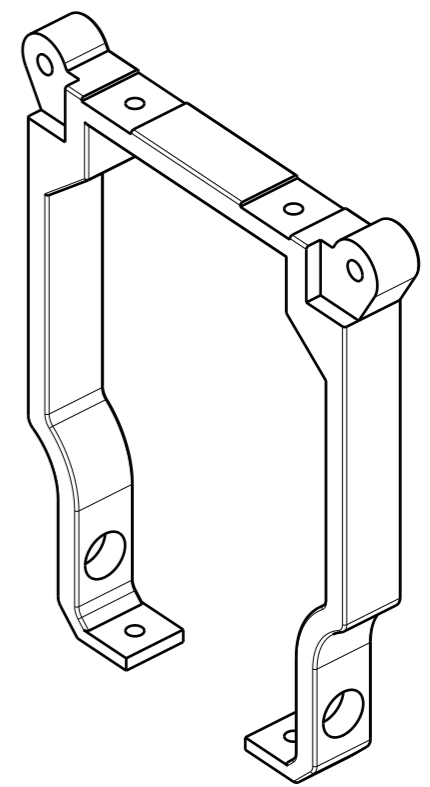
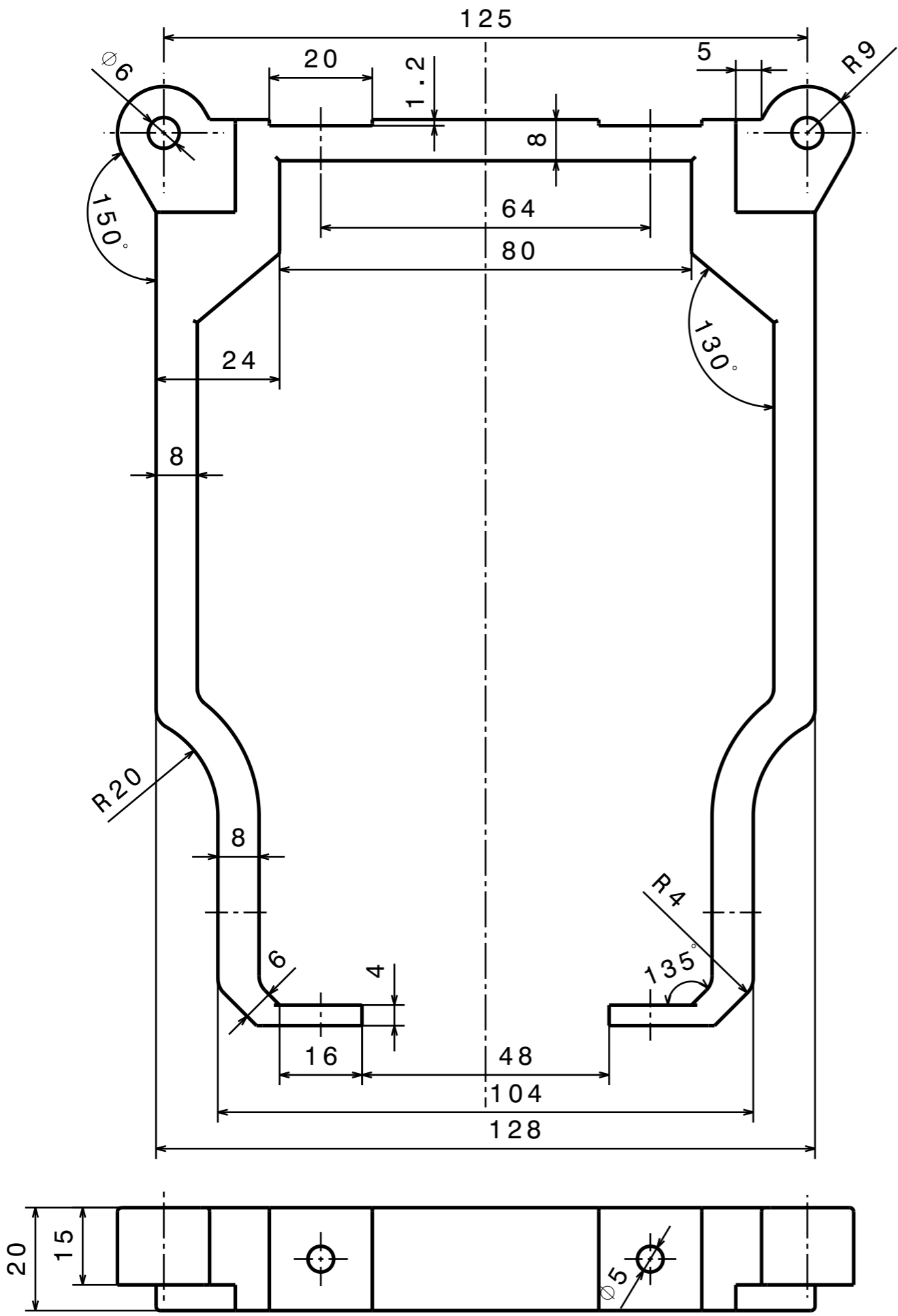
1

4

3

2

1

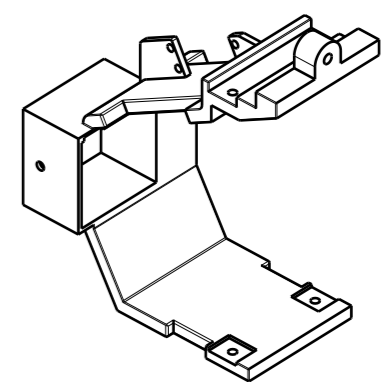
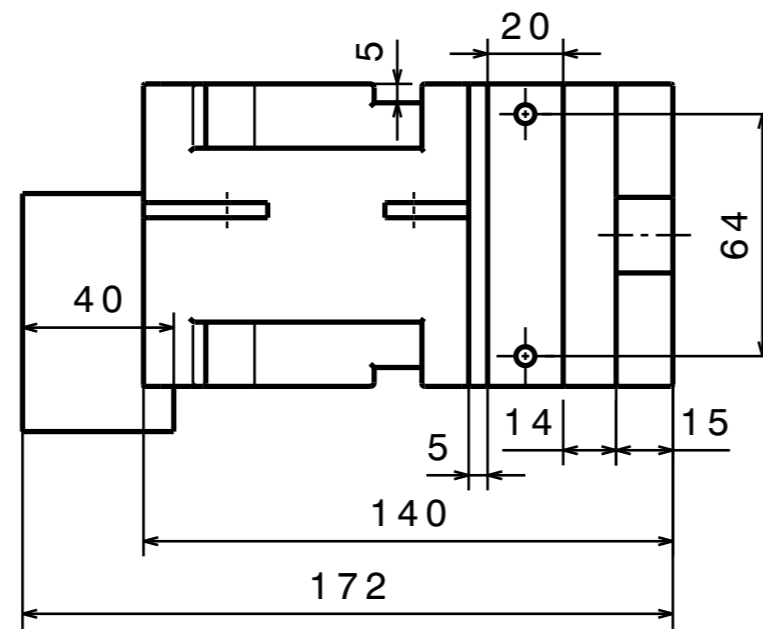
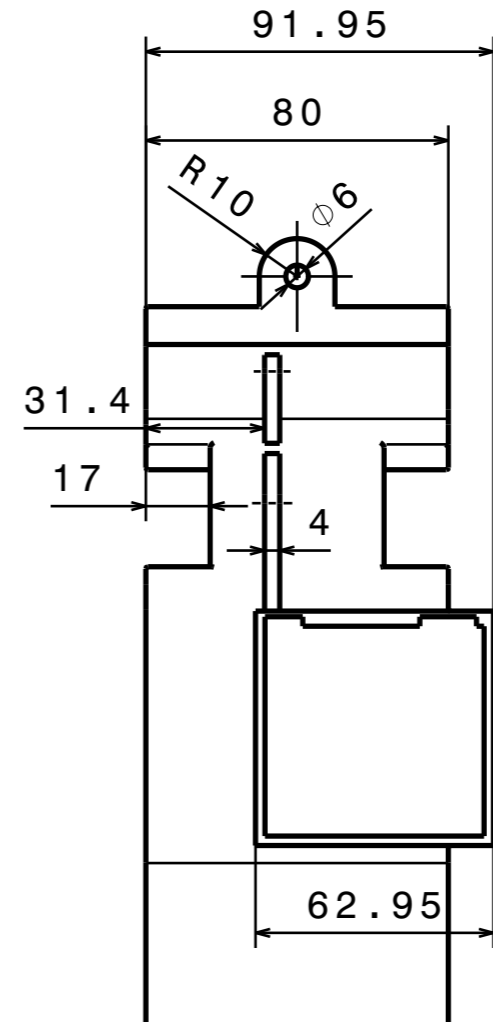
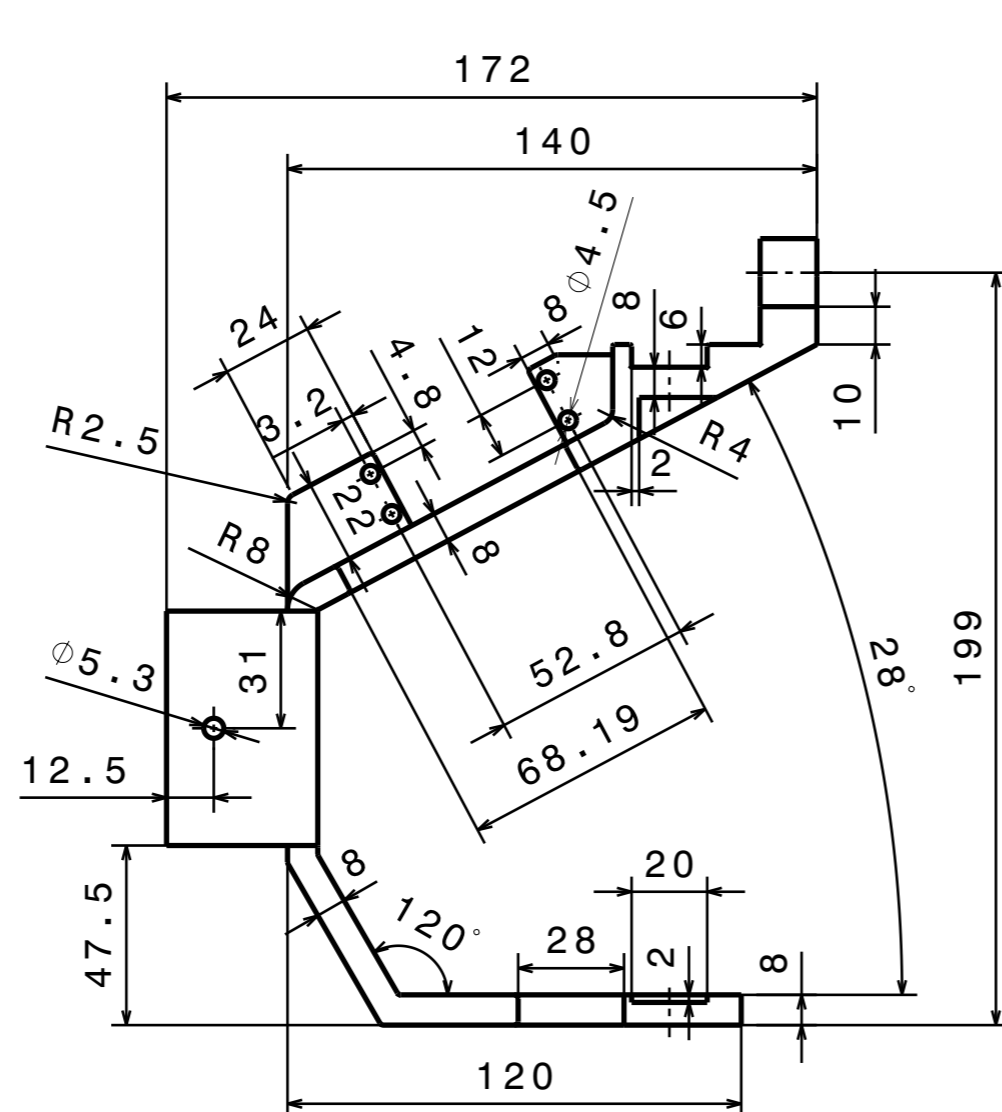
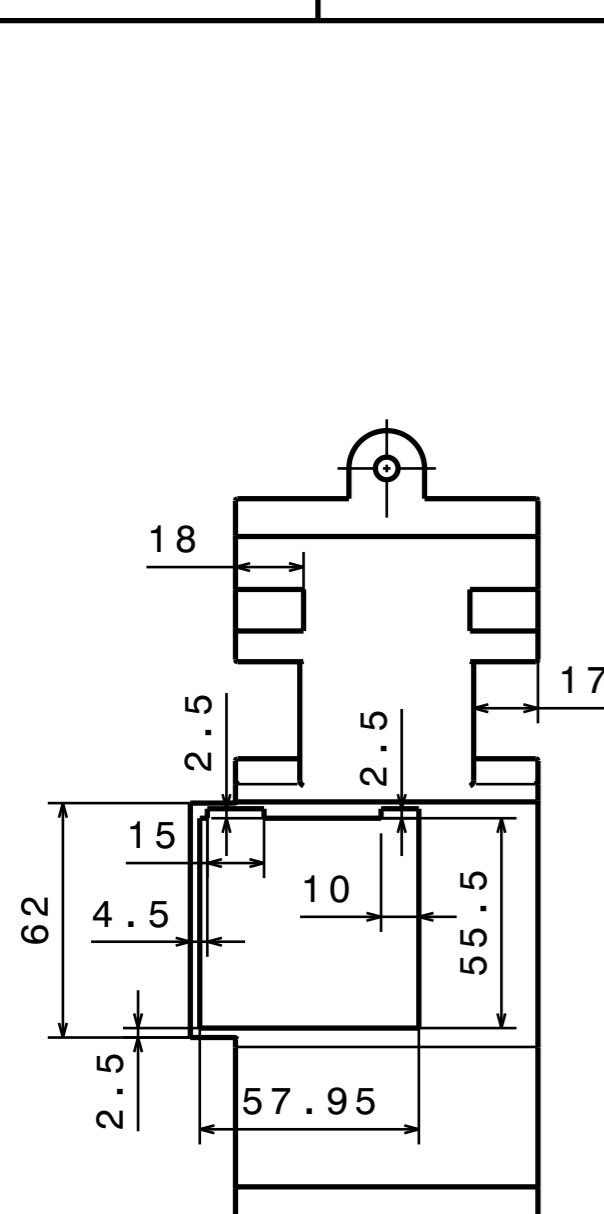


REPRESENTACIÓN ISOMÉTRICA
ESCALA: 1:2

REDONDEOS FINOS
DE RADIO 0,8 mm

DISEÑADO POR: 71953589K		CABEZA ROBÓTICA CON ALTA CAPACIDAD GESTUAL		I	-
FECHA: 14/11/2019				H	-
COMPROBADO POR:		ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES (UVa)		G	-
FECHA:				F	-
TAMANO A3		SECCIÓN_CABEZA_INTERMEDIA		E	-
ESCALA 1:1				MASA (kg) 0,15	HOJA 1/1
Este diseño es de nuestra propiedad; no se puede reproducir ni comunicar sin previo acuerdo.				C	-
				B	-
				A	-

H G F E D C B A



REPRESENTACIÓN ISOMÉTRICA
ESCALA: 1:4

REDONDEOS FINOS
DE RADIO 1,0 mm

DISEÑADO POR: 71953589K		CABEZA ROBÓTICA CON ALTA CAPACIDAD GESTUAL	I	-
FECHA: 14/11/2019			H	-
COMPROBADO POR:		ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES (UVa)	G	-
FECHA:			F	-
TAMANO A3		NOMBRE DE LA PIEZA SOPORTE_PROYECTOR-SERVOMOTOR	E	-
ESCALA 1:2			MASA (kg) 0,35	D
		HOJA 1/1	C	-
			B	-
Este diseño es de nuestra propiedad; no se puede reproducir ni comunicar sin previo acuerdo.			A	-

H G F E D C B A

4

3

2

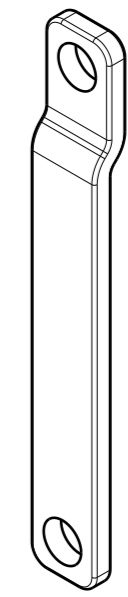
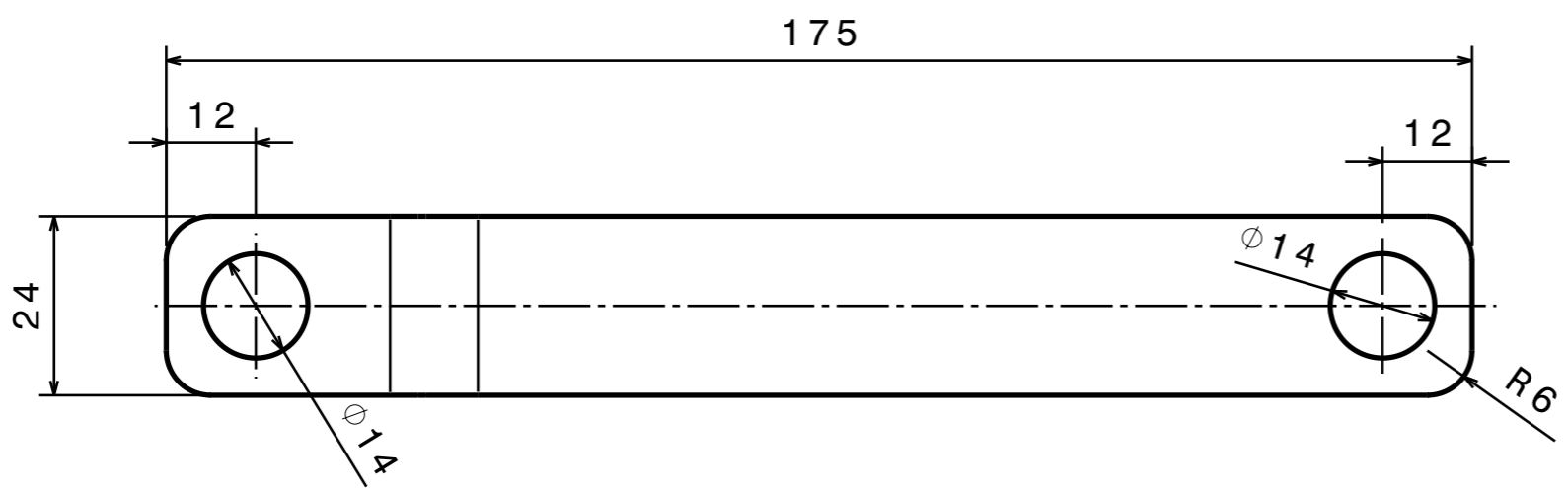
1

4

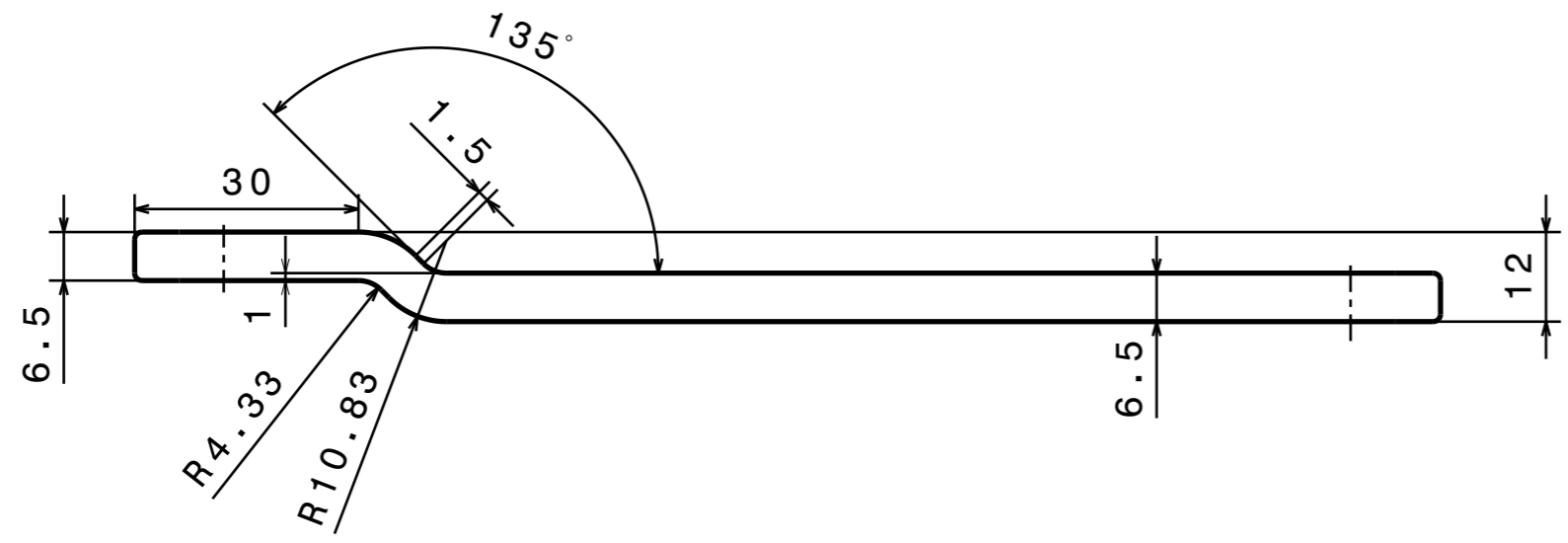
3

2

1



REPRESENTACIÓN ISOMÉTRICA
ESCALA: 1:2



REDONDEOS FINOS
DE RADIO 1,0 mm

DISEÑADO POR: 71953589K		CABEZA ROBÓTICA CON ALTA CAPACIDAD GESTUAL	I	-
FECHA: 14/11/2019			H	-
COMPROBADO POR:		ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES (UVa)	G	-
FECHA:			F	-
TAMANO A3		BIELA	E	-
ESCALA 1:1			MASA (kg) 0,12	D
NOMBRE DE LA PIEZA BIELA		HOJA 1/1	C	-
Este diseño es de nuestra propiedad; no se puede reproducir ni comunicar sin previo acuerdo.			B	-
			A	-

H G F E D C B A

H G F E D C B A

4

3

2

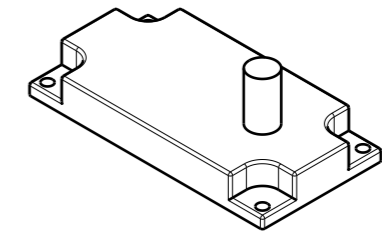
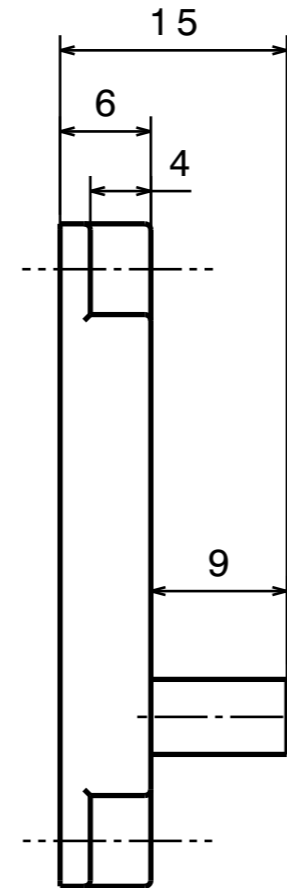
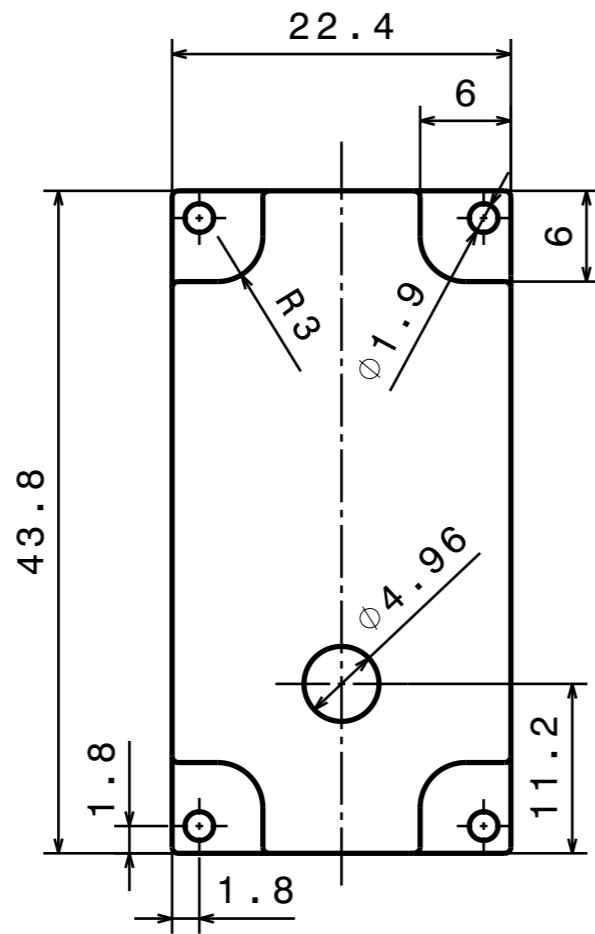
1

4

3

2

1

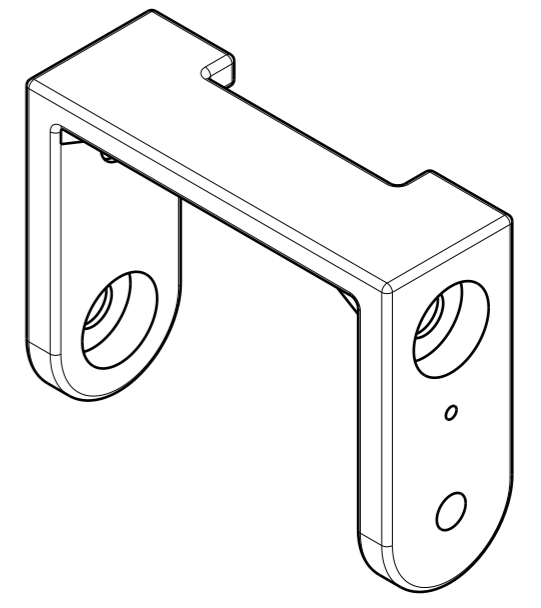
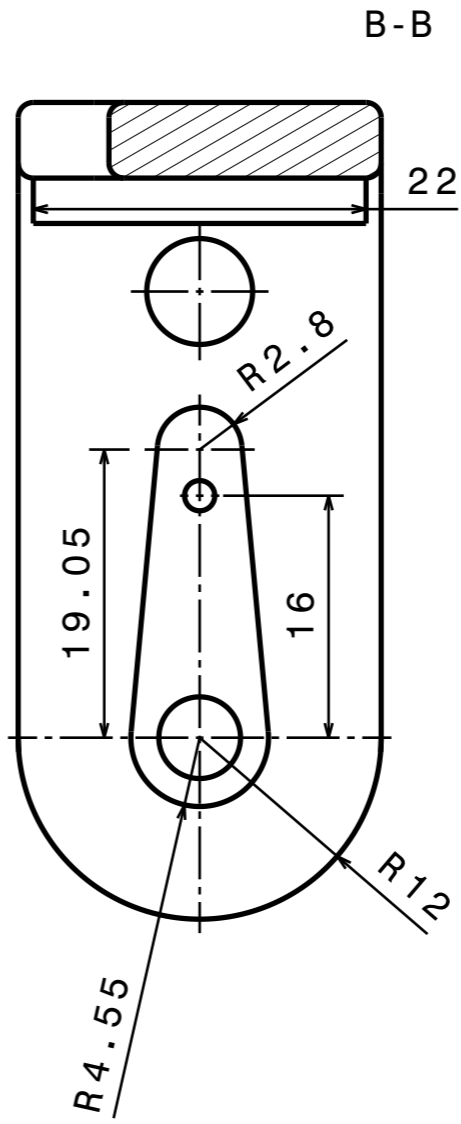
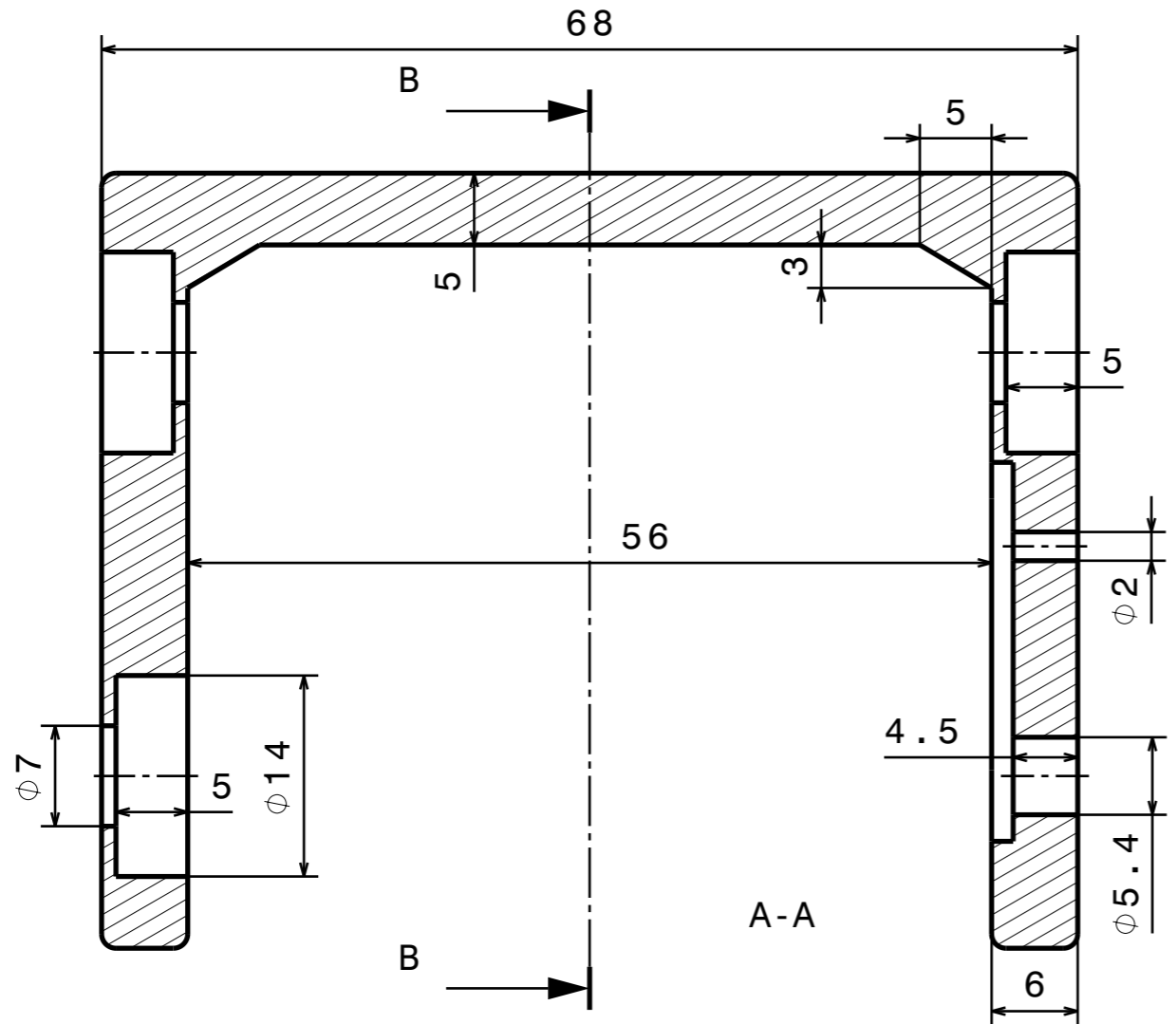


REPRESENTACIÓN ISOMÉTRICA
ESCALA: 1:1

DISEÑADO POR: 71953589K		CABEZA ROBÓTICA CON ALTA CAPACIDAD GESTUAL		I	-
FECHA: 14/11/2019				H	-
COMPROBADO POR: _____				G	-
FECHA: _____		ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES (UVa)		F	-
TAMANO A3				E	-
ESCALA 2:1	MASA (kg) 0,10	EJE_POSTERIOR_SERVOMOTOR		D	-
		HOJA 1/1		C	-
Este diseño es de nuestra propiedad; no se puede reproducir ni comunicar sin previo acuerdo.				B	-
				A	-

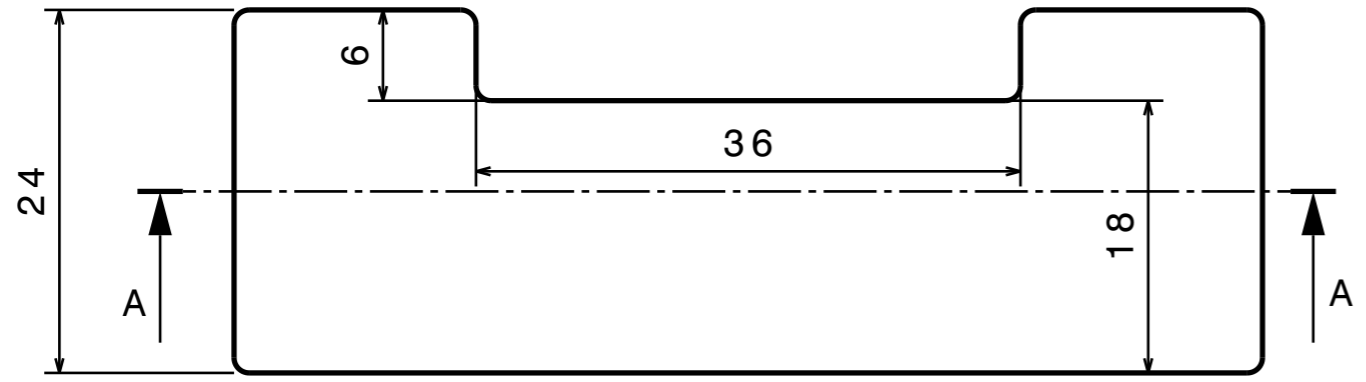
H G F E D C B A

H G F E D C B A



REPRESENTACIÓN ISOMÉTRICA
ESCALA: 1:1

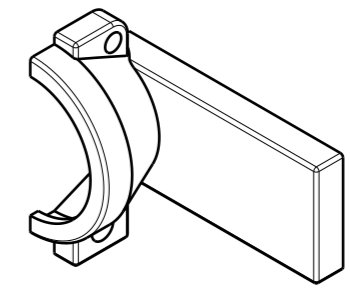
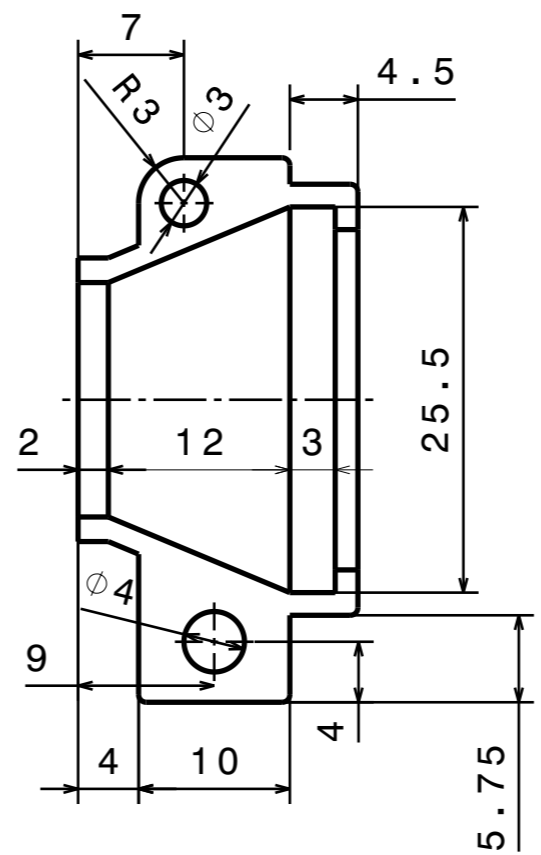
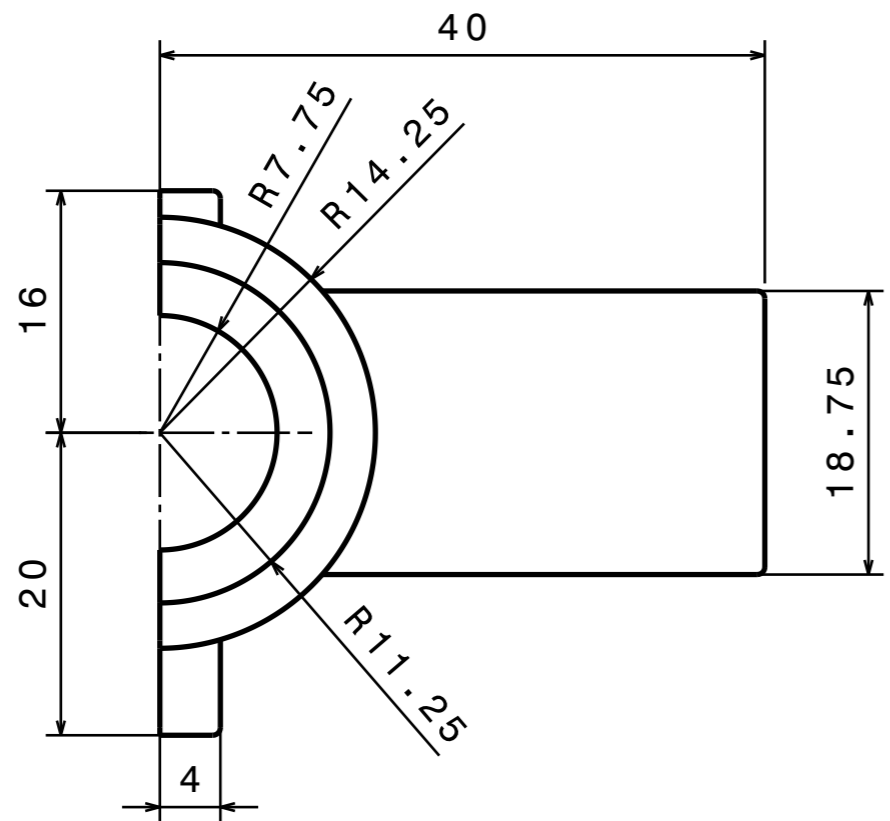
REDONDEOS FINOS
DE RADIO 1,0 mm



DISEÑADO POR: 71953589K		CABEZA ROBÓTICA CON ALTA CAPACIDAD GESTUAL		I	-
FECHA: 14/11/2019				H	-
COMPROBADO POR:		ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES (UVa)		G	-
FECHA:				F	-
TAMANO A3		NOMBRE DE LA PIEZA MANIVELA		E	-
ESCALA 2:1				MASA (kg) 0,10	D
				C	-
				B	-
				A	-

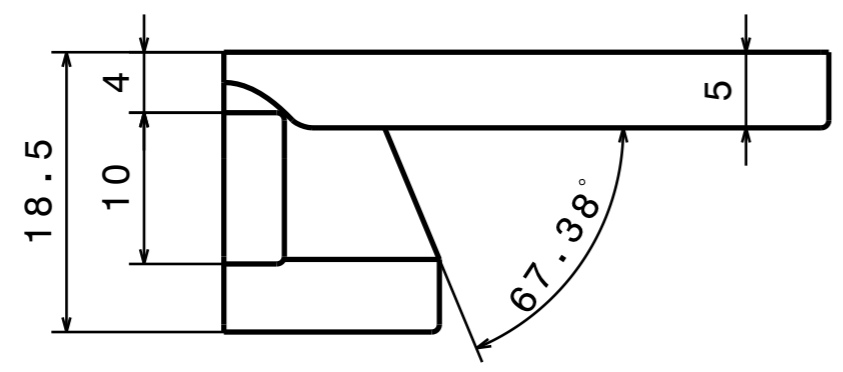
Este diseño es de nuestra propiedad; no se puede reproducir ni comunicar sin previo acuerdo.

H G F E D C B A



REPRESENTACIÓN ISOMÉTRICA
ESCALA: 1:1

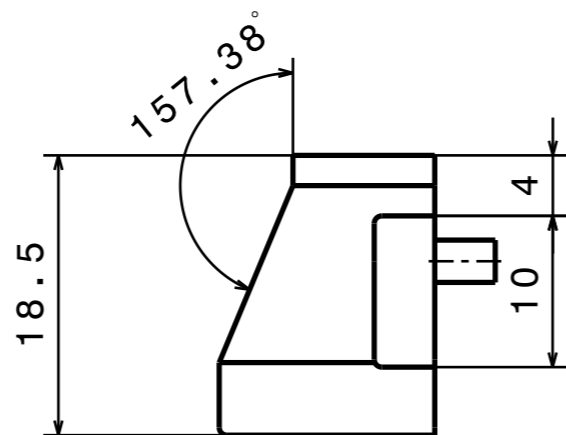
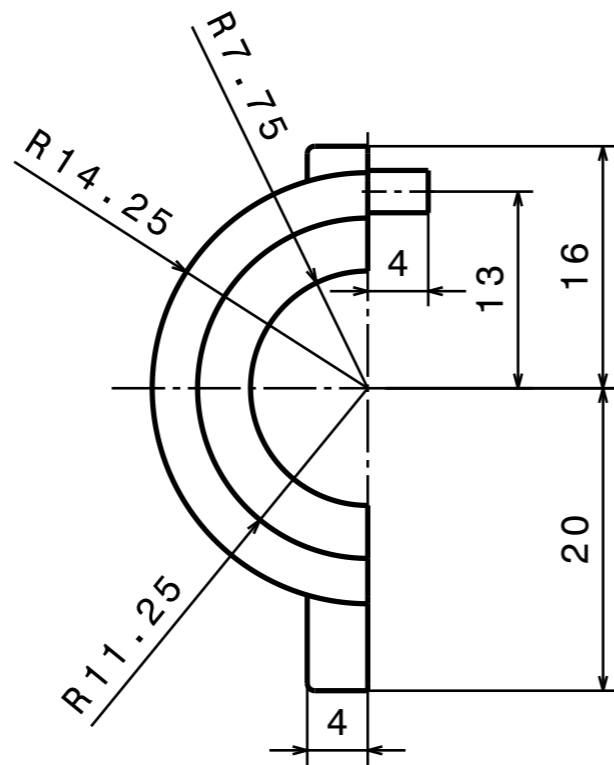
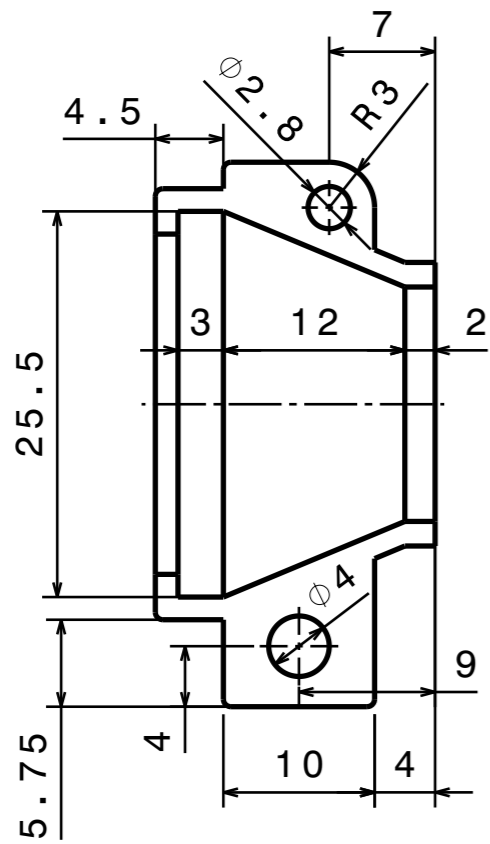
REDONDEOS FINOS
DE RADIO 0,5 mm



DISEÑADO POR: 71953589K		CABEZA ROBÓTICA CON ALTA CAPACIDAD GESTUAL		I	-
FECHA: 14/11/2019				H	-
COMPROBADO POR:		ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES (UVa)		G	-
FECHA:				F	-
TAMANO A3		NOMBRE DE LA PIEZA SOPORTE_DERECHO_LENTE		E	-
ESCALA 2:1				MASA (kg) 0,09	H
		HOJA 1/1		D	-
				C	-
				B	-
				A	-

Este diseño es de nuestra propiedad; no se puede reproducir ni comunicar sin previo acuerdo.

H G F E D C B A



REPRESENTACIÓN ISOMÉTRICA
ESCALA: 1:1

REDONDEOS FINOS
DE RADIO 0,5 mm

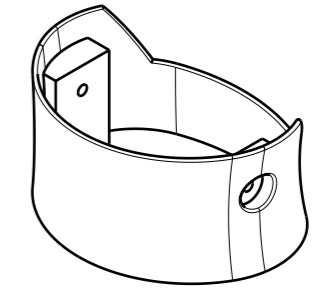
DISEÑADO POR: 71953589K		CABEZA ROBÓTICA CON ALTA CAPACIDAD GESTUAL		I	-
FECHA: 14/11/2019				H	-
COMPROBADO POR:		ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES (UVa)		G	-
FECHA:				F	-
TAMANO A3		SOPORTE_IZQUIERDO_LENTE		E	-
ESCALA 2:1	MASA (kg) 0,06			D	-
NOMBRE DE LA PIEZA		1/1		C	-
HOJA				B	-
Este diseño es de nuestra propiedad; no se puede reproducir ni comunicar sin previo acuerdo.				A	-

H G B A

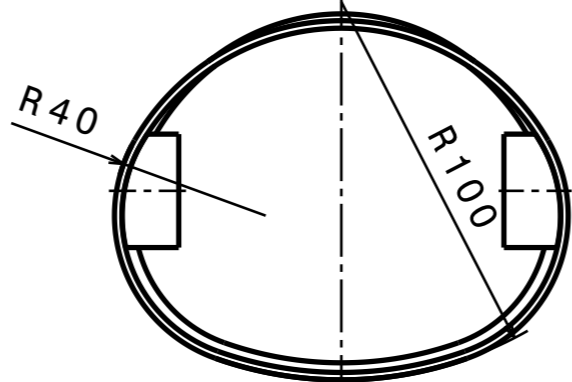
H G F E D C B A

4

4

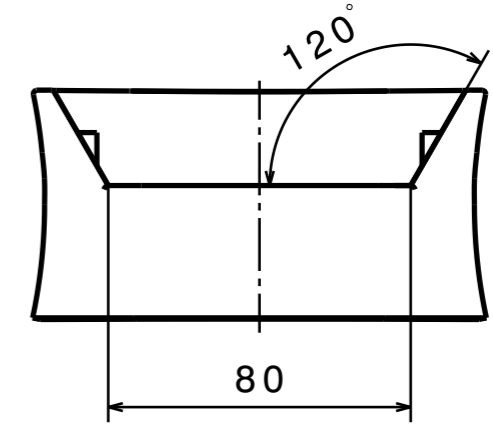
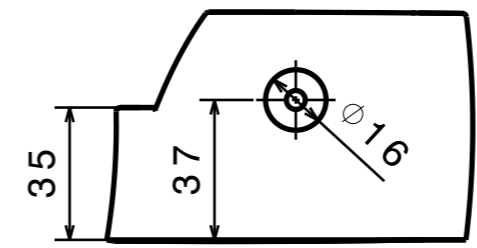
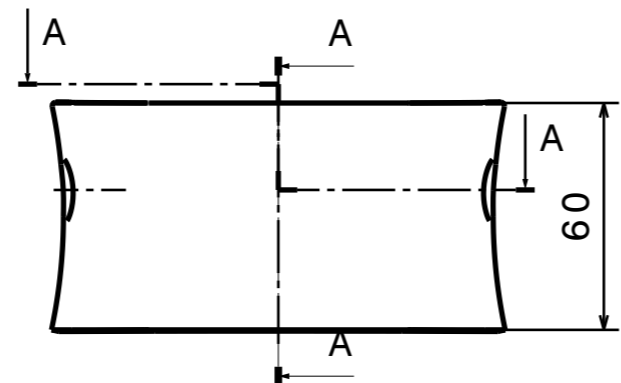
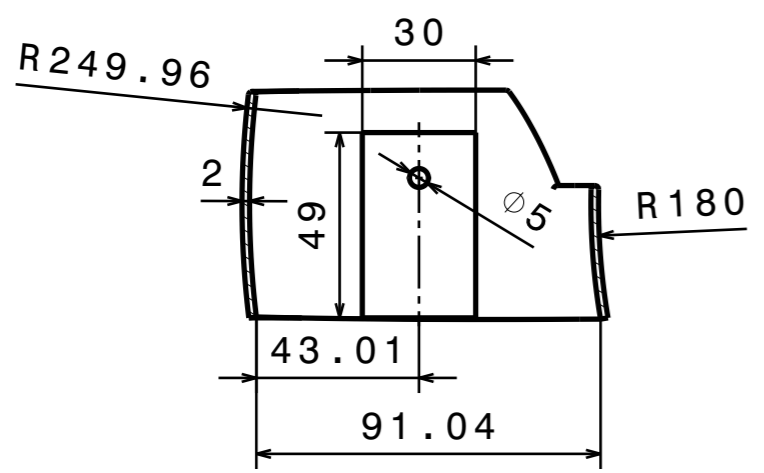


REPRESENTACIÓN ISOMÉTRICA
ESCALA: 1:3



3

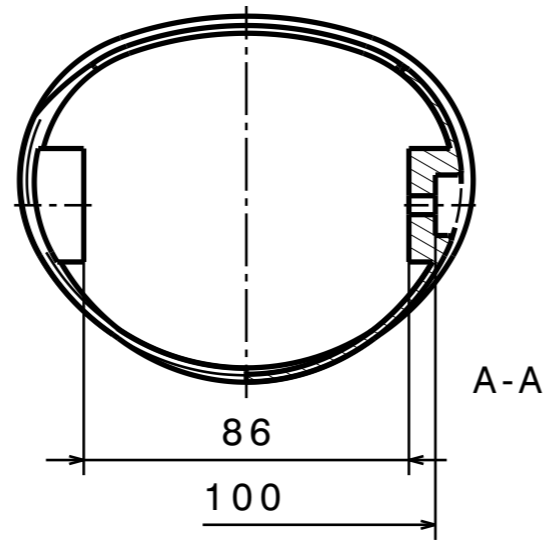
3



2

2

REDONDEOS FINOS
DE RADIO 1,0 mm



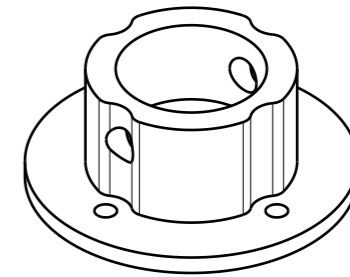
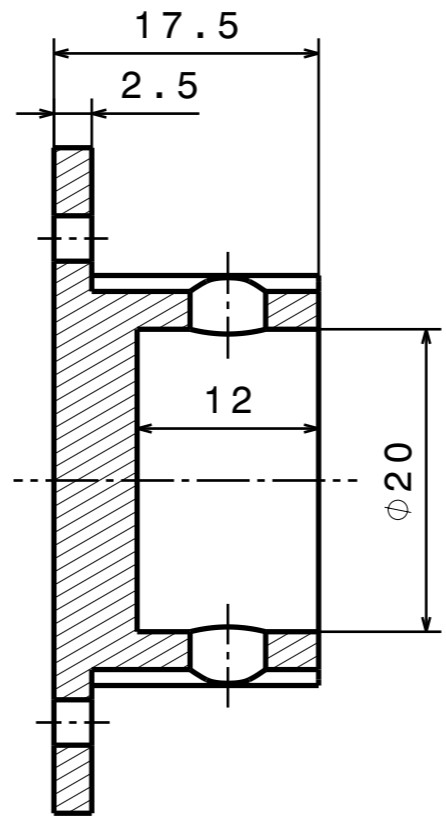
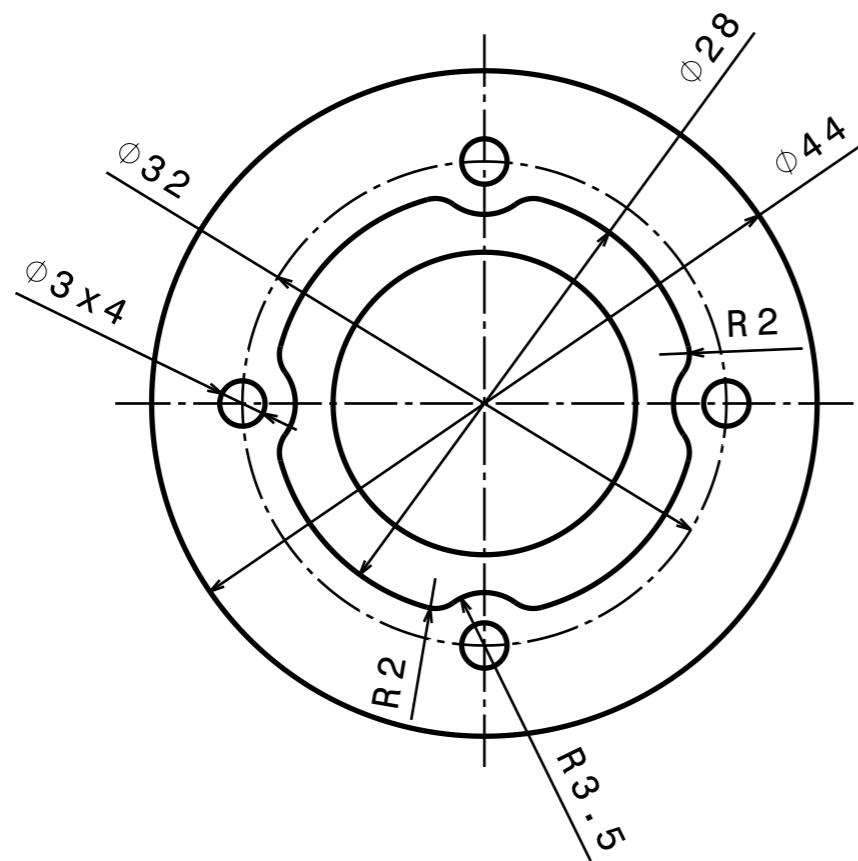
1

1

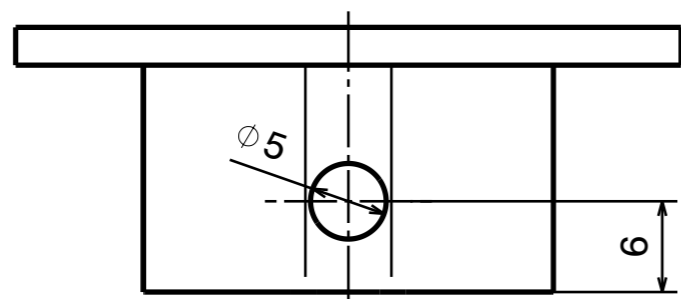
DISEÑADO POR: 71953589K		CABEZA ROBÓTICA CON ALTA CAPACIDAD GESTUAL	I	-
FECHA: 14/11/2019			H	-
COMPROBADO POR:		G	-	
FECHA:		F	-	
TAMANO A3		E	-	
ESCALA 1:2		D	-	
MASA (kg) 0,20	NOMBRE DE LA PIEZA CUBRE_CUELLO	C	-	
		B	-	
		A	-	


Este diseño es de nuestra propiedad; no se puede reproducir ni comunicar sin previo acuerdo.

H G F E D C B A

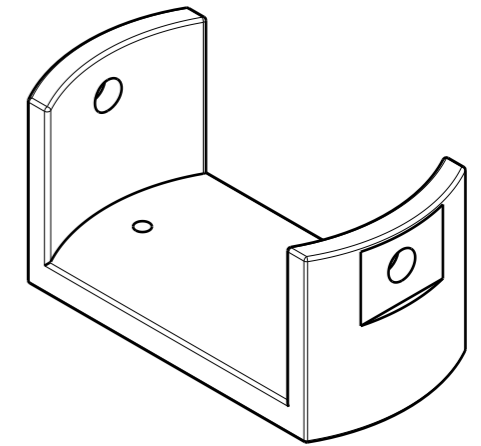
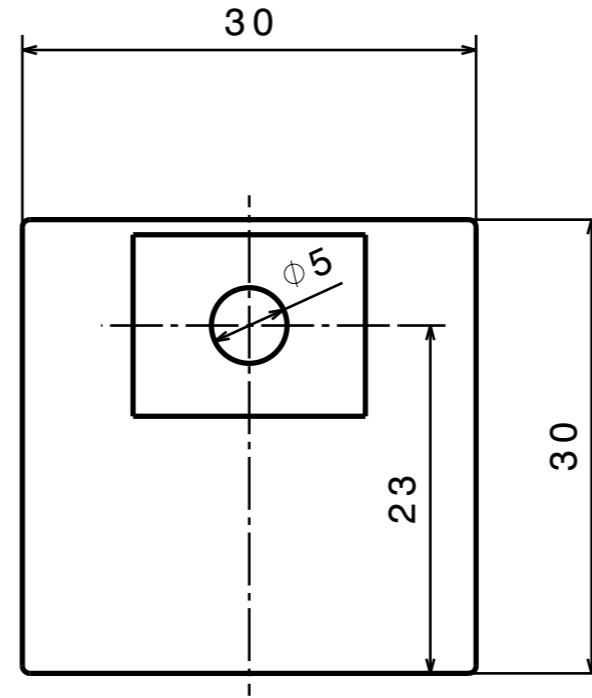
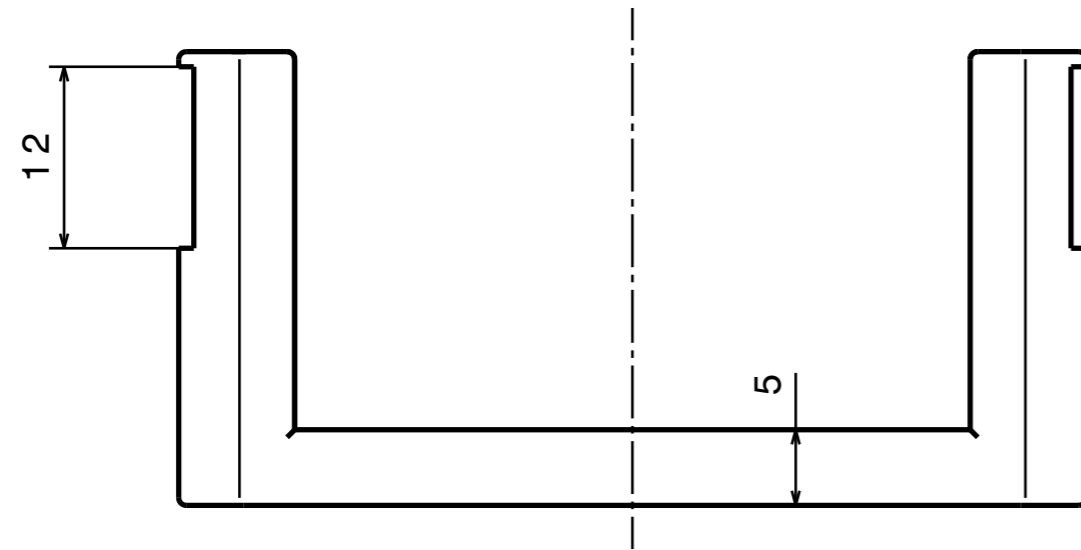


REPRESENTACIÓN ISOMÉTRICA
ESCALA: 1:1



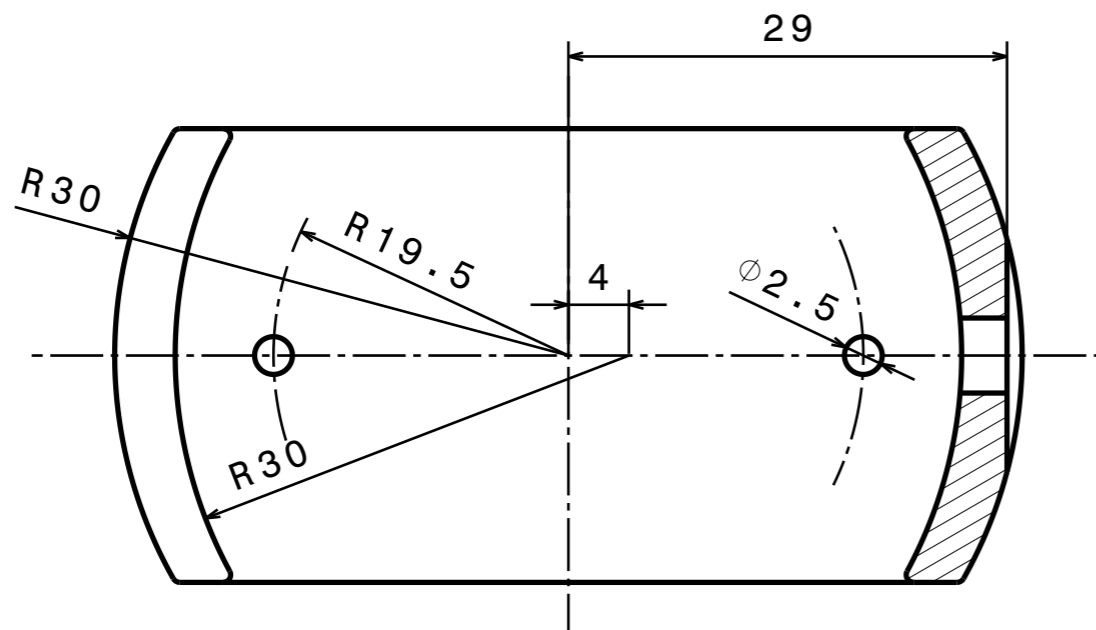
DISEÑADO POR: 71953589K		CABEZA ROBÓTICA CON ALTA CAPACIDAD GESTUAL	I	-
FECHA: 14/11/2019			H	-
COMPROBADO POR:		ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES (UVa)	G	-
FECHA:			F	-
TAMANO A3		NOMBRE DE LA PIEZA SOPORTE_SUPERIOR_EJE_VERTICAL	E	-
ESCALA 2:1			MASA (kg) 0,11	D
		HOJA 1/1	C	-
			B	-
			A	-

Este diseño es de nuestra propiedad; no se puede reproducir ni comunicar sin previo acuerdo.



REPRESENTACIÓN ISOMÉTRICA
ESCALA: 1:1

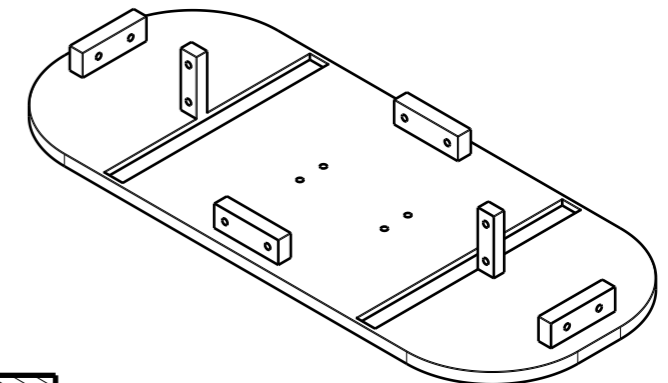
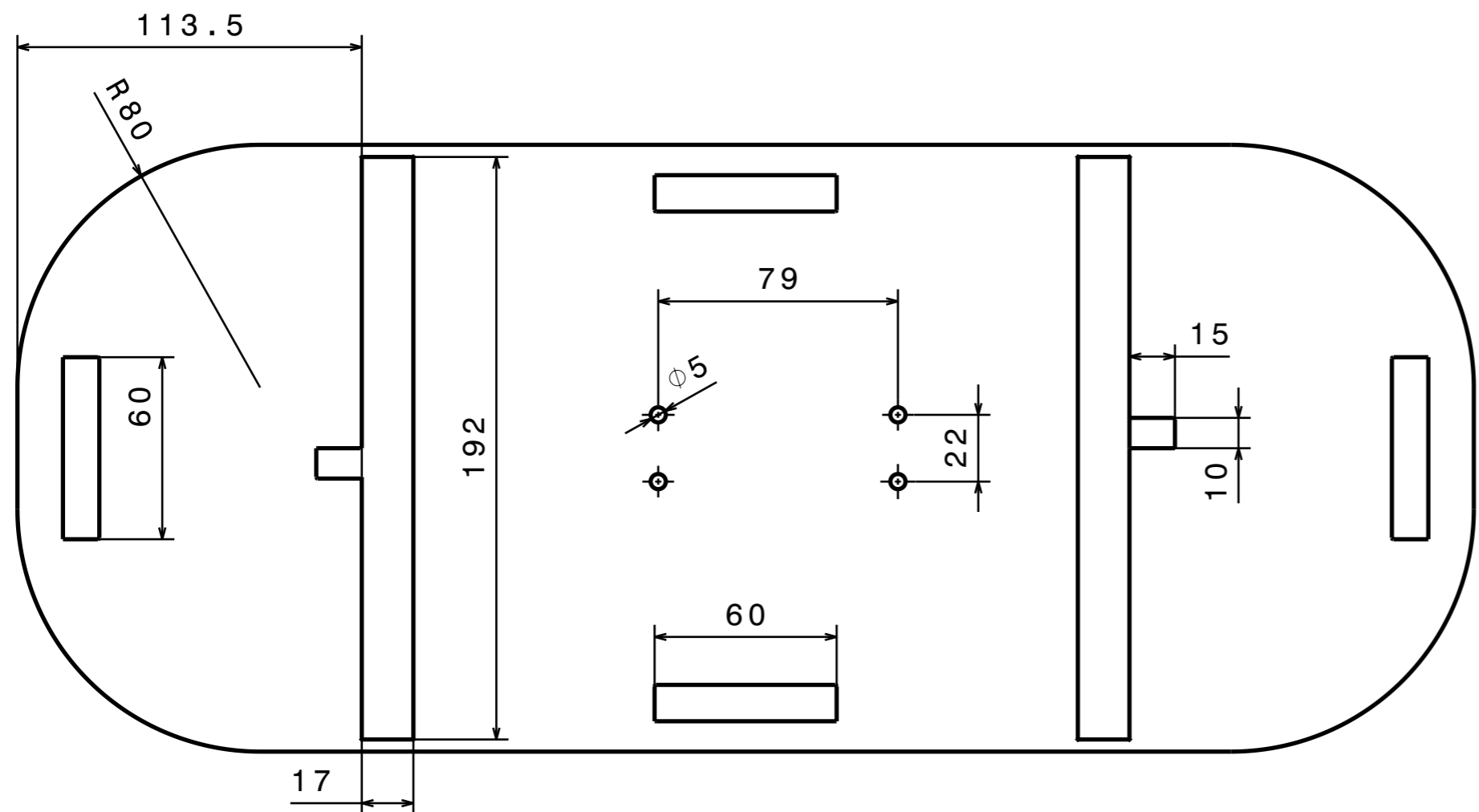
REDONDEOS FINOS
DE RADIO 0,5 mm



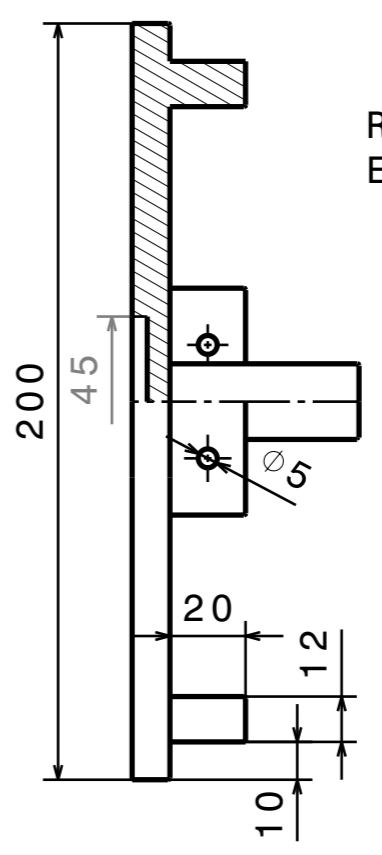
DISEÑADO POR: 71953589K		CABEZA ROBÓTICA CON ALTA CAPACIDAD GESTUAL	I	-
FECHA: 14/11/2019			H	-
COMPROBADO POR:		ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES (UVa)	G	-
FECHA:			F	-
TAMANO A3		SOPORTE_INFERIOR_EJE_VERTICAL	E	-
ESCALA 2:1			MASA (kg) 0,11	D
		NOMBRE DE LA PIEZA	C	-
		HOJA	B	-
			A	-

Este diseño es de nuestra propiedad; no se puede reproducir ni comunicar sin previo acuerdo.

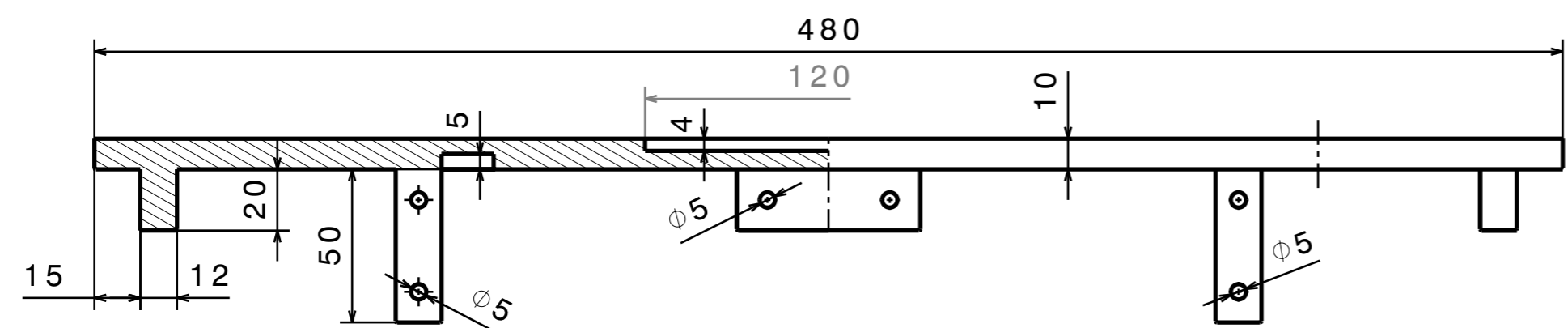
H G F E D C B A




REPRESENTACIÓN ISOMÉTRICA
ESCALA: 1:5



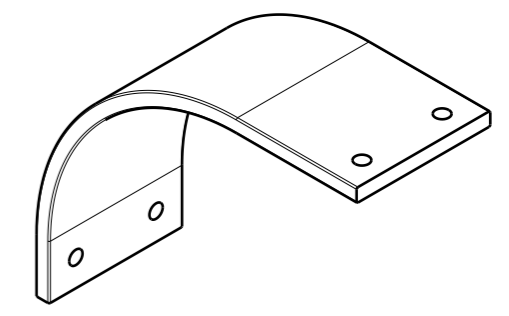
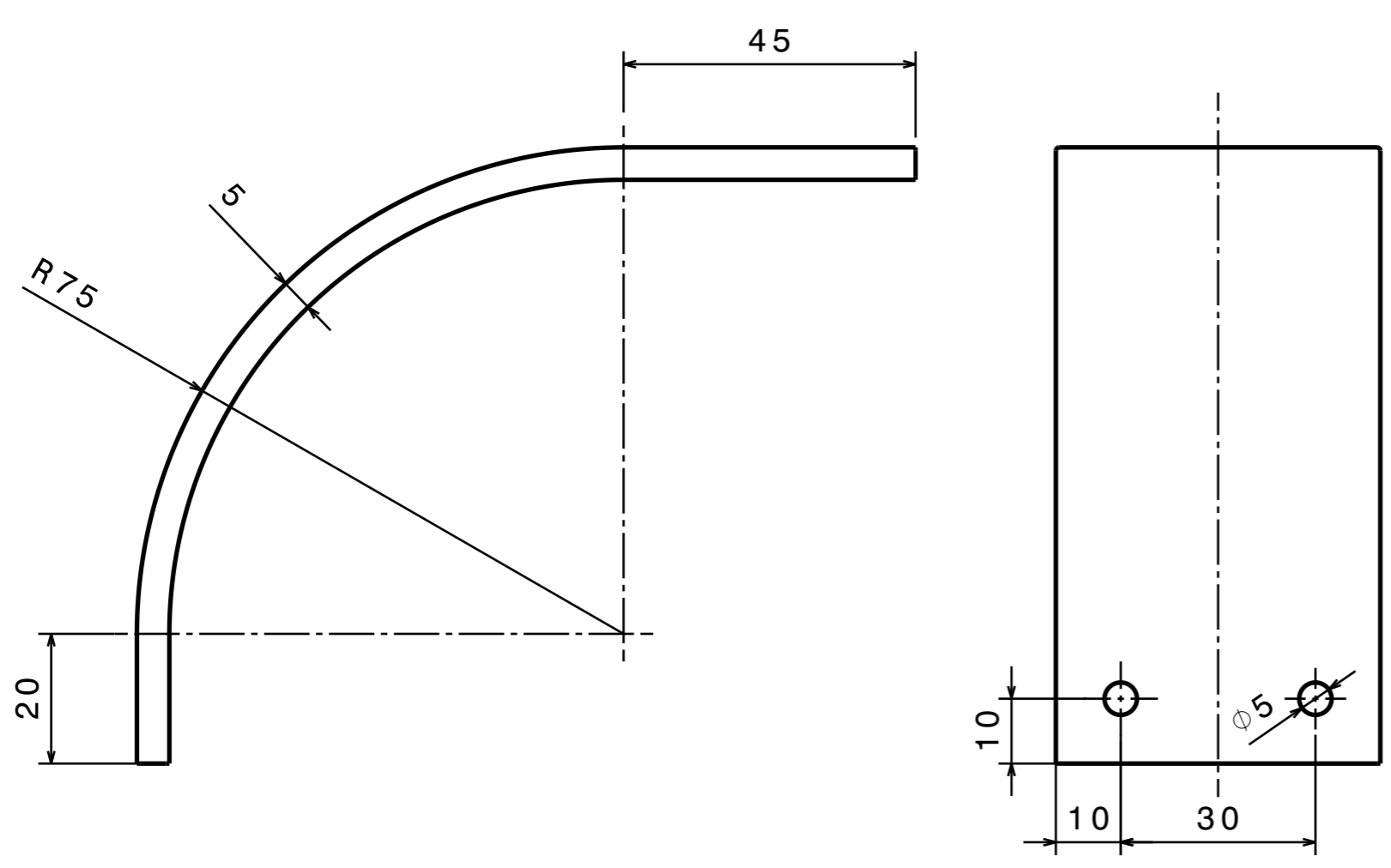
REDONDEOS FINOS
DE RADIO 0,5 mm



DISEÑADO POR: 71953589K		CABEZA ROBÓTICA CON ALTA CAPACIDAD GESTUAL		I	-
FECHA: 14/11/2019				H	-
COMPROBADO POR:		ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES (UVa)		G	-
FECHA:				F	-
TAMANO A3		NOMBRE DE LA PIEZA BASE_MODELO_TORSO		E	-
ESCALA 1:2				MASA (kg) 0,34	HOJA 1/1
Este diseño es de nuestra propiedad; no se puede reproducir ni comunicar sin previo acuerdo.				C	-
				B	-
				A	-

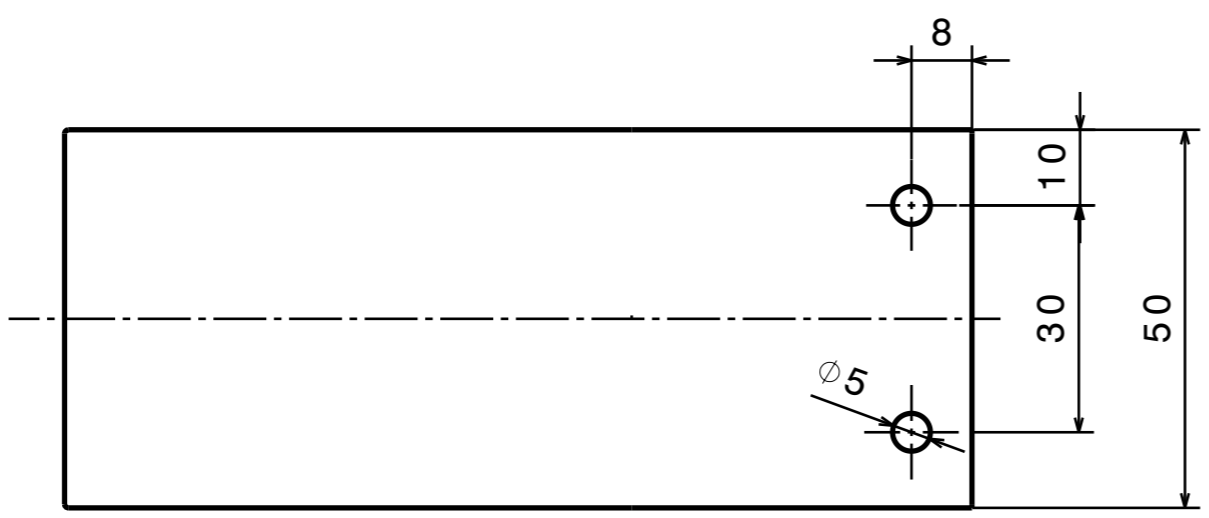
H G B A


H G F E D C B A



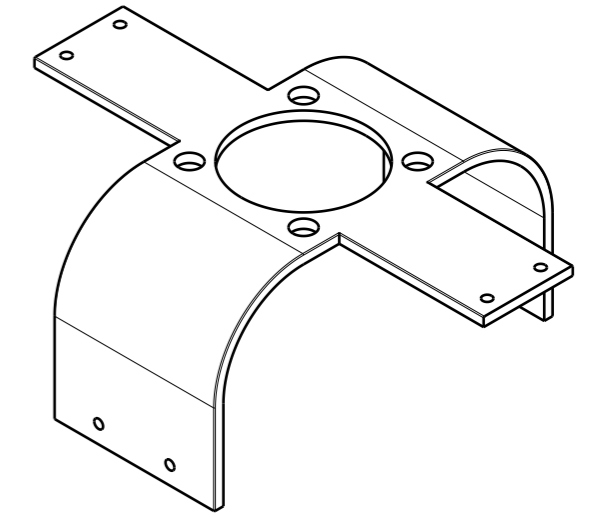
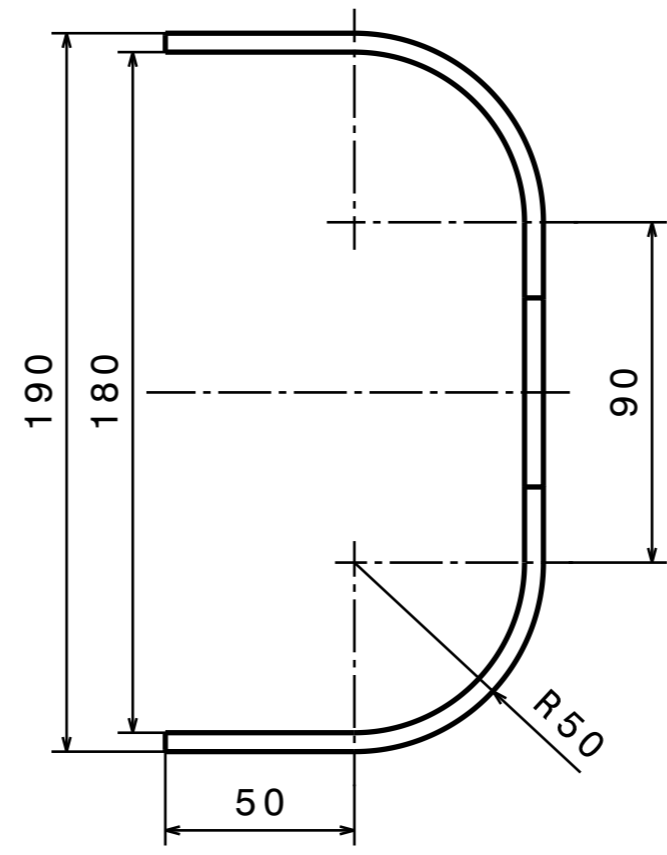
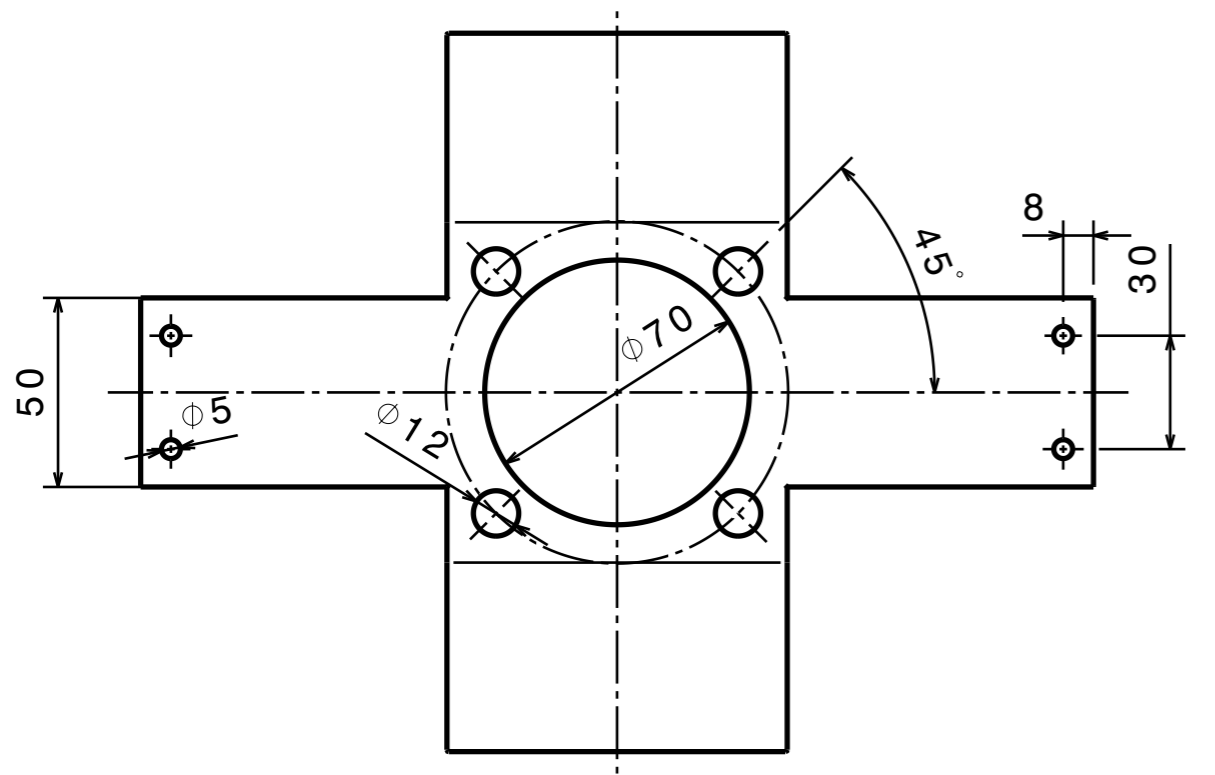
REPRESENTACIÓN ISOMÉTRICA
ESCALA: 1:2

REDONDEOS FINOS
DE RADIO 0,5 mm



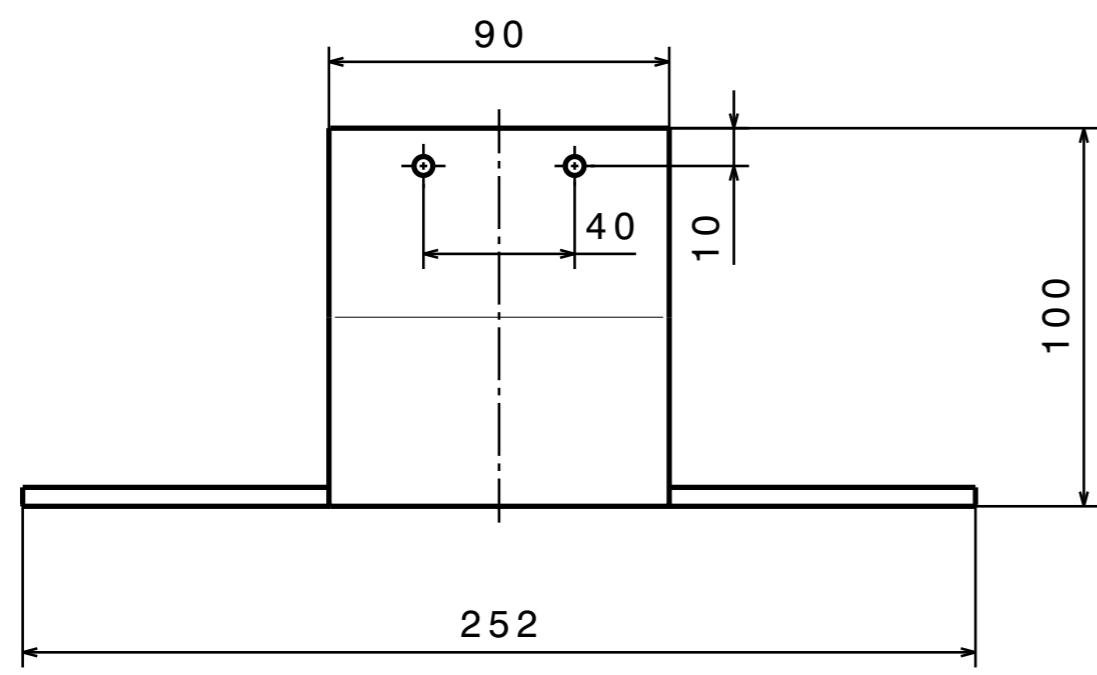
DISEÑADO POR: 71953589K		CABEZA ROBÓTICA CON ALTA CAPACIDAD GESTUAL		I	-
FECHA: 14/11/2019				H	-
COMPROBADO POR:		ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES (UVa)		G	-
FECHA:				F	-
TAMANO A3		ELEMENTO_LATERAL_TORSO		E	-
ESCALA 1:1				MASA (kg) 0,12	HOJA 1/1
Este diseño es de nuestra propiedad; no se puede reproducir ni comunicar sin previo acuerdo.				C	-
				B	-
				A	-

H G F E D C B A

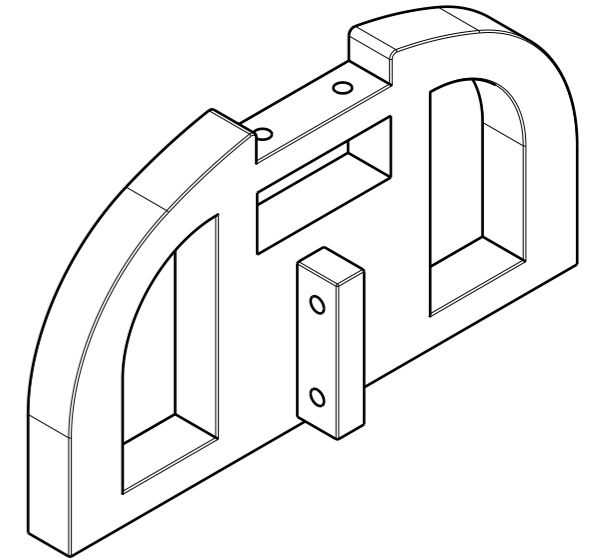
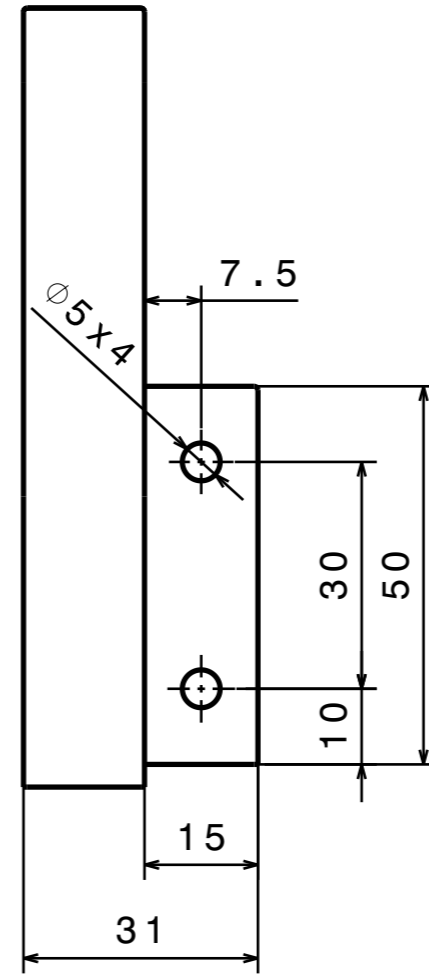
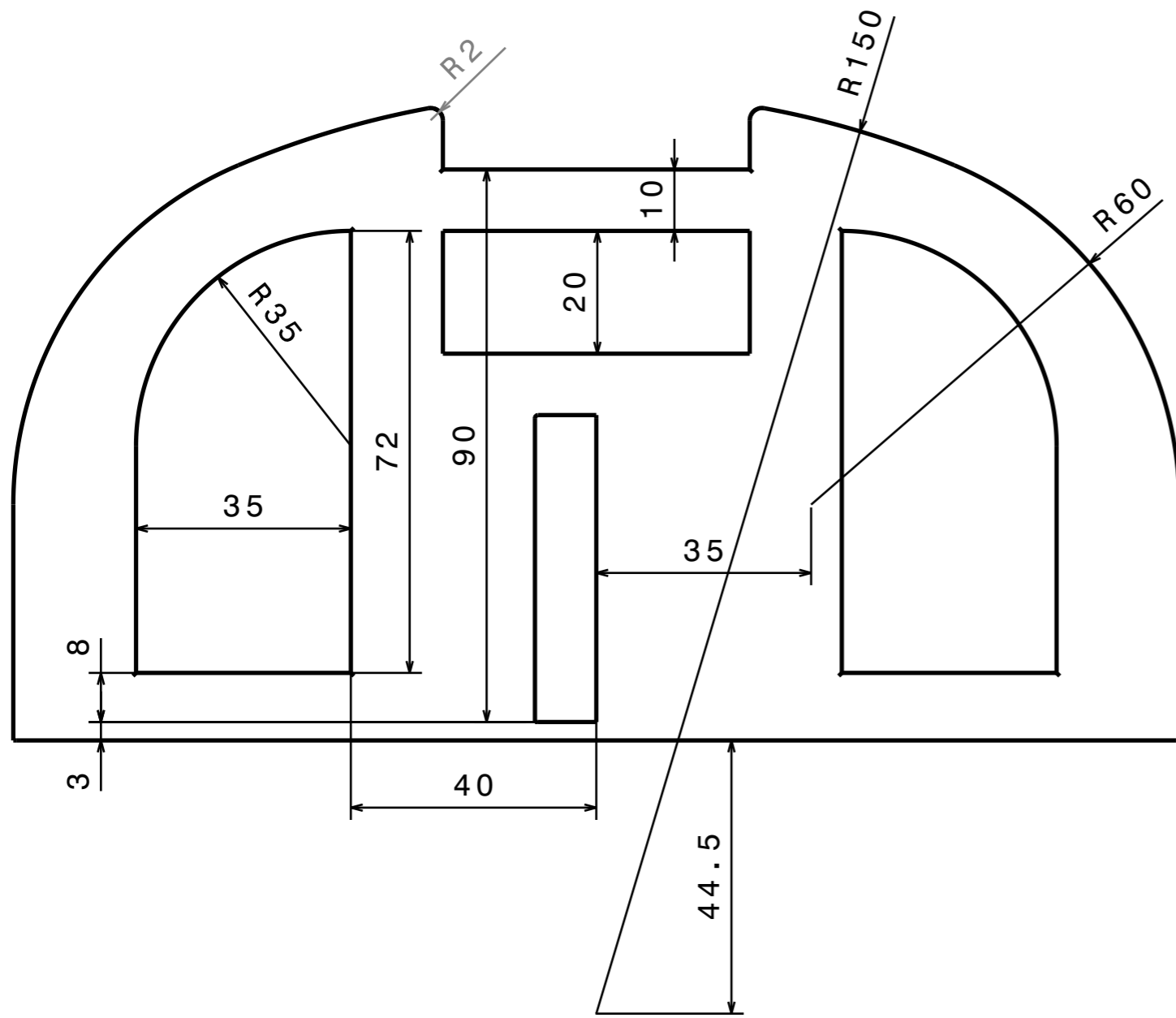


REPRESENTACIÓN ISOMÉTRICA
ESCALA: 1:3

REDONDEOS FINOS
DE RADIO 0,5 mm

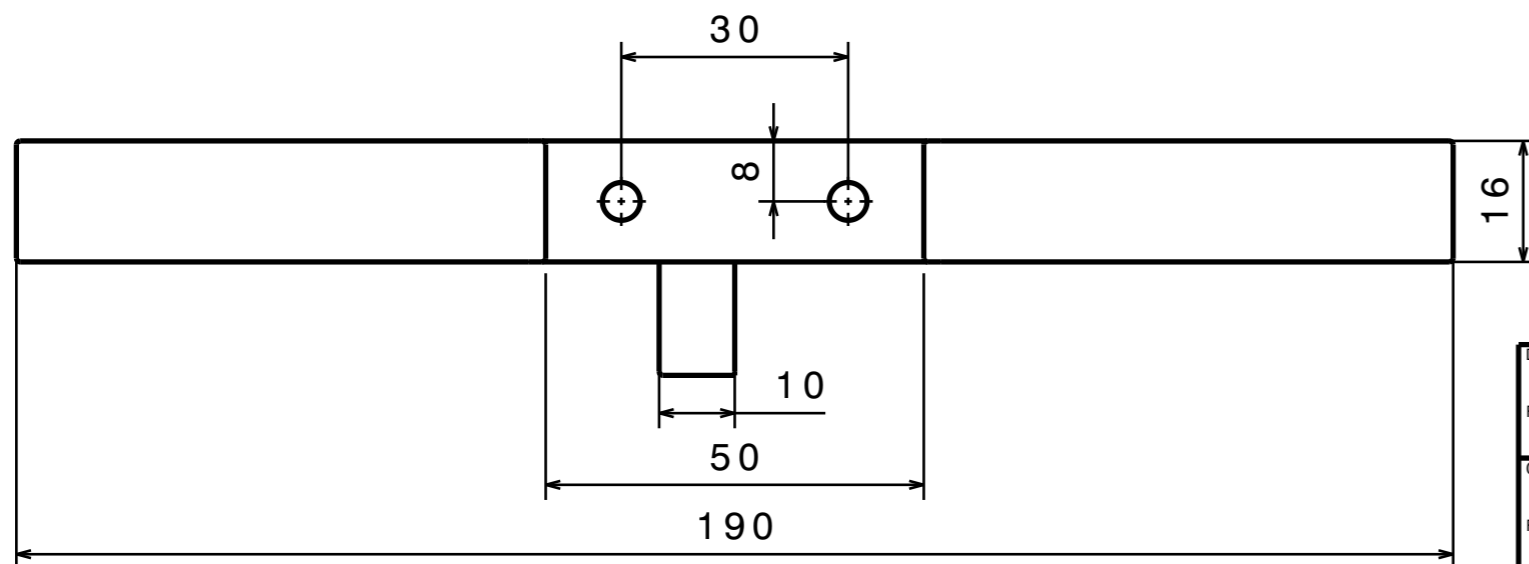


DISEÑADO POR: 71953589K		CABEZA ROBÓTICA CON ALTA CAPACIDAD GESTUAL		I	-
FECHA: 14/11/2019				H	-
COMPROBADO POR:		ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES (UVa)		G	-
FECHA:				F	-
TAMANO A3		ELEMEN		E	-
ESCALA 1:2				MASA (kg) 0,16	D
NOMBRE DE LA PIEZA ELEMENTO_CENTRAL_TORSO		HOJA 1/1		C	-
Este diseño es de nuestra propiedad; no se puede reproducir ni comunicar sin previo acuerdo.				B	-
				A	-



REPRESENTACIÓN ISOMÉTRICA
ESCALA: 1:2

REDONDEOS FINOS
DE RADIO 0,5 mm



DISEÑADO POR: 71953589K		CABEZA ROBÓTICA CON ALTA CAPACIDAD GESTUAL		I	-
FECHA: 14/11/2019				H	-
COMPROBADO POR:		ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES (UVa)		G	-
FECHA:				F	-
TAMANO A3		ELEMENTO_SUJECIÓN_TORSO		E	-
ESCALA 1:1				MASA (kg) 0,17	C
				B	-
				A	-

Este diseño es de nuestra propiedad; no se puede reproducir ni comunicar sin previo acuerdo.

H G F E D C B A

4

3

2

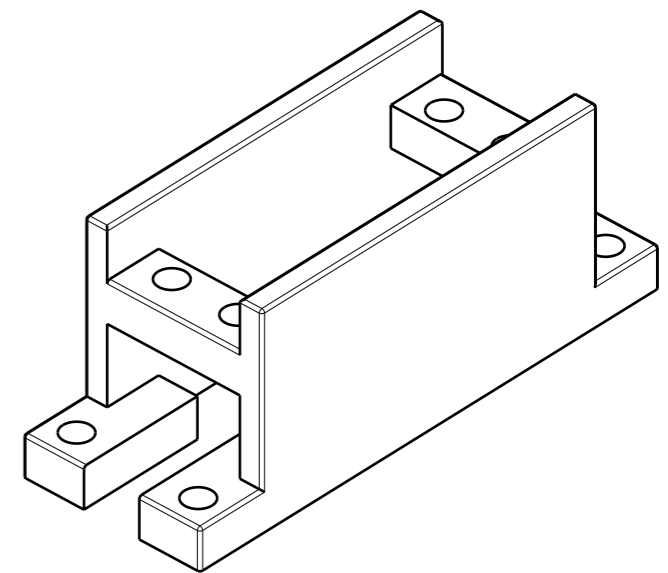
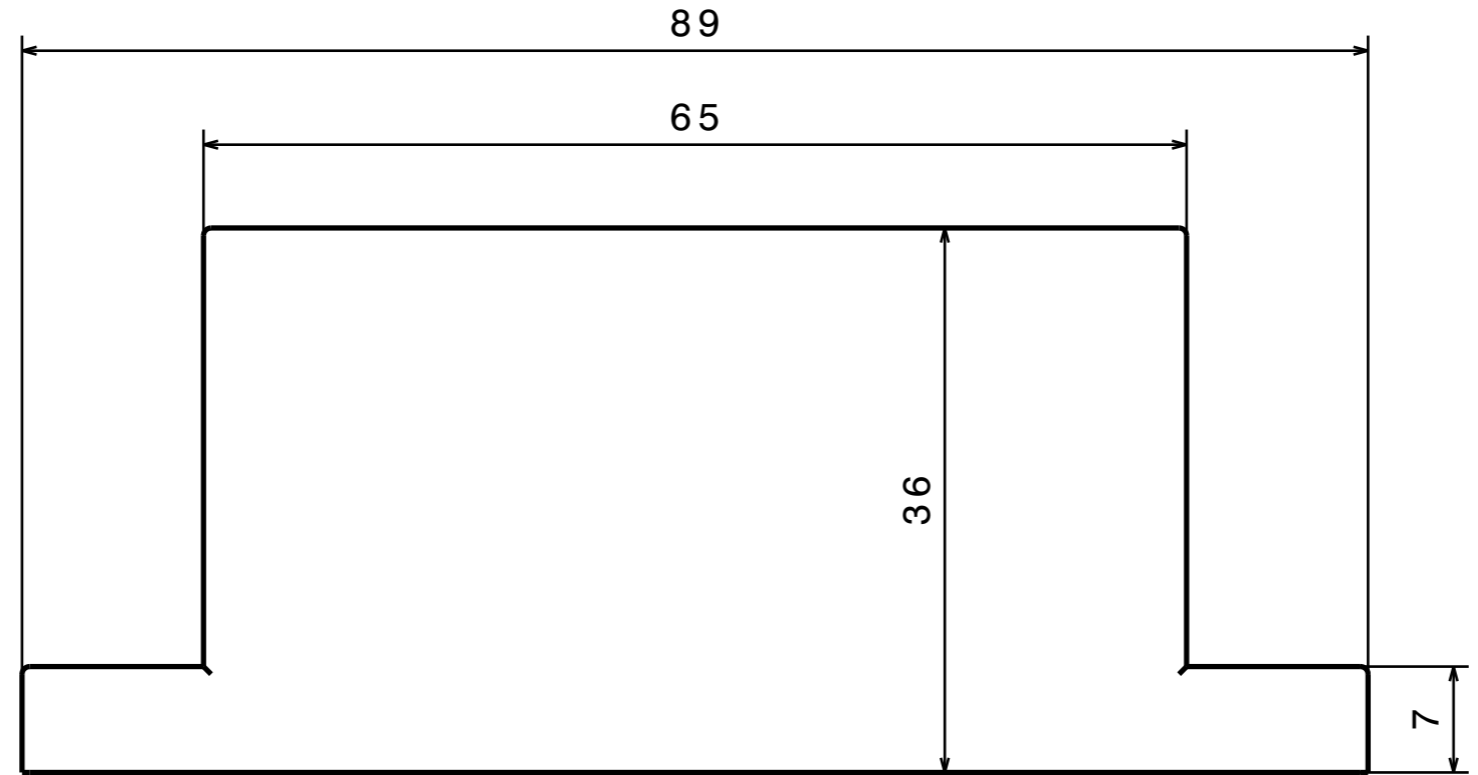
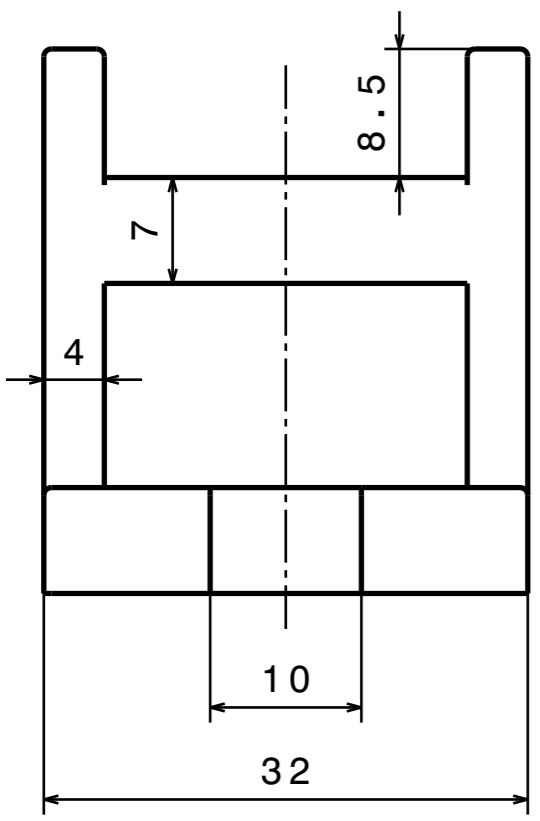
1

4

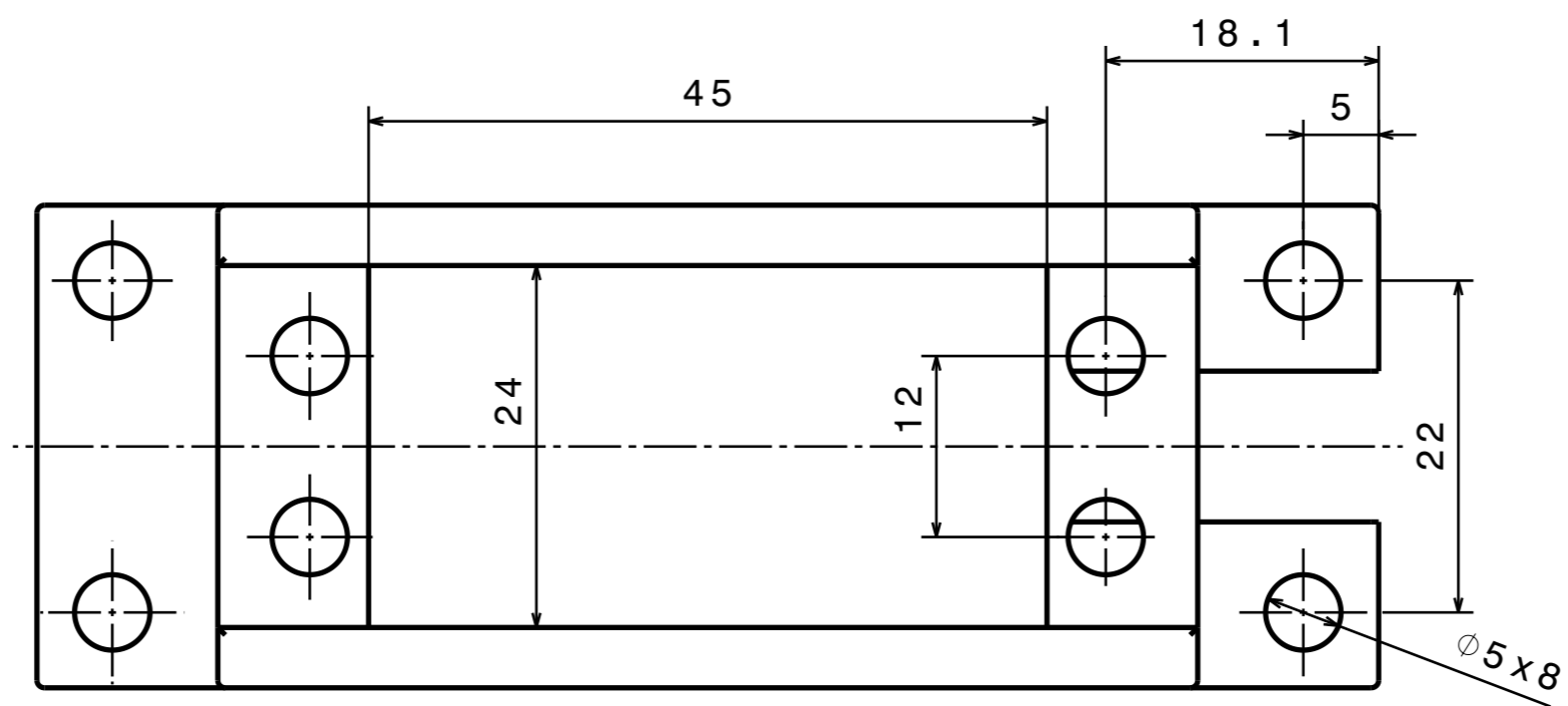
3

2

1



REPRESENTACIÓN ISOMÉTRICA
ESCALA: 1:1



REDONDEOS FINOS
DE RADIO 0,5 mm

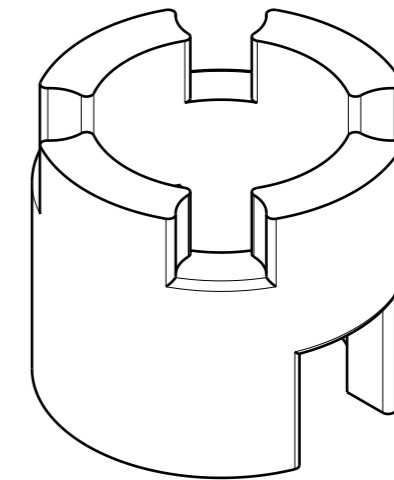
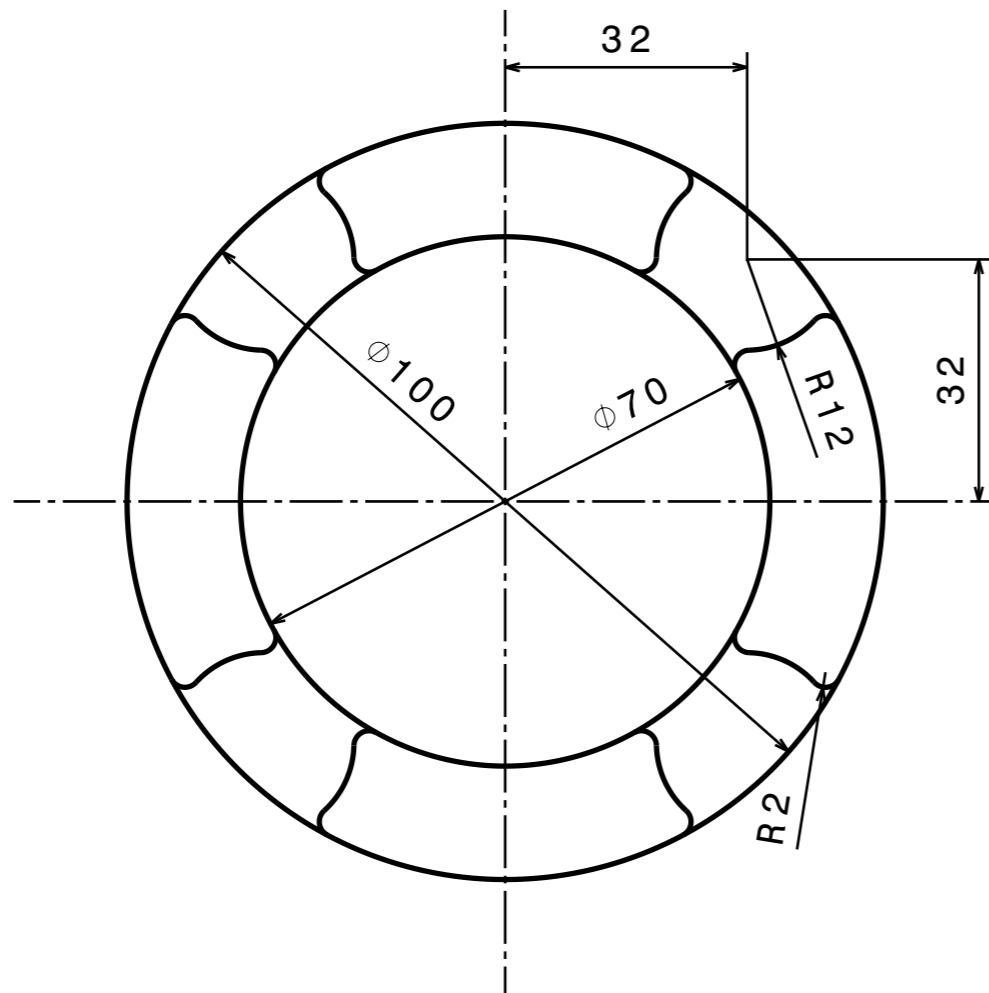
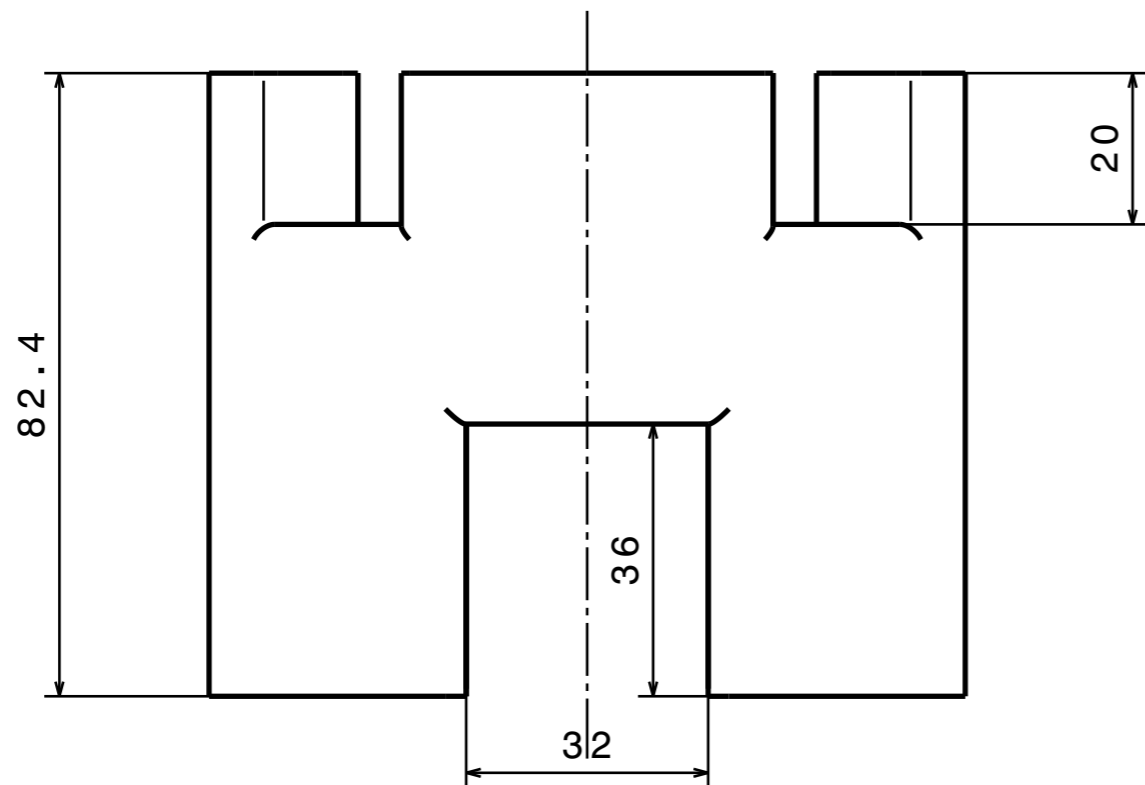
H G F E D C B A

DISEÑADO POR: 71953589K	
FECHA: 14/11/2019	
COMPROBADO POR:	
FECHA:	
TAMANO A3	
ESCALA 2:1	MASA (kg) 0,11

CABEZA ROBÓTICA CON ALTA CAPACIDAD GESTUAL		
		ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES (UVa)
NOMBRE DE LA PIEZA SOPORTE_SERVOMOTOR_INFERIOR		HOJA 1/1

I	-
H	-
G	-
F	-
E	-
D	-
C	-
B	-
A	-

Este diseño es de nuestra propiedad; no se puede reproducir ni comunicar sin previo acuerdo.



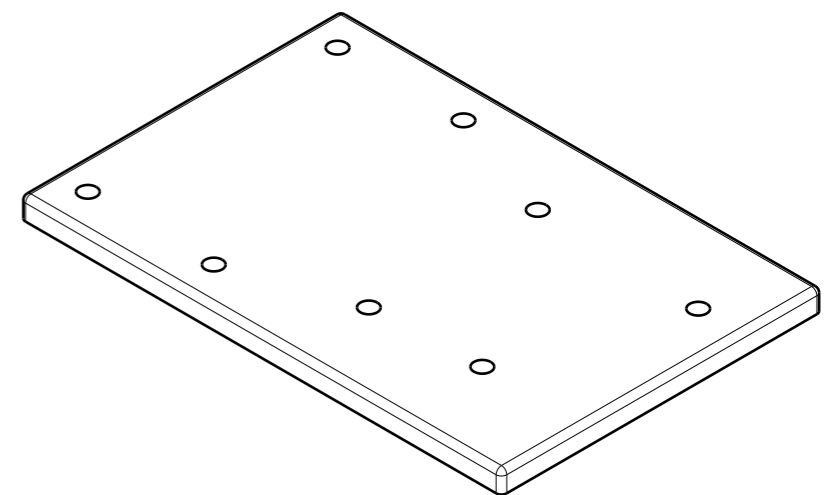
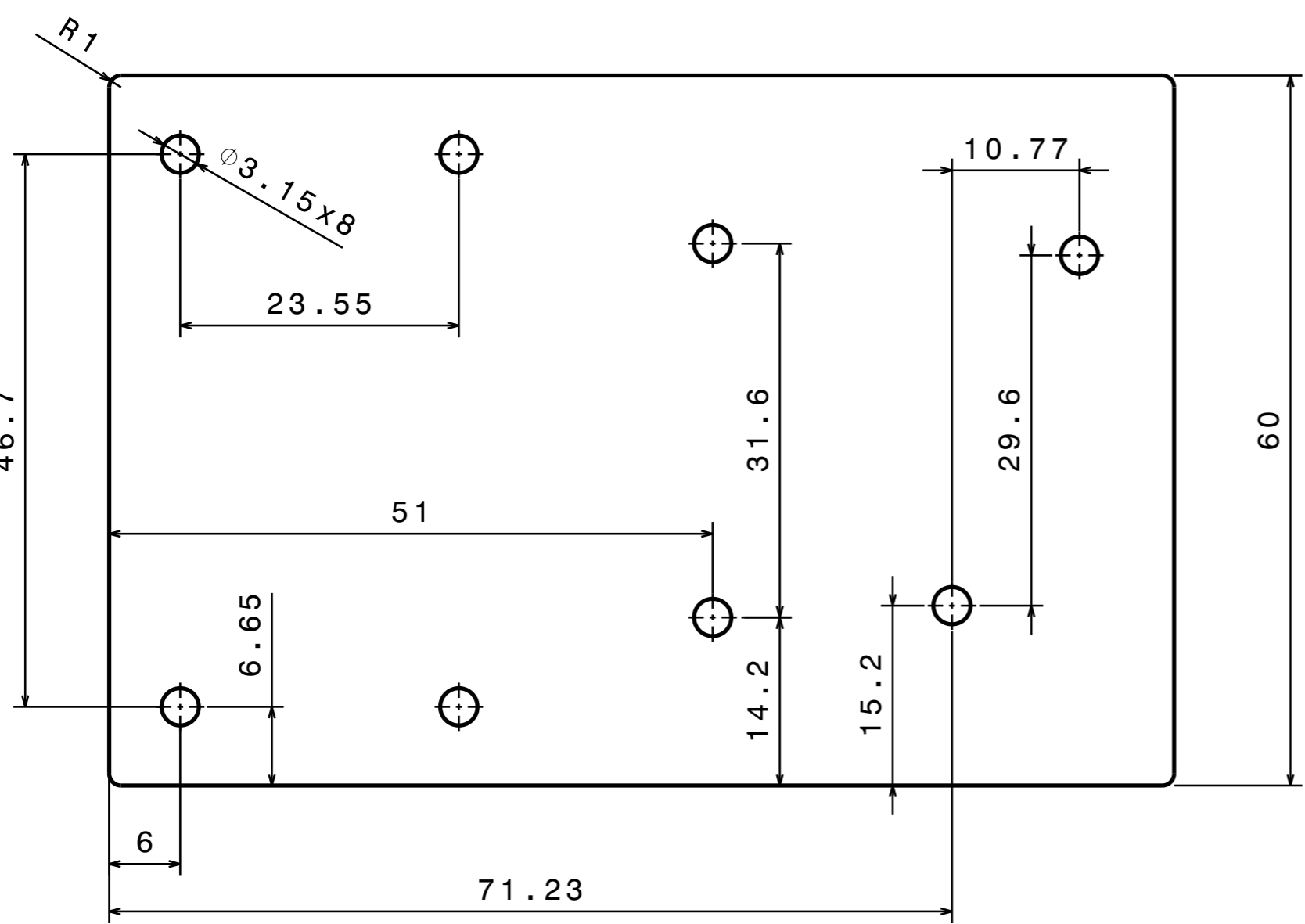
REPRESENTACIÓN ISOMÉTRICA
ESCALA: 1:2

DISEÑADO POR: 71953589K		CABEZA ROBÓTICA CON ALTA CAPACIDAD GESTUAL		I	-
FECHA: 14/11/2019				H	-
COMPROBADO POR:		ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES (UVa)		G	-
FECHA:				F	-
TAMANO A3		NOMBRE DE LA PIEZA SOPORTE_RODAMIENTO_INFERIOR		E	-
ESCALA 1:1	MASA (kg) 0,16			D	-
		HOJA 1/1		C	-
				B	-
				A	-

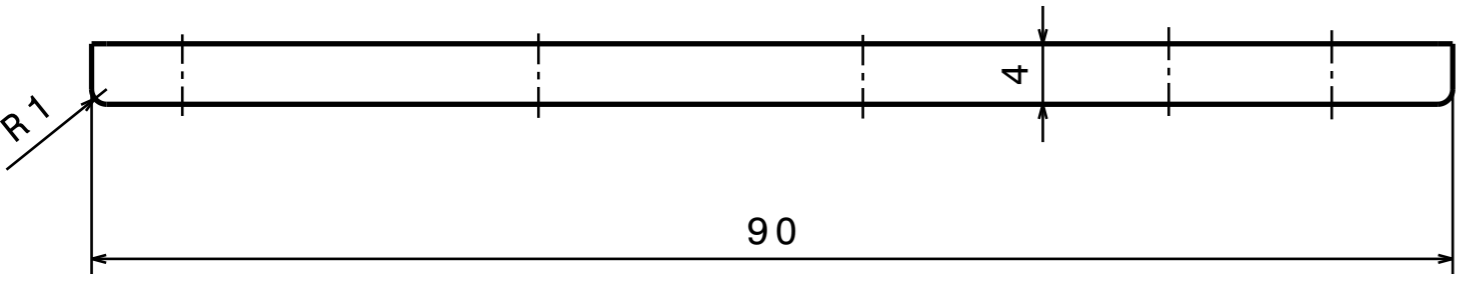
Este diseño es de nuestra propiedad; no se puede reproducir ni comunicar sin previo acuerdo.


H G F E D C B A

4
3
2
1

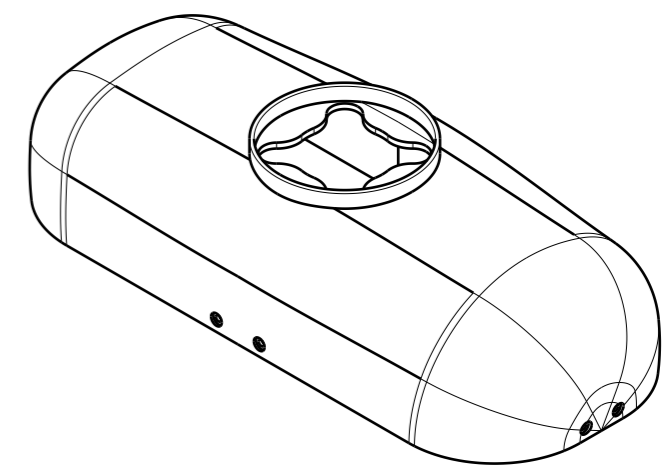
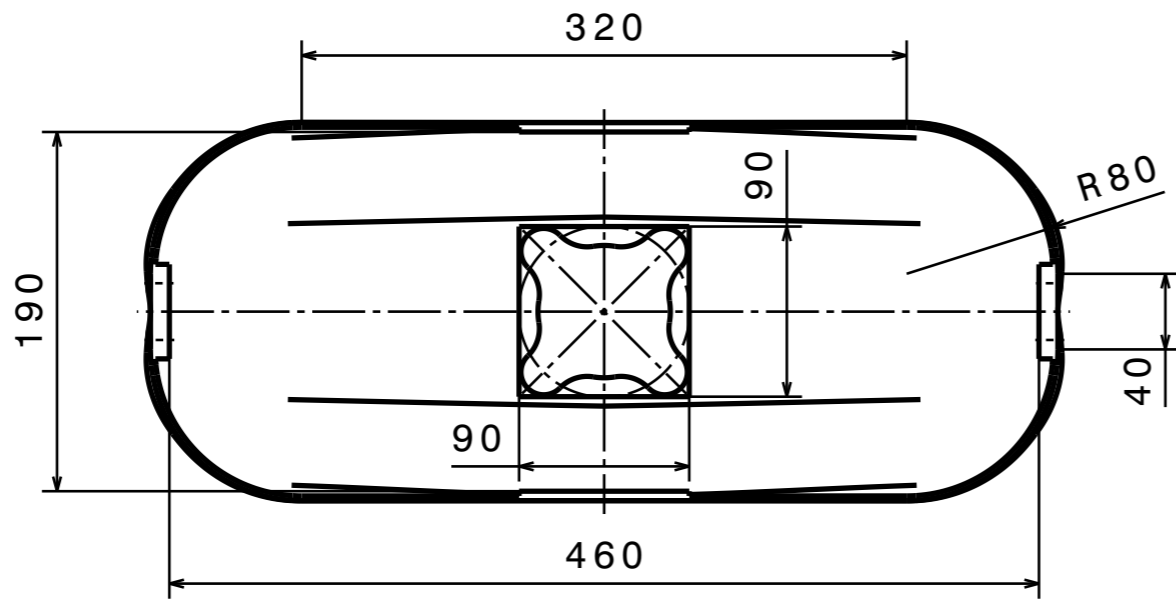


REPRESENTACIÓN ISOMÉTRICA
ESCALA: 1:1

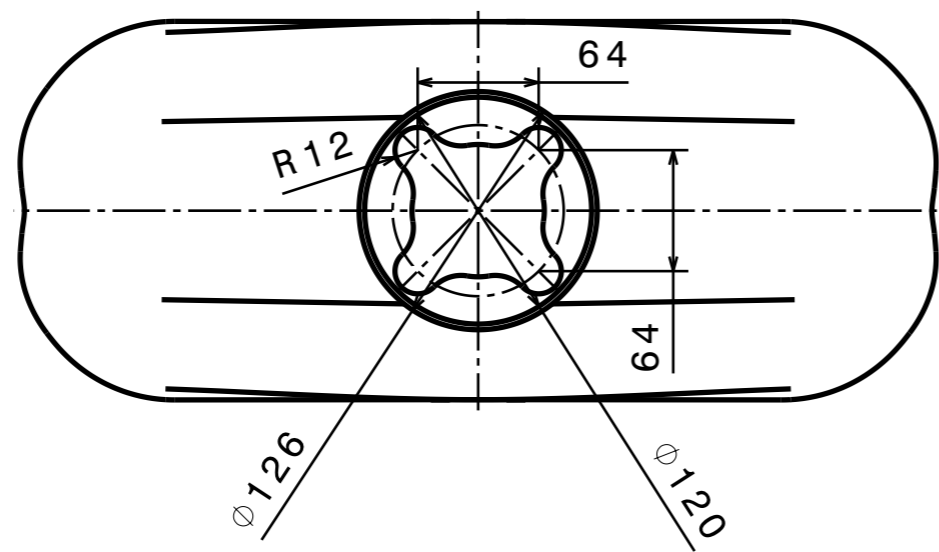
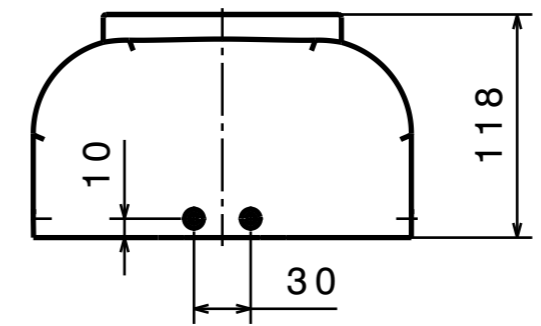
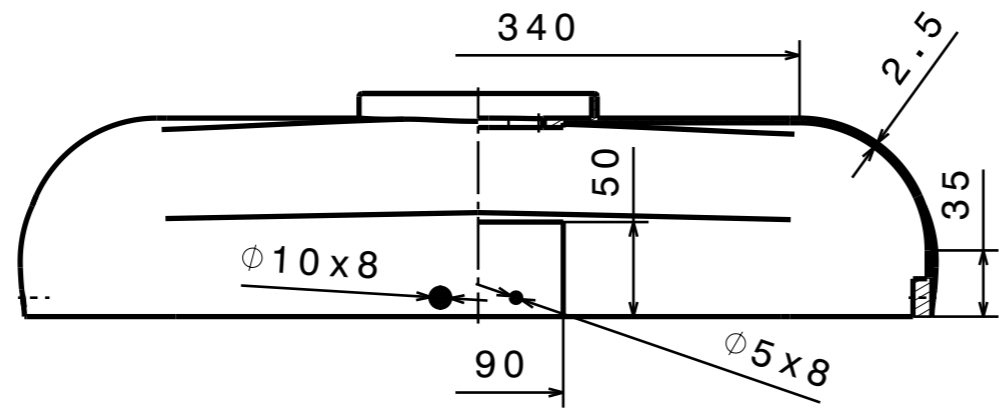
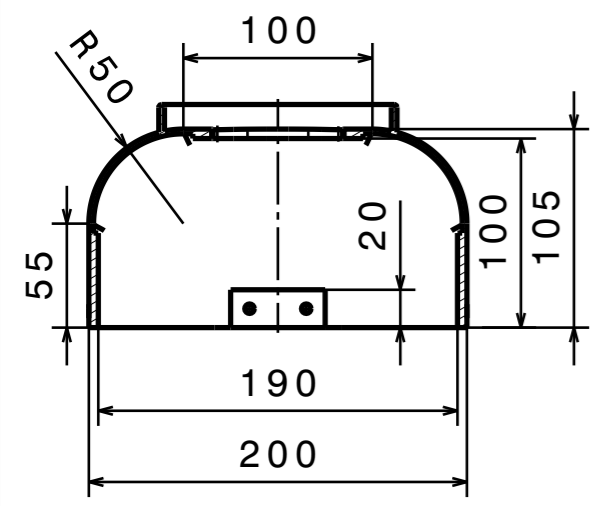


DISEÑADO POR: 71953589K		CABEZA ROBÓTICA CON ALTA CAPACIDAD GESTUAL		I	-
FECHA: 14/11/2019				H	-
COMPROBADO POR:		ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES (UVa)		G	-
FECHA:				F	-
TAMANO A3		NOMBRE DE LA PIEZA SOPORTE_ELECTRÓNICA		E	-
ESCALA 2:1				MASA (kg) 0,05	HOJA 1/1
Este diseño es de nuestra propiedad; no se puede reproducir ni comunicar sin previo acuerdo.				C	-
				B	-
				A	-

H G F E D C B A

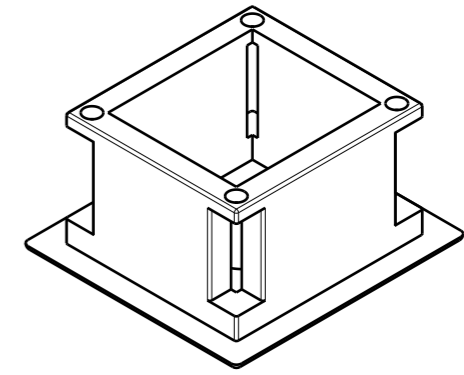
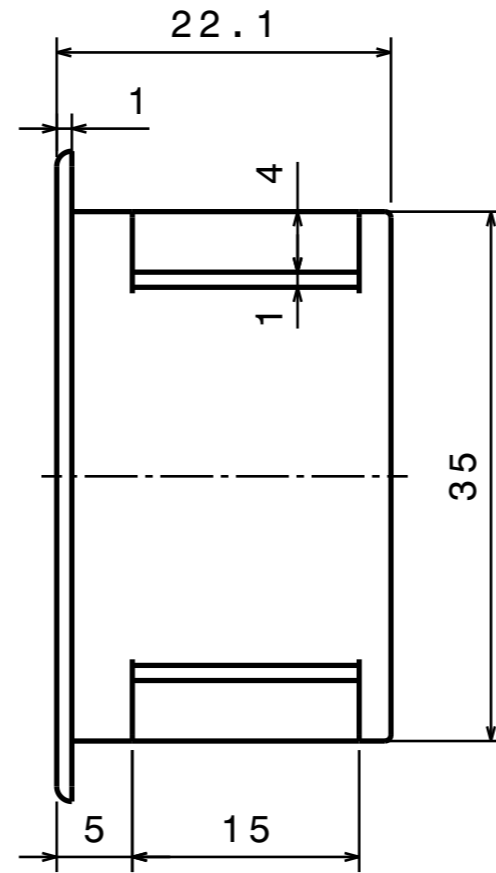
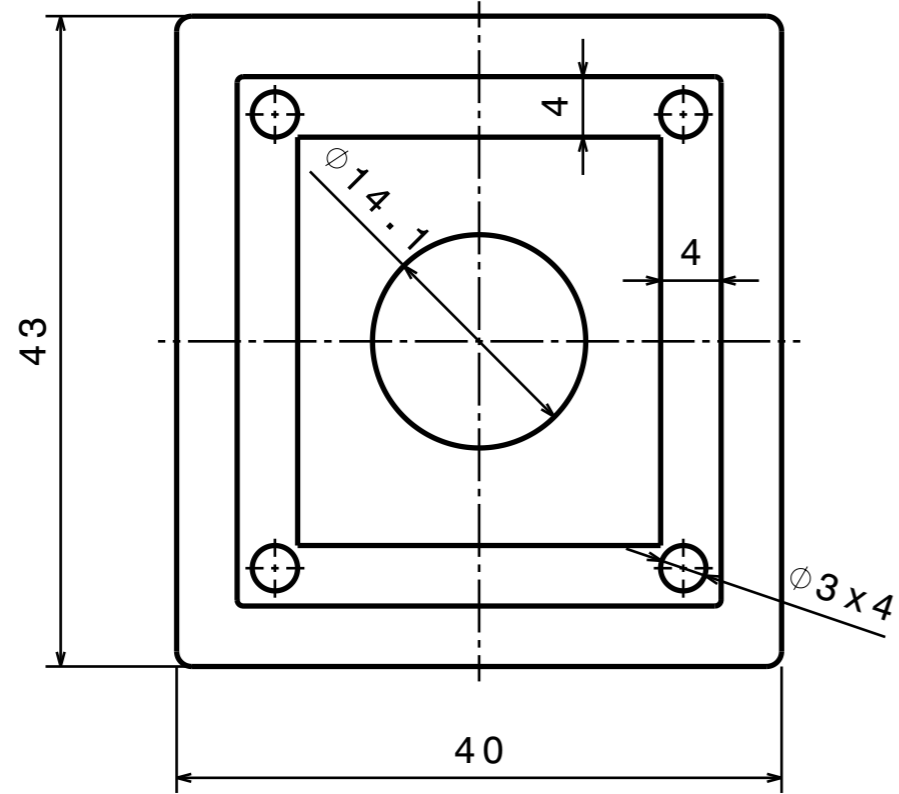


REPRESENTACIÓN ISOMÉTRICA
ESCALA: 1:5



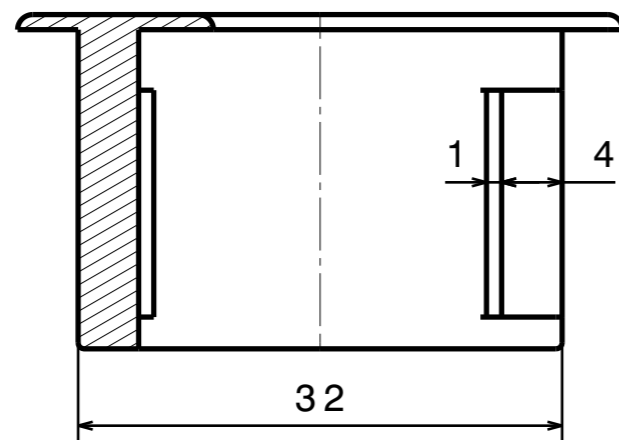
DISEÑADO POR: 71953589K		CABEZA ROBÓTICA CON ALTA CAPACIDAD GESTUAL	I	-
FECHA: 14/11/2019			H	-
COMPROBADO POR:			G	-
FECHA:		F	-	
TAMANO A3		E	-	
ESCALA 1:4		ESCUOLA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES (UVa)		
MASA (kg) 0,30	NOMBRE DE LA PIEZA CUBRE_TORSO	D	-	
		C	-	
		B	-	
		A	-	

Este diseño es de nuestra propiedad; no se puede reproducir ni comunicar sin previo acuerdo.



REPRESENTACIÓN ISOMÉTRICA
ESCALA: 1:1

REDONDEOS FINOS
DE RADIO 0,4 mm

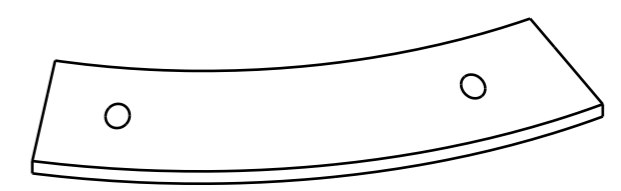


DISEÑADO POR: 71953589K		CABEZA ROBÓTICA CON ALTA CAPACIDAD GESTUAL	I	-
FECHA: 14/11/2019			H	-
COMPROBADO POR:		ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES (UVa)	G	-
FECHA:			F	-
TAMANO A3		SOPORTE_CÁMARA	E	-
ESCALA 2:1			MASA (kg) 0,10	D
NOMBRE DE LA PIEZA		1/1	C	-
Este diseño es de nuestra propiedad; no se puede reproducir ni comunicar sin previo acuerdo.			B	-
		A	-	

H G F E D C B A

4

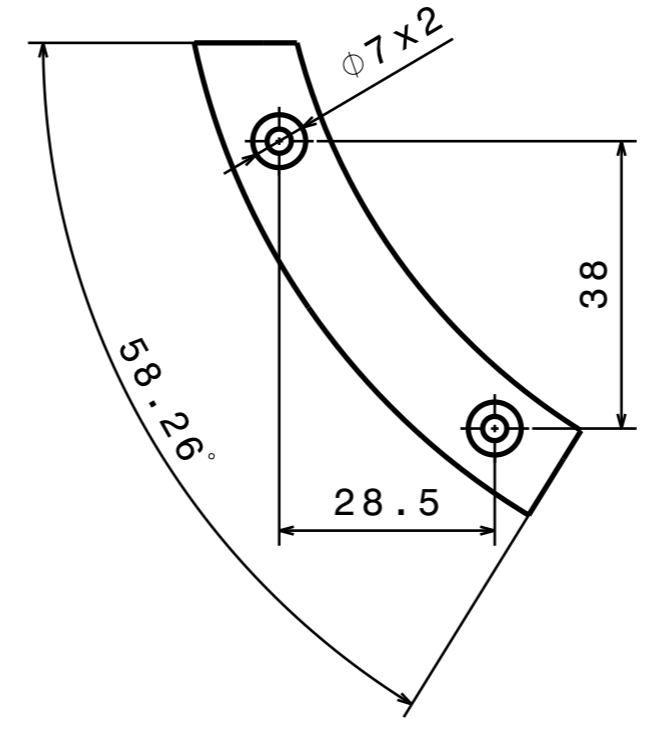
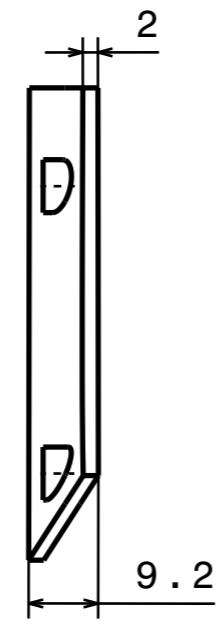
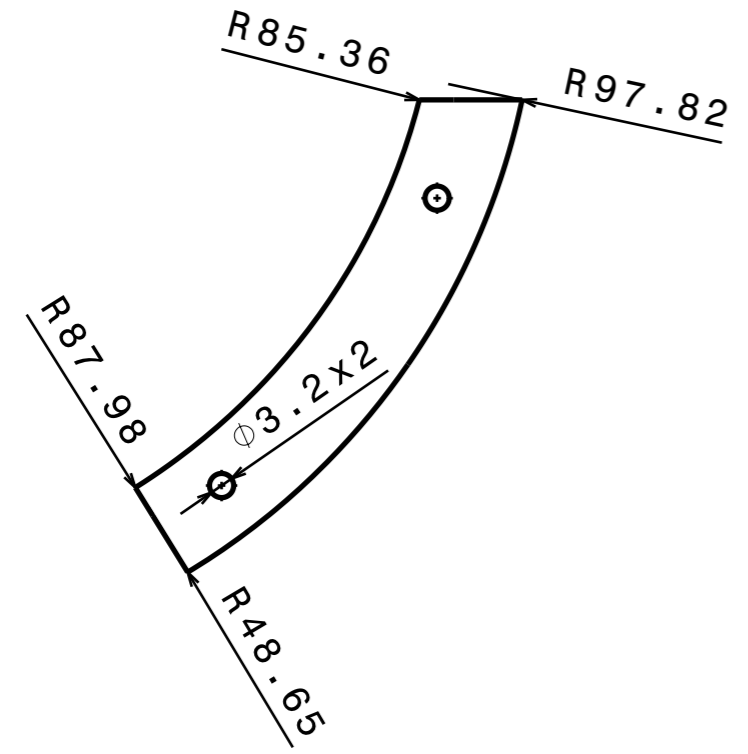
4



REPRESENTACION ISOMÉTRICA

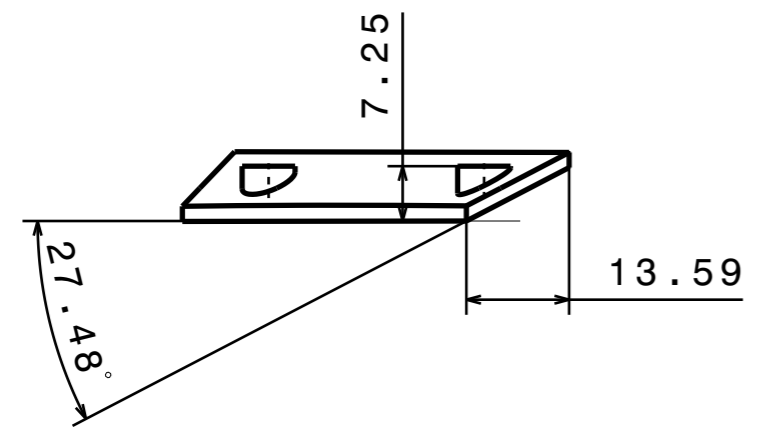
3

3



2

2



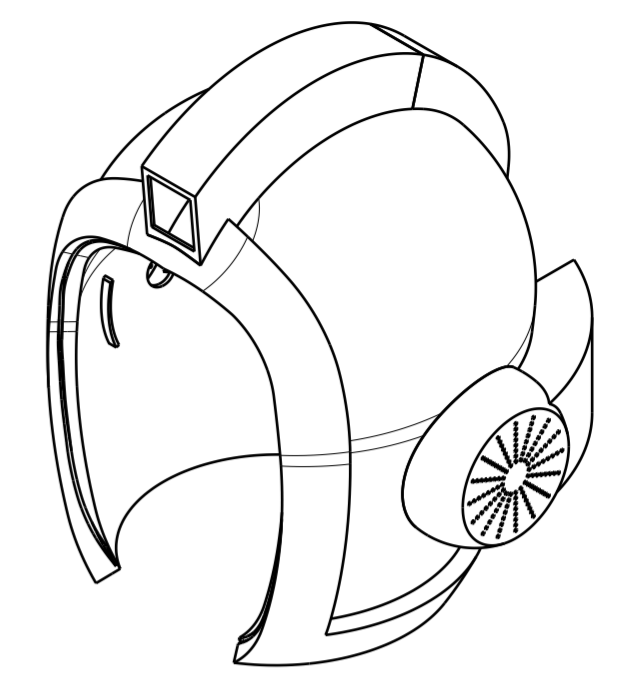
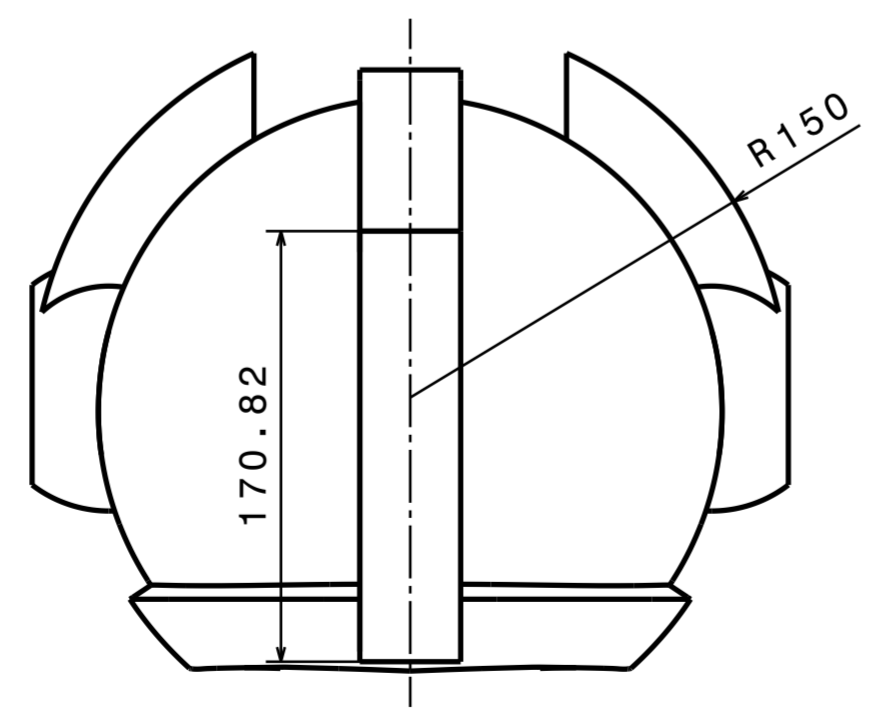
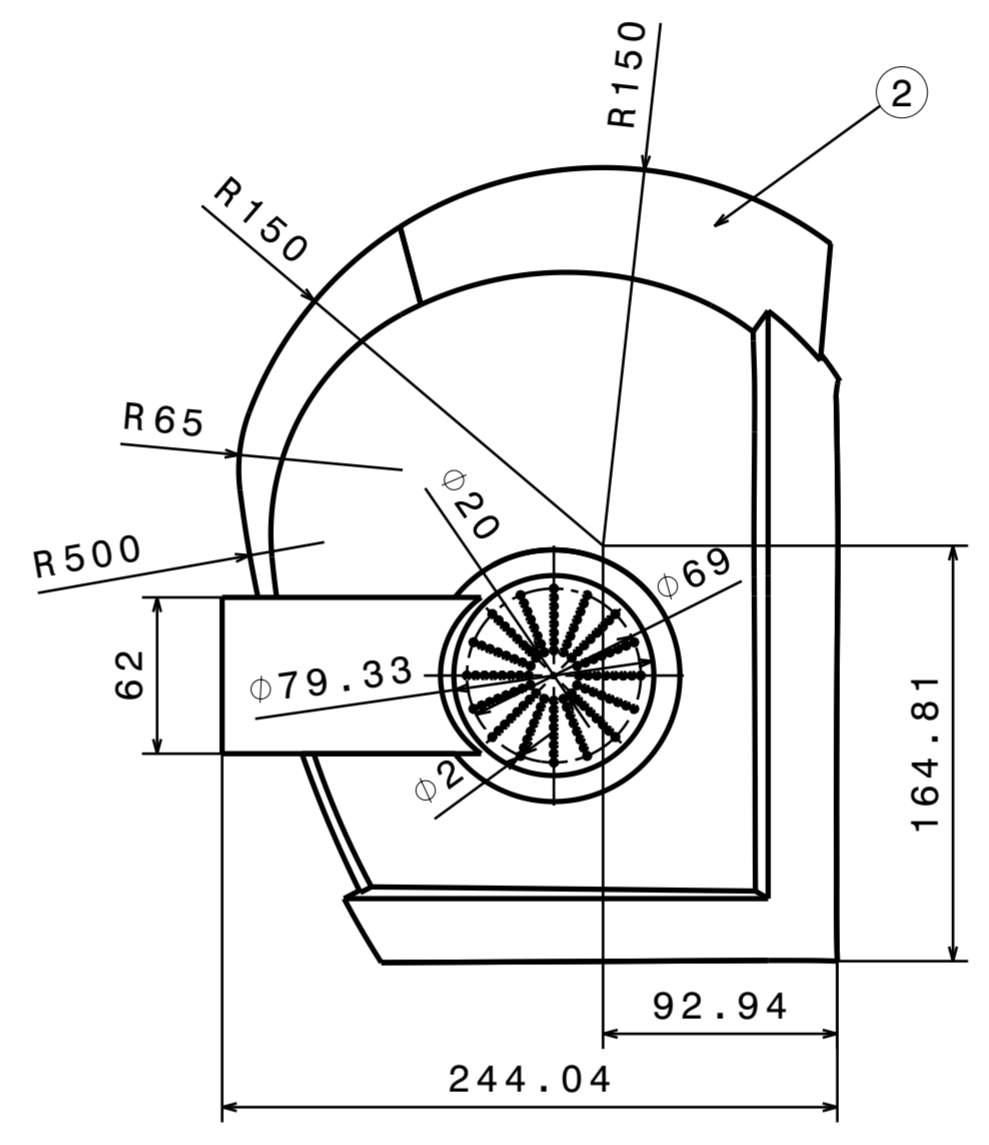
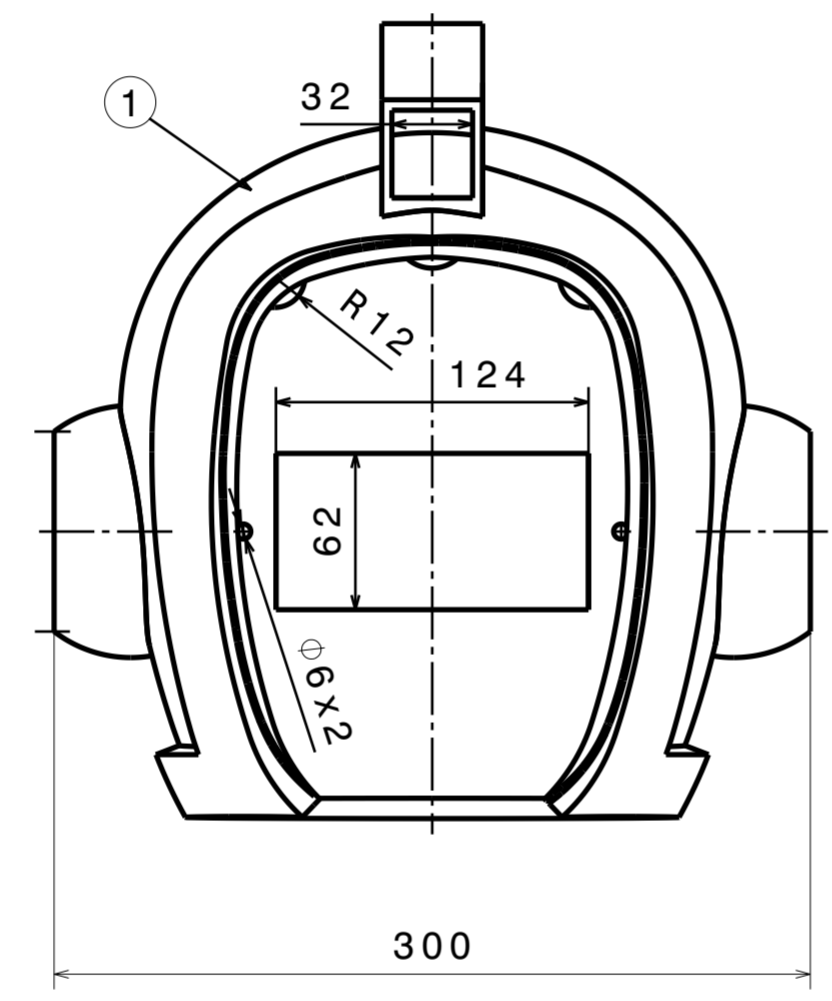
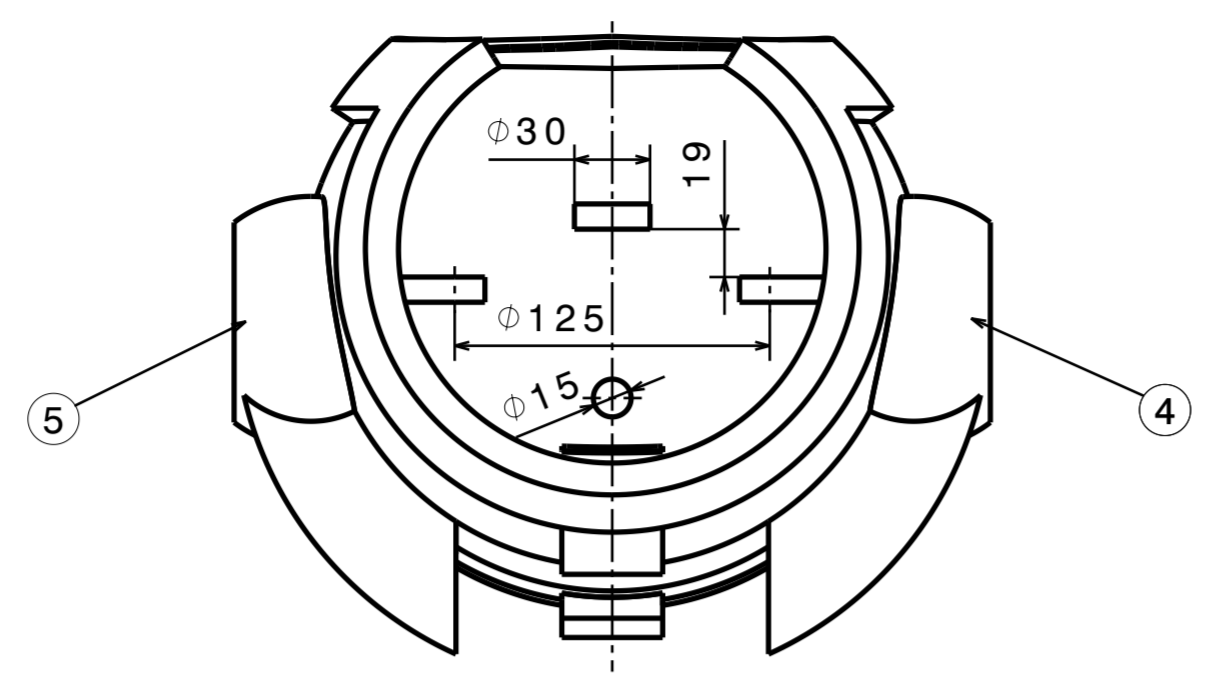
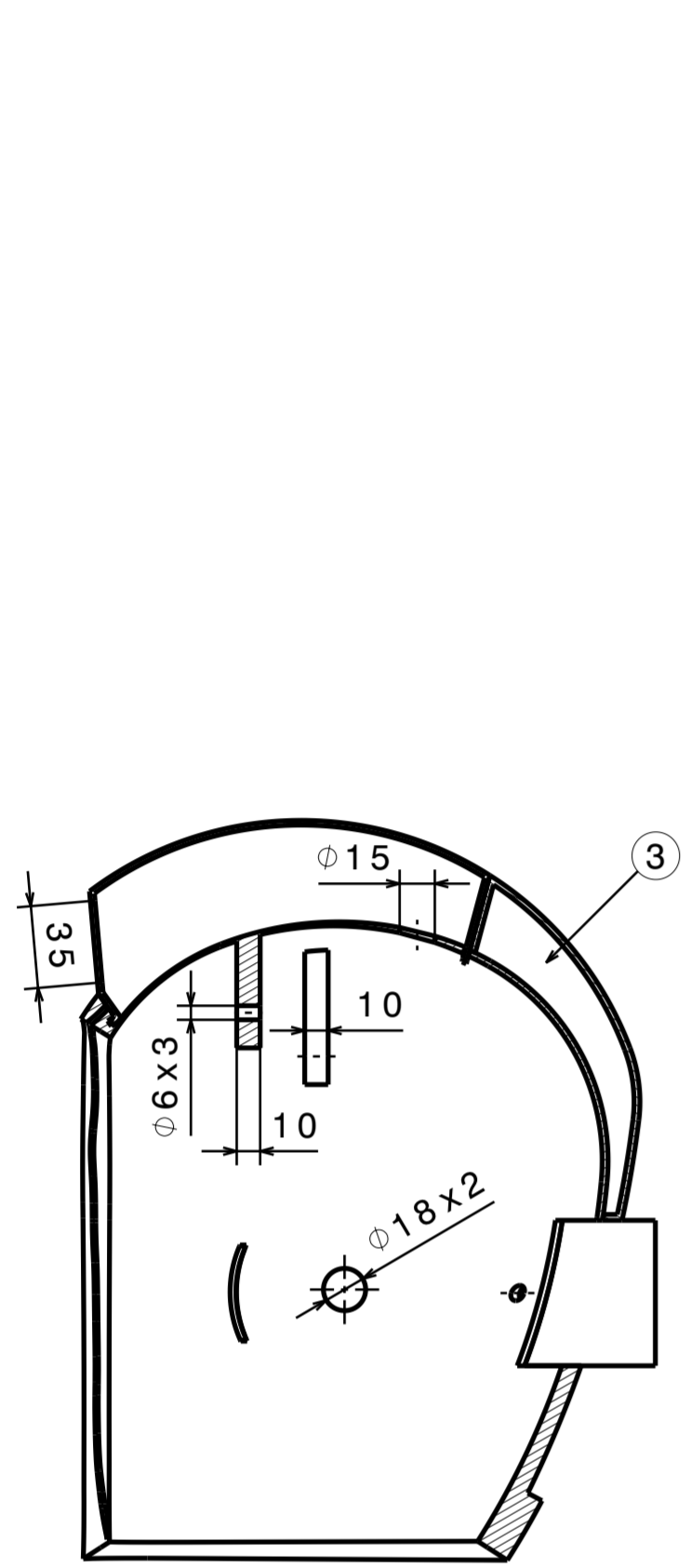
1

1

DISEÑADO POR: 71953589K		CABEZA ROBÓTICA CON ALTA CAPACIDAD GESTUAL		I	-
FECHA: 14/11/2019				H	-
COMPROBADO POR:		ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES (UVa)		G	-
FECHA:				F	-
TAMANO A3		SUJECION_INFERIOR_CASCO		E	-
ESCALA 1:1				MASA (kg) 0,05	NOMBRE DE LA PIEZA
				C	-
				B	-
				A	-

Este diseño es de nuestra propiedad; no se puede reproducir ni comunicar sin previo acuerdo.

H G F E D C B A



REPRESENTACIÓN ISOMÉTRICA
ESCALA: 1:4

1	Orejera izquierda	5	PLA
1	Orejera derecha	4	PLA
1	Saliente superior posterior	3	PLA
1	Saliente superior anterior	2	PLA
1	Pieza principal casco	1	PLA
Nº de piezas	Descripción y observaciones	Marca	Material
DISEÑADO POR: 71953589K	CABEZA ROBÓTICA CON ALTA CAPACIDAD GESTUAL	I	-
FECHA: 18/11/2019		H	-
COMPROBADO POR:		G	-
FECHA:		F	-
TAMANO A2	ESCUOLA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES (UVa)	E	-
ESCALA 1:3		D	-
MASA (kg) 0,96	NOMBRE DE PIEZA CONJUNTO_PIEZAS_CASCO	C	-
		B	-
		A	-

Este diseño es de nuestra propiedad; no se puede reproducir ni comunicar sin previo acuerdo.