



industriales
etsii

Escuela Técnica
Superior
de Ingeniería
Industrial

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Industrial

Construcción de un regulador de Watt para el control de un motor de corriente continua

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

Autor: David Gómez Fernández
Director: Jorge Juan Feliu Batle
Codirector: Pablo Alejandro Martínez Ruíz

Cartagena, Abril 2019



Universidad
Politécnica
de Cartagena

Agradecimientos

En primer lugar, me gustaría agradecer a D. Jorge Juan Feliu Batle y D. Pablo Alejandro Martínez Ruíz, director y codirector respectivamente, la oportunidad de desarrollar este TFG. Además, de su ayuda, paciencia y comprensión mostrada ante la demora de tiempo sufrida en la entrega de esta memoria, debido a mi situación laboral.

A mis padres, por su apoyo constante a lo largo de estos años tan duros a lo largo de mi carrera. No puedo olvidarme del gran apoyo que recibí en mis primeros años. Sin vosotros esto no sería posible.

A mi hermana, por darme ánimos durante todos estos años y por estar siempre disponible cuando te necesitaba.

A Begoña, por ser la persona que me ha renovado las fuerzas por acabar esta carrera, por animarme y soportarme estos años de alegrías y sufrimientos. Sin ti no hubiera sido posible.

A la gran familia que formamos OTP Ingeniería y Peritaciones, en especial a Javier y Leonor, por abrirme las puertas de vuestra casa y darme la oportunidad de trabajar con vosotros.

Resumen

El objetivo del presente proyecto es el diseño y fabricación del regulador de velocidad del ingeniero e inventor James Watt.

Este mecanismo, originalmente, nos permitía controlar la velocidad de giro de un motor de vapor, regulando la cantidad de combustible aportada. El reto de este estudio se nos presenta, a la hora de reemplazar el motor de combustión, por un motor eléctrico.

The objective of this Project is the design and manufacture of the speed controller of engineer and inventor James Watt.

This mechanism, originally, allowed us to control the speed of rotation of the steam engine, regulatin the amount of fuel contributed. The retouching of this study is presented, when it comes to replacing the combustión engine, by an electric motor.

Índice general

Resumen.....	5
Índice de tablas	10
Índice de figuras	11
Capítulo 1. Introducción.....	14
1 Motivación	14
1.2 Objetivos	14
1.3 Fases del trabajo	14
Capítulo 2. Estado del arte	16
2 Origen de la regulación automática	16
2.1 Biografía James Watt.....	17
2.2 Historia del regulador centrífugo de Watt	20
2.3 Problema de estabilidad.....	23
2.4 Aplicaciones actuales	24
Capítulo 3. Cálculos analíticos.....	26
Capítulo 4. Marco técnico	30
4.1 Software de diseño 3D	30
4.1.1 ¿Qué es y para qué sirve?	31
4.1.2 Solidworks en el proceso del perfeccionamiento de un producto	31
4.1.3 Soluciones que ofrece Solidworks.....	32
4.2 Impresión 3D	33
4.2.1¿Cómo funciona?	33
4.3 Material de impresión 3D	34
4.3.1 PLA y ABS.....	35
4.3.2 Selección del material	36
4.4 Corte por láser.....	37
4.4.1 Características del corte por láser.....	37
4.5 Material de construcción	39
4.5.1 Eje central.....	39
4.5.2 Varillas	40
4.5.3 Guía para el selector	40
4.5.4 Portador del selector.....	41
4.5.5 Tornillería	41
4.5.6 Niveladores.....	42

4.5.7	Escuadra de ángulo	42
4.6	Componentes electrónicos	43
4.6.1	Servomotor.....	43
4.6.1.1	¿Qué es?.....	43
4.6.1.2	¿Funcionamiento?.....	43
4.6.1.3	Partes del servomotor.....	44
4.6.1.4	Tipos de servos.....	44
4.6.1.5	Clasificación según el tipo de movimiento.....	45
4.6.1.6	Servomotor seleccionado.....	45
4.6.2	Potenciómetro deslizante	46
4.6.2.1	¿Qué es?.....	46
4.6.1.7	Funcionamiento	46
4.6.2.3	Tipos de potenciómetros	47
4.6.2.4	Ejemplos	49
4.6.2.5	Potenciómetro seleccionado.....	49
4.6.3	Fuente de tensión variable.....	49
4.6.3.1	¿Qué es?.....	49
4.6.3.2	Fuentes de alimentación lineales.....	50
4.7	Herramientas utilizadas	52
4.7.1	Taladro percutor.....	52
4.7.2	Soporte taladro percutor	52
4.7.3	Mini amoladora eléctrica	53
4.7.4	Sierra de mano y guía para ingletes	53
4.7.5	Lima y papel de lija	53
4.7.6	Báscula.....	54
4.7.7	Tornillo de banco con palomilla	54
4.7.8	Juego de machos y cojinetes	54
Capítulo 5.	Diseño	55
5	Concepto Inicial.....	55
5.1	Criterios de diseño.	56
5.2	Diseño de detalle.....	57
5.2.1	Regulador de velocidad.....	58
5.2.2	Soporte superior.....	59
5.2.3	Eje central.....	60
5.2.4	Soporte inferior	61

5.2.5	Brazo.....	62
5.2.6	Soporte prisionero.....	63
5.2.7	Semiesfera.....	64
5.2.8	Perno.....	65
5.2.9	Conjunto de la base.....	66
5.2.10	Caja principal de la base.....	67
5.2.11	Tapa superior de la base.....	68
5.2.12	Tapa frontal de la base.....	69
5.2.13	Conjunto del potenciómetro.....	70
5.2.14	Selector.....	71
5.2.15	Guía del selector.....	72
5.2.16	Portador del selector.....	73
5.2.17	Soporte del potenciómetro.....	74
5.3	Análisis de la estructura.....	75
5.3.1	Ensayo del Selector.....	75
Capítulo 6. Fabricación.....		79
6	Impresión 3D.....	79
6.1	Corte de acero por láser.....	82
6.2	Mediante utillaje.....	84
6.2.1	Eje.....	84
6.2.2	Brazos.....	85
6.2.3	Guía del Selector.....	85
6.2.4	Portador del selector.....	86
6.2.5	Orificio del potenciómetro.....	87
6.2.6	Roscado del prisionero.....	87
6.3	Ensamblaje.....	88
Capítulo 7. Experimentación.....		93
Capítulo 8. Conclusiones.....		95
Bibliografía.....		97
Anexos.....		99

Índice de tablas

Tabla 1. Comparativa entre PLA y ABS.....	35
Tabla 2. Material para eje central.....	39
Tabla 3. Material para varillas.....	40
Tabla 4. Guía para selector.....	40
Tabla 5. Portador del selector.....	41
Tabla 6. Tornillería utilizada.....	41
Tabla 7. Niveladores.....	42
Tabla 8. Escuadra de ángulo.....	42
Tabla 9. Características del servomotor.....	45
Tabla 10. Características del potenciómetro.....	49
Tabla 11. Medidas finales del eje.....	84
Tabla 12. Medidas finales de los brazos.....	85
Tabla 13. Medidas finales de la guía.....	86
Tabla 14. Medidas finales del Portador del selector.....	86

Índice de figuras

Figura 1. James Watt ⁶	17
Figura 2. James Watt y la máquina de vapor (óleo de Eckford Lauder) ⁷	18
Figura 3. Logo Colegio de ingenieros industriales de Murcia ¹⁶	19
Figura 4. Bomba de inyección en línea ¹⁷	24
Figura 5. Componentes de la bomba inyectora ¹⁹	25
Figura 6. Esquema del regulador fuera de la carcasa ¹⁷	25
Figura 7. Logo del software 3D.....	30
Figura 8. Software de diseño.....	31
Figura 9. Software de diseño 1.....	32
Figura 10. Impresora 3D.....	33
Figura 11. Componentes impresoras 3D.....	34
Figura 12. Corte por láser.....	37
Figura 13. Ejemplos de piezas realizadas por la empresa.....	38
Figura 14. Material para eje central.....	39
Figura 15. Material para los brazos.....	40
Figura 16. Guía para el selector.....	40
Figura 17. Portador del selector.....	41
Figura 18. Tornillería.....	41
Figura 19. Niveladores.....	42
Figura 20. Escuadra en ángulo.....	42
Figura 21. Servomotor seleccionado.....	45
Figura 22. Representación de una resistencia en un circuito eléctrico.....	46
Figura 23. Reóstato.....	47
Figura 24. Potenciómetro de ajuste.....	48
Figura 25. Potenciómetro seleccionado.....	49
Figura 26. Fuente de tensión ideal.....	50
Figura 27. Fuente de tensión real.....	50
Figura 28. Taladro percutor.....	52
Figura 29. Soporte taladro percutor.....	52
Figura 30. Mini amoladora eléctrica.....	53
Figura 31. Sierra de mano y guía para ingletes.....	53
Figura 32. Lima y papel de lija.....	53
Figura 33. Báscula.....	54
Figura 34. Tornillo de banco con palomilla.....	54
Figura 35. Juego de machos y cojinetes.....	54
Figura 36. Conjunto del Regulador de Velocidad.....	57
Figura 37. Regulador de velocidad.....	58
Figura 38. Soporte superior.....	59
Figura 39. Eje central.....	60
Figura 40. Soporte inferior.....	61
Figura 41. Brazo.....	62
Figura 42. Soporte prisionero.....	63
Figura 43. Semiesfera.....	64
Figura 44. Perno.....	65
Figura 45. Conjunto de la base.....	66
Figura 46. Caja principal de la base.....	67

Figura 47. Tapa superior de la base	68
Figura 48. Tapa frontal de la base	69
Figura 49. Conjunto del potenciómetro	70
Figura 50. Selector	71
Figura 51. Guía del selector	72
Figura 52. Portador del selector	73
Figura 53. Soporte del potenciómetro	74
Figura 54. Fijación y carga sobre el Selector	75
Figura 55. Ensayo de Von Mises sobre el Selector	76
Figura 56. Desplazamiento final en el Selector	76
Figura 57. Fijación y carga en el soporte inferior	77
Figura 58. Ensayo de Von Mises sobre el soporte inferior	77
Figura 59. Desplazamiento final en el soporte inferior	78
Figura 60. Simplify 3D	80
Figura 61. Proceso de impresión 3D	80
Figura 62. Soporte superior	80
Figura 63. Semiesferas	81
Figura 64. Pernos	81
Figura 65. Soporte inferior	81
Figura 66. Selector	81
Figura 67. Soporte prisionero	82
Figura 68. Tapa superior	83
Figura 69. Tapa frontal	83
Figura 70. Base principal	83
Figura 71. Soporte potenciómetro	83
Figura 72. Fabricación del eje	84
Figura 73. Fabricación de los brazos	85
Figura 74. Fabricación de la guía	86
Figura 75. Fabricación del portador	86
Figura 76. Orificios del potenciómetro	87
Figura 77. Roscado del prisionero	87
Figura 78. Instalación de los niveladores	88
Figura 79. Unión del soporte del potenciómetro	88
Figura 80. Fijación de la guía para el selector del potenciómetro	89
Figura 81. Tapa superior unida a la base	89
Figura 82. Unión del servomotor a la tapa superior	89
Figura 83. Unión semiesferas	90
Figura 84. Unión de brazos y soporte inferior	90
Figura 85. Unión de eje, soporte superior y brazos superiores	90
Figura 86. Regulador ensamblado	91
Figura 87. Fijación del prisionero	91
Figura 88. Unión de selector y potenciómetro	92
Figura 89. Regulador de velocidad terminado	92
Figura 90. Modificación de guía y portador del selector	94

Capítulo 1. Introducción

1 Motivación

Este trabajo fin de grado nace del interés por diseñar y construir un modelo del Regulador de velocidad de James Watt con una fuente de energía eléctrica por parte del Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática.

1.2 Objetivos

El objetivo de la fabricación de un modelo del Regulador de Watt tiene un interés tanto experimental, como didáctico. Actualmente los alumnos de la asignatura de Regulación Automática, en la elaboración de las prácticas usan un software determinado para manejar los controladores. En su estudio, cambian las variables y logran diversas conclusiones, de esta forma informatizada puede ser complicado comprender lo que realmente ocurre. Por ello, la construcción del regulador de velocidad pretende demostrar físicamente en qué radica, cuál es su función y cómo actúa.

1.3 Fases del trabajo

El presente proyecto se ha dividido en las siguientes fases:

- **Capítulo 1. Introducción:** Explicamos brevemente las motivaciones, objetivos y estructura que forman este trabajo fin de grado.
- **Capítulo 2. Estado del arte:** Se realiza la revisión bibliográfica sobre el estado del arte en el regulador de velocidad de Watt.
- **Capítulo 3. Cálculos analíticos:** Exponemos un breve modelado del sistema.
- **Capítulo 4. Marco técnico:** Se presentan y esclarecen el soporte lógico informático, herramientas y materiales utilizados en nuestro proyecto.
- **Capítulo 5. Diseño y fabricación:** Se desarrolla el diseño en detalle de cada uno de los elementos que componen nuestro modelo de regulador.
- **Capítulo 6. Construcción:** Presentamos el ensamblaje de nuestro sistema de control de velocidad.

- **Capítulo 7. Conclusiones y desarrollos futuros:** Se presenta la conclusión, así como ideas de las oportunidades de desarrollo futuro que abre este trabajo.
- **Bibliografía:** Se enumeran las diversas fuentes de información consultadas.
- **Anexos:** Expondremos los planos en detalle de cada una de las piezas que constituyen el regulador de velocidad.

Capítulo 2. Estado del arte

2 Origen de la regulación automática

Desde el comienzo de la civilización, el hombre ha tratado de reemplazar el esfuerzo humano por sistemas de control y máquinas. En los sistemas de regadío en Babilonia sobre el año 2000 AC se localizan los inicios de las evidencias de la actividad del hombre en el campo del Control Automático. Se pudieron conocer a través de las leyes grabadas en el código de Hamurabi¹.

En la Antigua Grecia se hallaron indicios del uso de sistemas de control realimentado promovidos por la imperiosa necesidad de controlar de forma exacta la variación del tiempo. Resulta necesario destacar a tres mecánicos históricos: Philon, Ktesibios y Heron.

Ktesibios en el siglo III antes de Cristo diseñó un reloj de agua, también denominado *Clepsydra*, para el cual utilizó un flotador que regulaba la entrada de agua.

Philon de Bizancio fabricó un sistema de regulación en una lámpara de aceite. A medida que se quemaba el aceite de la lámpara, el nivel del depósito descendía favoreciendo la entrada de aire en el otro tanque de esta forma suministraba más cantidad de aceite al depósito principal.

En el siglo I AC, Herón de Alejandría publicó una Enciclopedia Técnica. Ésta recopilaba libros tales como “*Pneumática*” en el que se describen algunos sistemas realimentados y “*Autómata*” que presenta complejos aparatos que establecen programas fijos².

La historia de la Revolución Industrial se inicia con la invención de molinos de viento para moler grano. A continuación, se precisa la necesidad de diseñar y construir hornos y calderas, y culmina con la máquina de vapor.

En esta época se inventaron varios instrumentos de control, tales como dispositivos de control de velocidad y reguladores de temperatura o presión. La máquina de vapor alcanzó su madurez con el prototipo realizado por el ingeniero James Watt³.

2.1 Biografía James Watt

El inventor e ingeniero James Watt nació el 19 de enero de 1736 en la localidad de Greenock (Escocia) y murió el 25 de agosto del año 1819 en Birmingham (Inglaterra)⁴.

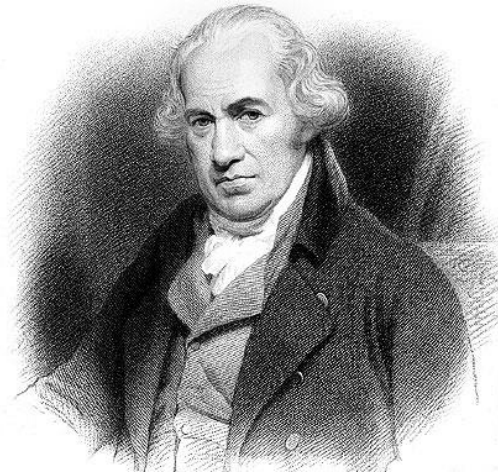


Figura 1. James Watt⁶

Causa de una mala salud durante la niñez, no acudió con regularidad a la escuela, de este modo su educación quedó a cargo de su madre⁶. Cuando pudo obtener una formación adecuada sobresalió en matemáticas y tareas manuales. Estudió en la Universidad de Glasgow y posteriormente un año en la Universidad de Londres³. A su regreso trató de abrir un negocio de reparación y fabricación de instrumentación, inicialmente barómetros, octantes y telescopios. Su solicitud fue denegada. Sin embargo, James consiguió su primer empleo en la Universidad de Glasgow ocupándose del mantenimiento de los instrumentos astronómicos.

En 1759, su amigo John Robison le habló sobre el posible uso del vapor como medio de propulsión de carruajes. Watt comenzó a experimentar y desarrollar el

concepto a pesar de no haber examinado jamás una máquina de vapor⁵. En 1763 investigó que la Universidad había obtenido una máquina de vapor de Newcomen (inventadas por el herrero inglés Thomas Newcomen en 1712)³. A petición del ingeniero fue desplazada a Glasgow para su puesta a punto.

Estudió la máquina de Newcomen percatándose de que se estropeaba con facilidad y no siendo eficiente desde el punto de vista energético. El diseño desperdiciaba mucha cantidad de vapor calentando y enfriando sus pistones. Obtuvo la solución en 1765 creando un condensador apartado que evitaría la constante pérdida de energía. El detonante de la Revolución Industrial fue la implantación de este innovador propulsor en la industrial textil⁵.



Figura 2. James Watt y la máquina de vapor (óleo de Eckford Lauder)⁷

Con un préstamo de su amigo el científico Joseph Black y en sociedad con John Roebuck, Watt construyó en 1768 el primer modelo de prueba patentando como “*Método para disminuir el consumo de vapor y de combustible en máquinas de calor*”. Se asoció con el dueño de las Manufacturas Soho de Birmingham, Matthew Boulton. Ambos fundaron la empresa *Soho Foundry* en el año 1774 y continuó perfeccionando su motor.

Su nueva posición le permitió tener a mano mejores elementos para mejorar sus diseños e investigar otras aplicaciones del vapor. Entre otras importantes aportaciones desarrolló así un medidor de presión de vapor en las máquinas, el engranaje planetario

(posteriormente biela) para convertir un movimiento oscilante en uno rotatorio, un motor de doble acción que distribuía el vapor almacenado en ambos lados del pistón, el paralelo articulado y el uso de un regulador de fuerza centrífuga (o péndulo cónico) para el control automático de la máquina⁴.

A finales del siglo XVII, Boulton y Watt habían instalado y construido más de quinientas máquinas, proporcionando a Watt beneficios económicos y la admiración de sus contemporáneos.

Watt originó el término “caballos de fuerza” junto a Boulton⁷. En honor a él se estableció en 1889 el vatio como unidad de potencia eléctrica, Watt (vatio, en castellano) en el Sistema Internacional de Unidades⁵.



Figura 3. Logo Colegio de ingenieros industriales de Murcia¹⁶

James Watt forma parte de la Real Sociedad de Londres para el avance de la ciencia natural, además se convierte en un miembro valioso para la Sociedad Lunar de Birmingham.

En el año 1800 decide jubilarse transfiriendo sus responsabilidades a su hijo James Watt Jr. Continuó con sus intereses científicos hasta la fecha de su muerte, a la edad de 83 años en Healthfield Hall siendo considerado uno de los hombres más influyentes en la historia de la Revolución Industrial⁴.

2.2 Historia del regulador centrífugo de Watt

Hace más de 900 años, la Europa medieval se transformó en la primera gran civilización que no funcionaba gracias a la fuerza muscular del hombre. Se trataba de una revolución industrial alimentada totalmente por energía renovable. El agua y el viento movían los molinos siendo el inicio de las fábricas de la historia.

En un principio, la única función de los molinos era la molienda del grano, pero con el tiempo aparecieron muchas nuevas aplicaciones, tales como la obtención del papel o el aserrado de madera.

Los constructores de molinos medievales resolvieron el problema del viento variables mediante la colocación de la planta del conjunto sobre un eje central que se podía utilizar para encararlo al viento. Este fue el llamado “*molino de poste*”. Alrededor de la década de 1400, apareció un segundo tipo de molino de viento, en el que sólo la tapa y el eje de las velas se movían mientras que se mantenía estacionario el cuerpo de la planta. Este fue llamado “*molino de torre*”. Durante siglos, los molinos de viento se orientaban al viento con el trabajo manual de los molineros.

Durante la segunda mitad del siglo XVIII, se desarrollaron diversas técnicas complejas y eficaces que posibilitaron que un molino de viento tradicional funcionara con poca atención humana, al menos en lo que concierne a cambios de dirección e intensidad del viento.

En 1745, el herrero inglés Edmund Lee inventó el “*autorregulador de dirección o veleta*”, un dispositivo que orientaba automáticamente la posición de los molinos frente al viento. Consistía en una cola de milano y un engranaje. Una cola de milano se puede describir como un molino de viento auxiliar que se instala detrás de las aspas en un ángulo recto a ellas. Si la dirección del viento cambiaba, al llegar a la cola giraba el molino hasta que las velas principales se situaban de nuevo frente al viento.

La veleta no solo hizo que el manejo del molino fuera mucho más fácil, sino que también contribuyó a aumentar la potencia de salida ya que parte sustancial de la energía se podría debido a las pequeñas variaciones en la dirección del viento⁸.

En 1787 Thomas Mead trató de afrontar a la problemática que presentaban los molinos de viento harineros ingleses. Al ser molido el grano de trigo, la harina obtenida era de una calidad variable, y dependía concretamente de dos componentes: del distanciado entre dos piedras del moledero (volandera y solera) y de la velocidad de giro de la volandera.

El viento se basaba en un regulador que ejerciese presión entre las piedras del molino de forma proporcional a la velocidad de giro. Cuando el molino arranca, el regulador también se pone en marcha y a medida que el viento va aumentando de velocidad se inicia la elevación de las masas inerciales de forma progresiva por el efecto de la fuerza centrífuga. Cuando la velocidad del molino se estabiliza, el molinero ajusta la separación de las piedras en función del grano a moler y de la finura de la harina deseada.

Watt se asoció con el industrial de Birmingham Matthew Boulton para la fabricación a gran escala de máquinas de vapor. Como resultado de esta unión, se obtuvo la primera máquina de vapor con mecánica de rotación en 1786 en el Molino de Albion en Londres¹⁰. Contrataron para la supervisión de la fabricación al joven John Rennie que acababa de finalizar su aprendizaje con el constructor de molinos Andrew Meikle¹¹.

La estructura interna del molino fue diseñada y fabricada por el escocés Meikle, años más tarde pasó a dedicarse a introducir los reguladores centrífugos en los molinos de piedra². Debemos señalar, que el origen del regulador centrífugo se ha atribuido desde sus inicios a Meikle, siendo este el guía en el diseño e instalación en los molinos, pero se reconoce que Meikle se inspiró en los diseños de sus reguladores en el ingenio patentado por Mead en 1787¹².

John Rennie instaló un péndulo centrífugo en el Molino de Albion que detectaba la velocidad de este y presionaba hacia abajo las piedras para mantener constante el espaciado entre las ruedas y asegurar una molienda fina.

En 1788, Matthew Boulton se comunica con Watt tras visitar las instalaciones de Albion y observar los molinos operando con los reguladores centrífugos, inmediatamente James vio la posibilidad de aplicar el mismo principio para controlar la velocidad de las máquinas de vapor. Todo lo que tenían que hacer era aplicar la salida del péndulo a la presión de entrada de los pistones a través de la válvula de entrada. Así empezó a trabajar en el diseño del “Fly-ball” o también denominado, Regulador de Watt. Sin embargo, Watt nunca reclamó la invención del regulador centrífugo ya que era usado desde el siglo XVII para otros propósitos. En realidad, que él sea el inventor de este dispositivo forma parte de un malentendido.

Ultimó el diseño del “regulador de bolas voladoras” (péndulo cónico o centrífugo) para regular la velocidad de la máquina de vapor rotatoria.

Este dispositivo utilizaba dos esferas metálicas pivotadas que mediante la fuerza centrífuga se desplazaban hacia fuera. Al incrementarse la velocidad de rotación, las masas se separaban del eje central, accionando así, un mecanismo “sistema de varillas en paralelogramo” estrangulando la válvula del flujo de vapor. Esto provocaba una ralentización en la labor de la máquina. Se garantizaba, de esta forma una velocidad constante de giro².

Este invento resultó de enorme importancia en el histórico desarrollo de la Regulación Automática, ya que incorpora el actuador y el sensor en un único ingenio¹³.

El regulador centrífugo, rotando en la parte superior de cada máquina de vapor cautivó la curiosidad de aquellos que lo observaban. Debido a ello, éste fue el primer dispositivo de control por feedback o realimentación que obtuvo un popular conocimiento. Alcanzó la cima del mundo industrial y llegó a ser un símbolo de la revolución en Europa².

2.3 Problema de estabilidad

Como se ha comentado anteriormente, al principio debido al gran rozamiento entre sus elementos, los reguladores centrífugos de Watt tenían un comportamiento adecuado. Aun así, obtenían una acción de tipo proporcional y solo el control de la velocidad era correcto al someterlo a una determinada carga. Por ello, solo se podían manejar en un rango de velocidades muy reducido y era necesario el mantenimiento continuo. A mitad del siglo XIX varían los métodos de diseño de algunas máquinas, mejorando entonces, los procesos de fabricación. Fue así cuando comprobaron la existencia de una variación cíclica con el tiempo de la velocidad de las máquinas de vapor, también denominado *offset*. De hecho, se les denominaban modeladores y no reguladores¹⁴.

Una vez caducada la patente de Watt, este problema llamó la atención a numerosos científicos. Entre los años 1846 y 1853, Willians Siemens patentó unos reguladores conocidos como Governors, los cuales sustituyeron la acción proporcional por acción integral.

La cuestión se resolvió de la mano de Maxwell y Vischnegradsky, un ingeniero ruso, obtuvieron unos resultados que relacionaban la estabilidad con los parámetros de ingeniería del sistema. Su estudio demostró que las modificaciones del diseño que surgieron en la época de Watt disminuyeron el rozamiento entre sus elementos. Esto dio lugar a unas oscilaciones en la regulación de la velocidad. Así mismo, Vischnegradsky también justificó la imposibilidad de un regulador proporcional para provocar un adecuado comportamiento de un sistema de tercer orden¹⁴.

En el año 1868, Maxwell realiza su trabajo “On Governors” presentando su razonamiento en la estabilización de sistemas lineales invariantes e dinámicos, estableciendo una diferenciación entre reguladores con acción integral y proporcionales.

La contribución importante de Maxwell fue demostrar que el comportamiento de un sistema de control automático en la vecindad de una posición de equilibrio se podía aproximar por una ecuación diferencial lineal y por lo tanto la estabilidad se podía así discutir en términos de las raíces de la ecuación algebraica asociada¹⁵.

En la última etapa del siglo XIX se asientan las bases necesarias para el impulso de la Teoría de Control Automático, desarrollada durante el siglo XX.

2.4 Aplicaciones actuales

Actualmente, podemos seguir viendo aplicaciones del regulador centrífugo en elementos mecánicos como la bomba de inyección en línea diesel, que usan los motores de combustión interna alternativos.

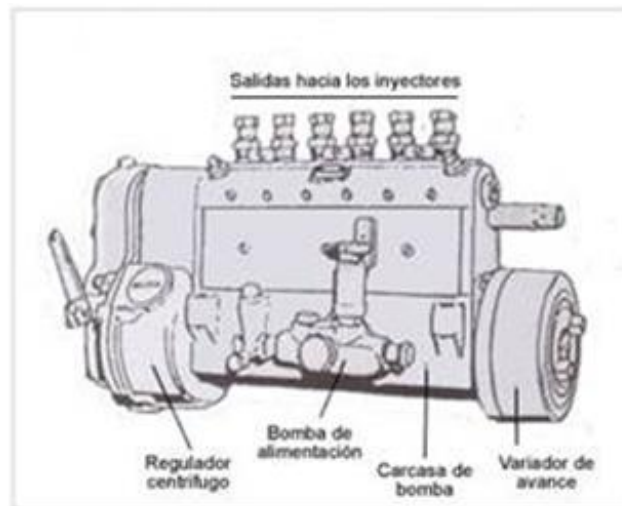


Figura 4. Bomba de inyección en línea¹⁷

Este elemento es el encargado de la alimentación de combustible de un motor Diesel. La bomba usa inyectores a través de los que introduce aire a una elevada presión dentro de la cámara de combustión, produciendo así la temperatura necesaria para que se provoque la inflamación del combustible. Este combustible tiene que ser introducido en la medida exacta para que la combustión sea perfecta y el motor funciona de un modo correcto.

En la última etapa de 1922, Robert Bosch, un técnico alemán, que implementó un sistema de inyección para motores Diesel. Su equipo y él dedicaron mucho esfuerzo a la fabricación y al diseño de este nuevo sistema de inyección. En los inicios de 1923

se habían fabricado 12 bombas de inyección distintas y pocos meses después se hicieron los principales ensayos en el motor.

En 1925 se ultimaron los detalles finales al proyecto definitivo. Dos años más tarde comenzaron a producirlas en serie y su comercialización.¹⁸

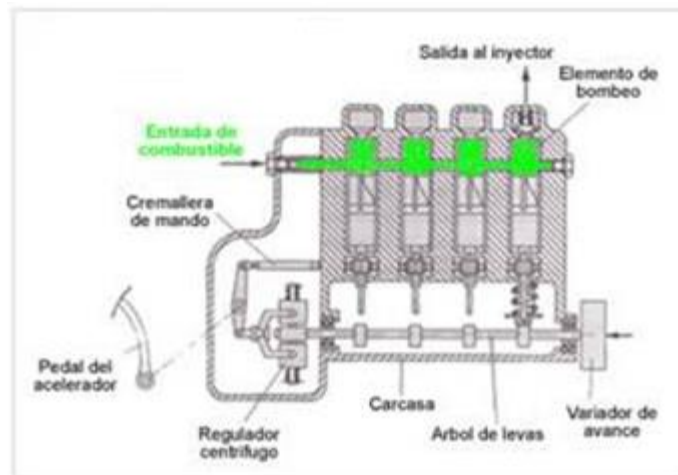


Figura 5. Componentes de la bomba inyectora¹⁹

Su funcionamiento consiste en dosificar y elevar la presión para la inyección del combustible, en el momento preciso.

El regulador, dentro de la bomba de inyección, contiene una palanca de ejecución acoplada al mecanismo del pedal del acelerador, siendo este el accionador para disminuir y aumentar la potencia o velocidad de giro del motor.²⁰

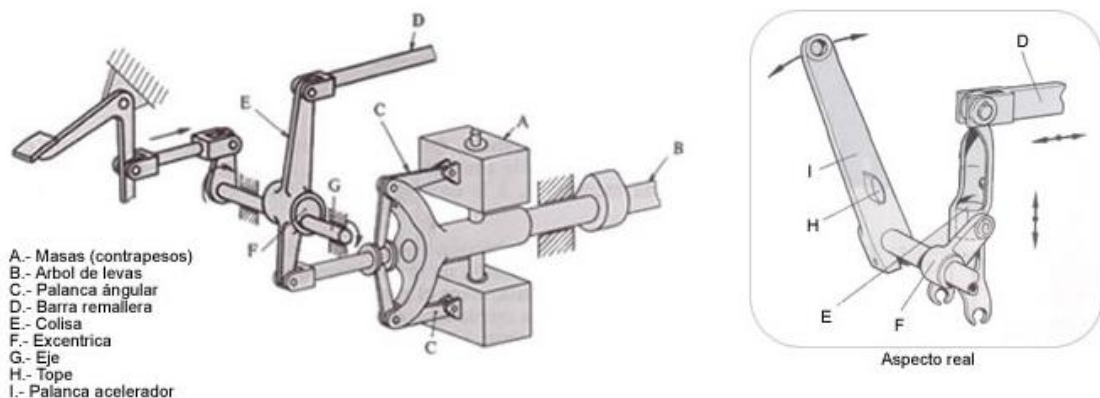


Figura 6. Esquema del regulador fuera de la carcasa¹⁷

Capítulo 3. Cálculos analíticos

En los orígenes del regulador de velocidad no existían los avances de los que disponemos actualmente. Las conclusiones a las que los estudiosos llegaban se estudiaban de forma empírica, mediante la realización de experimentos extraían resultados. No disponían de las herramientas numéricas necesarias para resolver lo que ocurría en sus estudios. Por ello, surge la idea de simular las ecuaciones que rigen este sistema, realizando el modelado del regulador de velocidad.

En este capítulo realizaremos un resumido estudio matemático del regulador de velocidad. Plantearemos el diagrama de bloques de nuestro sistema, y las ecuaciones por las que se rige nuestro sistema.

Partiremos del modelo aproximado a nuestro regulador, siendo este un modelo simplificado al realizado por Watt.

Los brazos tienen la misma longitud “ l ” y están fijados al eje por el soporte superior “ a ” y el pasador “ b ” de masa “ m_b ”. En los puntos que se unen los brazos, se encuentran fijadas dos masas, “ m_e ”.

En la estructura se puede observar un eje vertical, respecto a este el regulador rotará con una velocidad angular “ w ”. El ángulo formado por dicho el brazo se denomina “ θ ”. En resumen, el regulador podría ser considerado como un convertidor no lineal del movimiento de rotación en traslación.

Para la obtención de las ecuaciones de este modelo hemos elegido el método de Lagrange en lugar de otros métodos alternativos debido al desarrollo y a la sencillez de planteamiento. Una vez obtenida la energía cinética y potencial, podemos obtener el Lagrangiano, que posteriormente habrá que derivar.²¹

$$L = E_{cin} - E_p$$

$$E_{cin} = \frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot m_1 \left[l_1^2 \cdot \dot{\theta}^2 + l_1^2 \cdot w^2 (\sin \theta)^2 \right] +$$

$$+ \frac{1}{2} \cdot m_2 \left(l_1 \cdot \dot{\theta} \cdot \sin \theta \right)^2 \left(1 + \frac{l_1 \cos \theta}{l_2 \cos \alpha} \right)^2$$

$$E_p = -m_1 \cdot g \cdot h = -2 \cdot m_1 \cdot g \cdot l_1 \cdot \cos \theta - m_2 \cdot g (l_1 \cdot \cos \theta + l_2 \cdot \cos \alpha)$$

$$L = m_1 \cdot l_1^2 \left[\dot{\theta}^2 + w^2 (\sin \theta)^2 \right] + \frac{1}{2} \cdot m_2 (l_1 \cdot \dot{\theta} \cdot \sin \theta)^2 \left(1 + \frac{l_1 \cos \theta}{l_2 \cos \alpha} \right)^2 + 2 \cdot m_1 \cdot g \cdot l_1 \cdot \cos \theta + m_2 \cdot g (l_1 \cdot \cos \theta + l_2 \cdot \cos \alpha)$$

Si despejamos de nuestra ecuación α dejando como única variable del ángulo θ

$$R = l_1 \cdot \sin \theta = l_2 \cdot \sin \alpha$$

$$\sin \alpha = \frac{l_1}{l_2} \sin \theta$$

Sabemos que:

$$(\cos \alpha)^2 + (\sin \alpha)^2 = 1$$

$$(\cos \alpha)^2 = 1 - (\sin \alpha)^2 = 1 - \frac{l_1^2}{l_2^2} (\sin \theta)^2$$

$$\cos \alpha = \sqrt{1 - \frac{l_1^2}{l_2^2} (\sin \theta)^2}$$

Sustituyendo en la ecuación:

$$L = m_1 \cdot l_1^2 \left[\dot{\theta}^2 + w^2 (\sin \theta)^2 \right] + \frac{1}{2} \cdot m_2 (l_1 \cdot \dot{\theta} \cdot \sin \theta)^2 \left(1 + \frac{l_1 \cos \theta}{l_2 \sqrt{1 - \frac{l_1^2}{l_2^2} (\sin \theta)^2}} \right)^2 + 2 \cdot m_1 \cdot g \cdot l_1 \cdot \cos \theta + m_2 \cdot g \left(l_1 \cdot \cos \theta + l_2 \sqrt{1 - \frac{l_1^2}{l_2^2} (\sin \theta)^2} \right)$$

Expresión de Lagrange:

$$\frac{\partial L}{\partial \theta} = \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}} \right)$$

Para la obtención del Lagrangiano, tendremos en cuenta las dimensiones finales de nuestra maqueta, donde se cumple que:

$$l_1 = l_2 = l$$

De esta forma, además de ajustar las ecuaciones a nuestro modelo final del regulador, reducimos la ecuación a:

$$L = m_1 \cdot l^2 \left[\dot{\theta}^2 + w^2 (\sin \theta)^2 \right] + 2 \cdot m_2 (l \cdot \dot{\theta} \cdot \sin \theta)^2 + \\ + 2 \cdot m_1 \cdot g \cdot l \cdot \cos \theta + 2 \cdot m_2 \cdot g \cdot l \cdot \cos \theta$$

Si aplicamos Lagrange, tenemos que:

$$\frac{\partial L}{\partial \theta} = 2 \cdot m_1 \cdot l^2 \cdot w^2 \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta + 4 \cdot m_2 \cdot l^2 \cdot \dot{\theta}^2 \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta + \\ - 2 \cdot m_1 \cdot g \cdot l \cdot \sin \theta - 2 \cdot m_2 \cdot g \cdot l \cdot \sin \theta$$

$$\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}} = 2 \cdot m_1 \cdot l^2 \cdot \dot{\theta} + 4 \cdot m_2 \cdot l^2 \cdot \dot{\theta} \cdot (\sin \theta)^2$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}} \right) = 2 \cdot m_1 \cdot l^2 \cdot \ddot{\theta} + 4 \cdot m_2 \cdot l^2 \cdot \ddot{\theta} \cdot (\sin \theta)^2 + 8 \cdot m_2 \cdot l^2 \cdot (\dot{\theta})^2 \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta$$

La ecuación que resulta de sustituir todos sus términos es:

$$2 \cdot l^2 \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta (m_1 \cdot w^2 - 2 \cdot m_2 \cdot \dot{\theta}^2) - 2 \cdot m_1 \cdot g \cdot l \cdot \sin \theta + \\ - 2 \cdot m_2 \cdot g \cdot l \cdot \sin \theta = 2 \cdot \ddot{\theta} \cdot l^2 (m_1 + 2 \cdot m_2 (\sin \theta)^2)$$

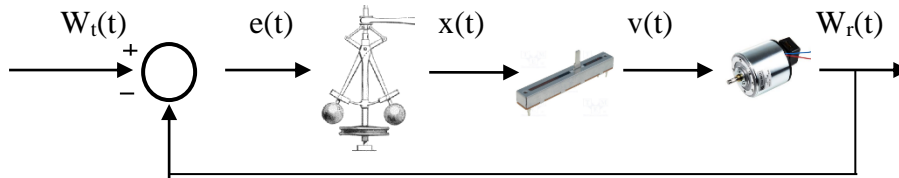
Despejando, obtenemos el modelo sin rozamiento dónde la aceleración angular viene dada por la siguiente ecuación:

$$\ddot{\theta} = \frac{\sin \theta \left[\cos \theta (m_1 \cdot w^2 - 2 \cdot m_2 \dot{\theta}^2) - \frac{g}{l} (m_1 + m_2) \right]}{m_1 + 2 \cdot m_2 (\sin \theta)^2}$$

Dónde:

- θ es el ángulo que forma el eje central con el brazo del regulador.
- $\ddot{\theta}$ es la aceleración angular.
- m_1 es la masa de cada una de las bolas.
- m_2 es la masa del pasador.
- W representa la velocidad de rotación del regulador.
- g es la aceleración de la gravedad.
- l es la longitud de los brazos.

Además de lo anterior, planteamos el diagrama de bloques que engloba a nuestro sistema:



Dónde:

- $W_t(t)$: Velocidad teórica del motor
- $e(t)$: error
- $x(t)$: Altura del potenciómetro
- $v(t)$: Tensión que llega al motor
- $W_r(t)$: Velocidad real del motor

Capítulo 4. Marco técnico

En este apartado, detallaremos las herramientas usadas para el diseño, fabricación y montaje del regulador de velocidad.

Con ello, pretendemos que la comprensión de los capítulos posteriores sea más sencilla para el usuario de este proyecto, sin importar el grado de conocimiento.

Las herramientas usadas son:

- Software de diseño 3D
- Impresión 3D
- Material de impresión 3D
- Corte por láser
- Material de construcción
- Componentes electrónicos
- Herramientas necesarias para el capítulo de fabricación

4.1 Software de diseño 3D

Para este apartado, nos hemos decantado por el uso del programa Solidworks 3D. Este software presenta una forma de trabajar muy intuitiva y es usado tanto por universitarios como por empresas.

A continuación, explicaremos de forma breve en qué consiste este programa:



Figura 7. Logo del software 3D

4.1.1 ¿Qué es y para qué sirve?

Solidworks es un software de diseño CAD 3D (diseño asistido por computadora) que es usado para modelar ensamblajes y piezas en 3D y planos en 2D. Ofreciéndonos un amplio abanico de soluciones para cualquiera de los aspectos implicados en el proceso de obtención del producto. Sus resultados ofrecen la posibilidad de diseñar, crear, fabricar, simular, gestionar y publicar los datos del proyecto de diseño.



Figura 8. Software de diseño

4.1.2 Solidworks en el proceso del perfeccionamiento de un producto

La ocupación de Solidworks en el proceso del perfeccionamiento del producto es muy concreta. Las soluciones favorecen la aceleración del proceso ahorrándonos dinero y tiempo. Dando paso a la invención de productos.

En la mayoría de las empresas, la cadena de valor es un proceso secuencial en el que necesitan terminar las fases anteriores para iniciar las nuevas, los resultados de Solidworks permiten llevar el proceso en paralelo, con el fin de ganar tiempo y poder tomar mejores decisiones empresariales creando mejores diseños.²²

4.1.3 Soluciones que ofrece Solidworks

Solidworks nos ofrece soluciones instintivas para cada fase de diseño. Contando con un completo conjunto de opciones que le secundan a ser más productivo y eficaz en la obtención de sus productos en todos sus pasos.

La solución de Solidworks contiene cinco líneas de herramientas diferentes:

- Herramientas de diseño para diseñar ensamblajes y modelos.
- Herramientas de diseño para la fabricación mecánica, que automatiza documentos de inspección y genera documentación sin planos 2D.
- Herramientas de simulación para la evaluación del diseño y la certeza de que es el mejor posible.
- Herramientas que evalúan la influencia sobre el medioambiente del diseño durante su ciclo de vida.
- Herramientas que reutilizan los datos en 3D para la simplificación del modo en que las empresas crean, usan y conservan los contenidos para la comunicación técnica.²³

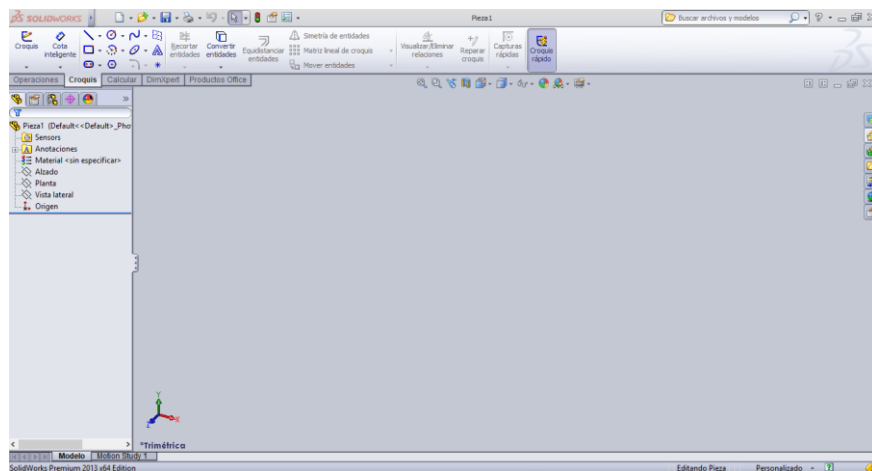


Figura 9. Software de diseño 1

En resumen, este programa nos ha permitido diseñar cada una de las piezas que forman el regulador de velocidad, partiendo de una base reducida, hasta llegar al modelo finalmente fabricado. Aportando problemas y soluciones, a la hora de su montaje y funcionamiento.

4.2 Impresión 3D

Se trata de una tecnología innovadora que nos permite crear objetos materiales partiendo de un modelo digital. Al inicio, en los años 80, se conocían bajo el nombre de “prototipado rápido”. Recibiendo esa denominación debido a que era el propósito de la tecnología: la realización de prototipos de forma económica y rápida. En la actualidad, esta tecnología está al alcance de todo el mundo.

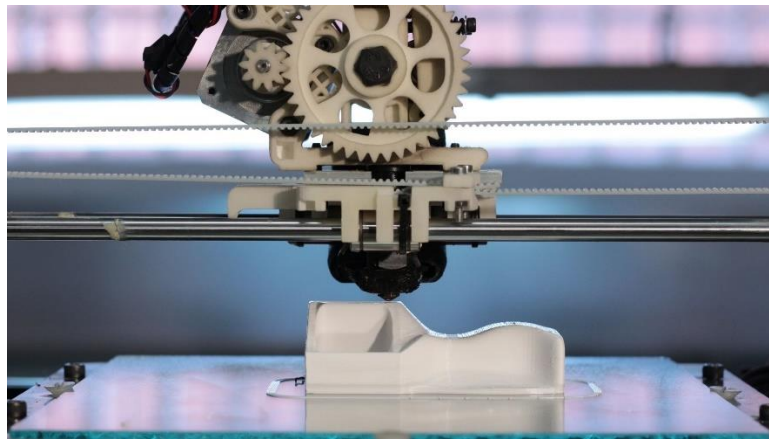


Figura 10. Impresora 3D

4.2.1 ¿Cómo funciona?

La impresora 3D también es conocida como manufactura aditiva, ya que a diferencia de los substractivos tradicionales de la manufactura, la impresión 3D no remueve material, lo adiciona, capa por capa.

Para poder imprimir algo, debemos partir de un modelo 3D del objeto que deseamos obtener, el cual puede ser diseñado con un software de diseño 3D, o usar un scanner 3D para escanear el objeto a imprimir.

Aunque existen diversas tecnologías para este tipo de impresión, nosotros nos centraremos en la que se ha usado en este proyecto, la técnica FDM (Fused Deposition Modeling, o en español, Modelo por Deposición Fundida).

Partimos de un sistema que tiene la capacidad de moverse en las 3 dimensiones del espacio (X, Y, Z). Para imprimir los objetos, se utiliza un material termoplástico, del que hablaremos más adelante. Se usan filamentos de este material para la alimentación de la impresora por su boquilla. Este filamento se disuelve en la cabeza lo cual filtra el plástico líquido en la placa capa por capa.

Los tres factores que debemos tener en cuenta para imprimir cualquier pieza son:

- Velocidad en la que se deposita el material
- Temperatura del cabezal
- Temperatura de la cama²⁴

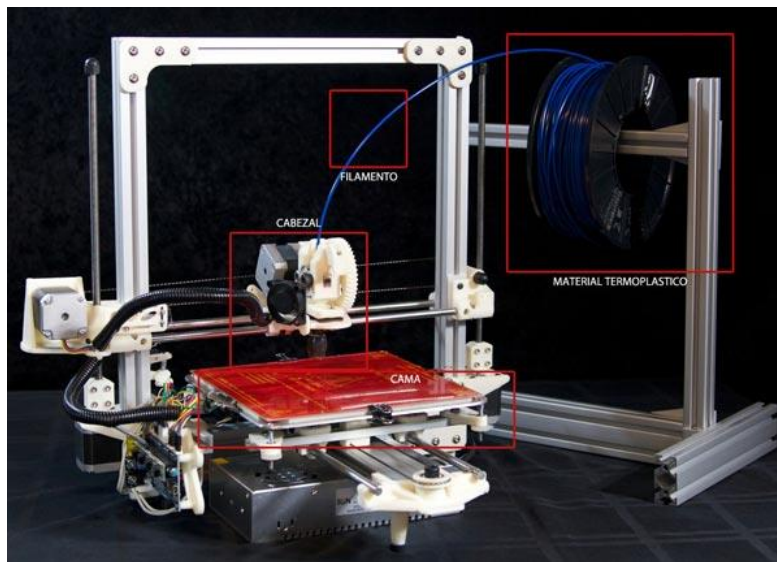


Figura 11. Componentes impresoras 3D

4.3 Material de impresión 3D

En este apartado, expondremos los materiales más usados en el área de la impresión 3D y los motivos por los que hemos seleccionado uno de ellos.

Si nos referimos a impresión 3D más comunes, los dos tipos de materiales más comunes son el PLA y el ABS. Estos son termoplásticos, por lo que se vuelven maleables al aplicarles calor, de este modo nos permite crear la forma deseada.

4.3.1 PLA y ABS

El ácido poliláctico (PLA) es un termoplástico biodegradable, fabricado a partir de materiales renovables como la caña de azúcar o el almidón de maíz. Además de usarse en la impresión 3D, lo podemos encontrar sobre todo en vajillas desechables, envases de alimentos e implantes médicos.

El ácido butadieno estireno (ABS) es un termoplástico obtenido del petróleo, que podemos encontrar comúnmente en sistemas de tuberías (DWV), en cascos, en revestimientos de automóviles y en juguetes como Lego. Los objetos impresos con material ABS tienen una flexibilidad, resistencia y durabilidad ligeramente más elevadas que los objetos obtenidos con material PLA, pero el proceso de impresión resulta un poco más complicado.

A modo de resumen, recogemos las propiedades más relevantes de ambos materiales, para su estudio y comparación a la hora de la selección.²⁵

Tabla 1. Comparativa entre PLA y ABS.

	PLA	ABS
Temperatura de impresión	180-230 °C	210-250°C
Temperatura de cama caliente	20-60°C	80-110°C
Cama caliente	Opcional	Obligatorio
Dureza	Aceptable	Por encima del promedio
Problemas de extrusión	En ocasiones	Nunca
Adhesión de la primera capa	Problemas menores	Problemas menores
Gases nocivos	Poco o nada	Malo e intenso
Resistencia al impacto	No	Sí
Resistencia al calor	No	Sí
Biodegradable	Sí	No

Además de estas propiedades, también se tuvo en cuenta el precio del producto. Por lo general, el coste medio del ABS es más elevado que el PLA, aunque no hay gran diferencia.

4.3.2 Selección del material

Para llevar a cabo la selección, hemos tenido en cuenta diversos requisitos:

- **Uso:** se trata de una maqueta, por lo tanto, no va a ser usado de forma constante.
- **Propiedades mecánicas:** no va a ser sometido a cargas elevadas.
- **Coste:** el menor posible, sin poner en riesgo la integridad de la maqueta.

Por estos motivos, entendemos que el material seleccionado debe ser PLA, ya que el material ABS posee propiedades mayores, de las que nuestra maqueta necesita. En cualquier caso, la elección de ambos materiales hubiera sido correcta.

4.4 Corte por láser

Se trata de un proceso de corte térmico basado en la vaporización o fusión altamente localizada que viene producida por un haz de luz coherente de alta energía, en general con la ayuda de un gas de asistencia. Este gas de asistencia desaloja el material fundido de la zona de contacto con el láser. La principal característica del corte por láser es su productividad, obteniendo cortes de alta calidad a elevadas velocidades. Es aplicable tanto en los materiales metálicos como en los no metálicos.



Figura 12. Corte por láser

Los tipos de láser más usados dentro del entorno industrial son el láser de estado sólido y el láser de CO₂. Un láser de CO₂ usa un medio gaseoso para la producción del haz láser, mientras que en un láser de estado sólido el haz se obtiene de un medio cristalino dopado.

4.4.1 Características del corte por láser

- Supera con creces a otros sistemas en cuanto a velocidad, rendimiento y productividad.
- Puede utilizarse de forma sencilla y rápida.
- Se puede realizar el mecanizado de piezas de cualquier tipo. Independientemente de su dureza o resistencia, por ejemplo: aleaciones o materiales tanto blandos como duros.
- Los cortes son limpios, no se producen rebabas.



Figura 13. Ejemplos de piezas realizadas por la empresa

Decidimos usar este método de fabricación debido a la facilidad para realizar siluetas y geometrías complejas, por la calidad del acabado y su coste.

Gracias a esta técnica, conseguiremos que las piezas queden perfectamente alineadas y con las dimensiones deseadas. Además, aporta cierta rigidez a la maqueta, que nos permitirá eliminar las vibraciones e inercias que puedan producirse al ponerse en funcionamiento el regulador.

4.5 Material de construcción

Para asegurar la integridad de la estructura se ha recurrido a los materiales producidos en serie. Además de proporcionar sencillez de fabricación, nos provoca un abaratamiento del coste final de la maqueta en su conjunto.

Estos materiales se han obtenido todos de la tienda de bricolaje *Leroy Merlin*. Ha sido necesario realizar diversos trabajos sobre ellos, para obtener como resultado las dimensiones de nuestro diseño.

4.5.1 Eje central

Tabla 2. Material para eje central


	<i>Tipo</i>	Tubo
	<i>Material</i>	Aluminio
	<i>Forma</i>	Redondo
	<i>Diámetro</i>	8 mm
	<i>Longitud</i>	1 m
	<i>Color</i>	Gris plata
	<i>Espesor</i>	1 mm

Figura 14. Material para eje central

4.5.2 Varillas

Tabla 3. Material para varillas

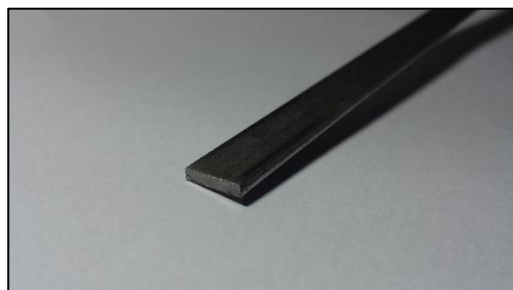


Figura 15. Material para los brazos

<i>Tipo</i>	Perfil
<i>Material</i>	Aluminio
<i>Forma</i>	Plano
<i>Medidas</i>	10mm x 2mm x 2mm
<i>Longitud</i>	1m
<i>Color</i>	Gris plata
<i>Espesor</i>	2mm

4.5.3 Guía para el selector

Tabla 4. Guía para selector



Figura 16. Guía para el selector

<i>Tipo</i>	Tubo
<i>Material</i>	Fibra de vidrio
<i>Forma</i>	Redonda
<i>Medidas</i>	6 mm
<i>Longitud</i>	1 m
<i>Color</i>	Blanco

4.5.4 Portador del selector

Tabla 5. Portador del selector


	<i>Tipo</i>	Tubo
	<i>Material</i>	PVC
	<i>Forma</i>	Redonda
	<i>Medidas</i>	8 x1 mm
	<i>Longitud</i>	1 m
	<i>Color</i>	Blanco

Figura 17. Portador del selector

4.5.5 Tornillería

Tabla 6. Tornillería utilizada

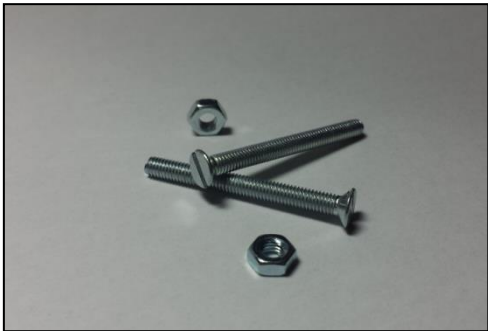
	<i>Longitud</i>	20mm – 25mm
	<i>Diámetro</i>	3mm – 4mm – 6mm
	<i>Forma cabeza</i>	Avellanada
	<i>Tipo hendidura</i>	Hendida
	<i>Material de destino</i>	Madera y metal
	<i>Material del producto</i>	Acero inoxidable

Figura 18. Tornillería

4.5.6 Niveladores

Tabla 7. Niveladores



Figura 19. Niveladores

<i>Material</i>	Sintético
<i>Uso</i>	Muebles
<i>Alto</i>	30 mm
<i>Forma</i>	Redondo
<i>Fondo</i>	30 mm
<i>Color</i>	Negro

4.5.7 Escuadra de ángulo

Tabla 8. Escuadra de ángulo

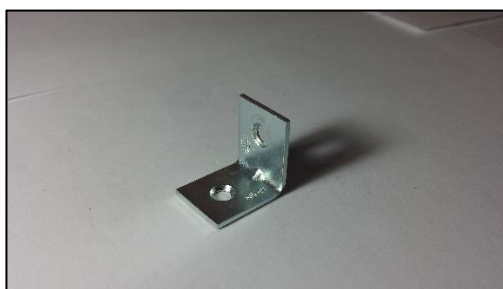


Figura 20. Escuadra en ángulo

<i>Material</i>	Acero
<i>Color</i>	Inoxidable
<i>Acabado</i>	Brillo
<i>Fondo</i>	20 mm
<i>Alto</i>	20 mm
<i>Ancho</i>	16 mm
<i>Orificios</i>	3 mm

4.6 Componentes electrónicos

En esta sección describiremos los componentes electrónicos usados en nuestro regulador de velocidad: un servomotor, un potenciómetro deslizante y una fuente de tensión variable.

Estos tres dispositivos, son los encargados de generar el movimiento de la maqueta A través de la corriente que aporta la fuente de tensión al motor, esta estará regulada por el potenciómetro, que en función de la altura dejará pasar más corriente al motor y este hará que la maqueta gire cada vez más rápido. El movimiento se producirá hasta el máximo que hayamos establecido, para evitar un posible fallo en la estructura del regulador.

A continuación, explicaremos en detalle cada componente para facilitar su comprensión.

4.6.1 Servomotor

4.6.1.1 ¿Qué es?

Es un dispositivo electromecánico constituido por un motor eléctrico, un conjunto de engranajes y un circuito de control, todo dentro de una carcasa. Un servomotor posee la capacidad de controlar su posición angular, es decir, puede hallarse en cualquier posición en un rango de operación normalmente de 180° pero puede verse alterada hasta alcanzar un giro libre de 360°. Podemos encontrar aplicaciones en robótica, modelismo y automática (dispositivos de radiocontrol), debido a su alta precisión en el posicionamiento.

4.6.1.2 ¿Funcionamiento?

Los servos actúan a través de la modulación de ancho de pulso (PWM). Todos ellos tienen tres cables, dos para alimentación y el otro aplica el tren de pulsos de control. Haciendo que el circuito de control diferencial interno mueva el servomotor hacia la ubicación deseada.

La frecuencia utilizada para enviar la secuencia de pulsos al servo es de 50 Hz, esto se traduce en que cada ciclo tiene una duración de 20 ms. La durabilidad de cada pulso puede interpretarse con señales de posicionamiento del motor, sin embargo, los espacios entre cada pulso son desestimados.

4.6.1.3 Partes del servomotor

Constan principalmente de cuatro elementos:

- Motor de corriente continua: Es el encargado de proporcionar movilidad al servomotor. Al aplicar un potencial entre sus dos terminales, provoca un giro del motor en un sentido hasta alcanzar su máxima velocidad. Si se invierte el sentido de la corriente entre sus dos terminales se invierte, la dirección de giro lo hará también.
- Engranajes reductores: Conjunto de engranajes encargado de la reducción de la velocidad de giro del motor para acrecentar su capacidad de par motor.
- Sensor de desplazamiento: Potenciómetro ubicado en el eje de salida del servomotor que se usa para obtener la situación angular del motor.
- Circuito de control: Placa electrónica que efectúa un control de la situación por realimentación. Este circuito coteja la señal de la posición actual obtenida por el potenciómetro con la señal de entrada deseada (posición de referencia). La diferencia entre la situación deseada y la actual, es amplificada y usada para desplazar el motor reduciendo así el error entre ambas posiciones.

4.6.1.4 Tipos de servos

Hay dos tipos, digitales y analógicos. Estos son similares a un nivel de usuario debido a que están constituidos por las mismas partes y se controlan con las mismas señales. Existe una gran diferencia entre ellos, la utilización de un microprocesador en el circuito de control de los servomotores digitales. Éste es el encargado de procesar la

señal de entrada y de controlar el motor a través de pulsos con una frecuencia 10 veces mayor a los servomotores analógicos.

4.6.1.5 Clasificación según el tipo de movimiento

Se fabrican dos tipos: motores rotativos y motores lineales.²⁶

4.6.1.6 Servomotor seleccionado

A continuación, presentaremos el servomotor que se ha usado en la maqueta:

Tabla 9. Características del servomotor



Figura 21. Servomotor seleccionado

<i>Tensión nominal</i>	24V d.c.
<i>Velocidad sin carga</i>	2.200 rpm
<i>Velocidad nominal</i>	1.600 rpm
<i>Par nominal</i>	9 Ncm
<i>Par de pico</i>	27 Ncm
<i>Dimensiones</i>	66 (diám.) x 88 mm
<i>Diámetro eje</i>	6 mm

4.6.2 Potenciómetro deslizando

4.6.2.1 ¿Qué es?

Es necesario partir de la definición de resistencia: “es un elemento físico que disipa energía en forma de calor y su función es limitar (dificultar) el paso de la corriente eléctrica (CE), provocando una caída de tensión en ellos”.

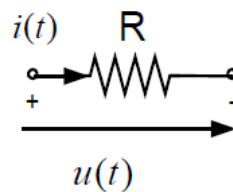


Figura 22. Representación de una resistencia en un circuito eléctrico

Un potenciómetro, no es más que una resistencia variable. La diferencia con una resistencia simple es la capacidad de variar el valor de la corriente eléctrica (intensidad) y la tensión, variando el valor de la resistivo expresado en ohmios (símbolo Ω). En cambio, en una resistencia simple este valor sería siempre el mismo.

El valor de un potenciómetro varía desde cero, siendo en este caso su oposición nula y permitiendo que el circuito eléctrico funcione igual que si no estuviese conectado. Hasta la resistencia máxima que pueda aplicar, en función de sus especificaciones técnicas. Como ejemplo, un potenciómetro de $10\text{ k}\Omega$, posee una resistencia variable con valores entre 0 y $10.000\ \Omega$.

4.6.1.7 Funcionamiento

El ejemplo más sencillo es una resistencia variable mecánicamente. Los reóstatos fueron los primeros potenciómetros.

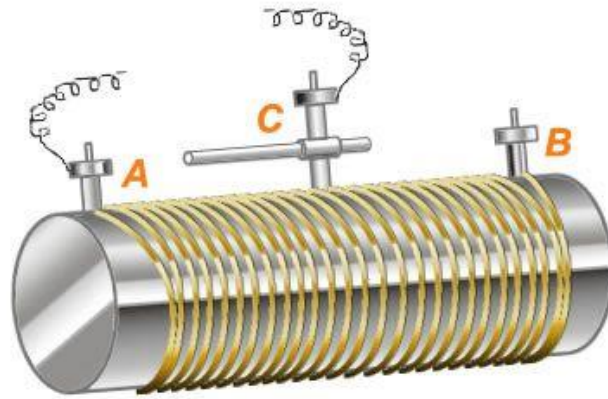


Figura 23. Reóstato

Si nos fijamos en la figura, la resistencia es el hilo conductor enrollado. Tenemos 3 terminales A, B y C. Si conectásemos los terminales A y B al circuito sería una resistencia fija, de modo que su valor coincidiría con el máximo. Ahora bien, si conectamos los terminales A y C el valor de la resistencia dependería de la posición donde estuviera el terminal C, que se puede mover hacia ambos lados. De este modo tendríamos nuestra resistencia variable. Este potenciómetro es variable mecánicamente, ya que para que varíe la resistencia lo hacemos manualmente, moviendo el terminal C.

4.6.2.3 Tipos de potenciómetros

- Potenciómetro de mando

Es apropiado para usarlo como dispositivo de control de la tensión en los aparatos electrónicos. Para producir la variación de los parámetros normales, es el usuario quien acciona sobre ellos.

Dentro de los mandos podemos encontrar: giratorios y deslizantes



potenciómetro giratorio



Figura 17. Potenciómetro deslizante

En el caso de los giratorios, son controlados girando su eje. Suelen ser muy utilizados ya que tienen un espacio reducido y son una larga duración. Por otro lado, los

deslizantes usan el desplazamiento del cursor en forma lineal, son usados sobre todo en ecualizadores gráficos.

- Potenciómetros de ajuste

Se usan para controlar la tensión mediante un ajuste. No es necesario variar su resistencia durante el funcionamiento, si no de forma previa, debido a esto el usuario no tiene la necesidad de acceder a él, desde el exterior.



Figura 24. Potenciómetro de ajuste

En base a la Ley de variación de la resistencia, también se pueden clasificar en función de su comportamiento, donde podemos distinguir tres tipos:

- Variación línea: donde el ángulo de giro es directamente proporcional a la resistencia.
- Logarítmicos: la resistencia depende logarítmicamente del ángulo de giro. Posee un comportamiento asimétrico en la variación de su eje. Al principio se refleja un leve aumento de la resistencia, hasta alcanzar un punto en el que el incremento será mayor. Suelen ser utilizados en el control de volumen de dispositivos de audio.
- Senoidales: la resistencia varía de forma proporcional al seno del ángulo de giro. Dos potenciómetros senoidales girados 90° y solidarios determinan el coseno y el seno del ángulo de giro.

Existen también los potenciómetros digitales. Simulan el funcionamiento de los potenciómetros mecánicos y evitan algunos de los posibles problemas, por lo que suelen ser reemplazados por estos últimos.²⁷

4.6.2.4 Ejemplos

Algunos de los usos más comunes del potenciómetro son: Audio, iluminación, sensores y en medios digitales.

4.6.2.5 Potenciómetro seleccionado

A continuación, presentamos el potenciómetro que se ha usado en la maqueta:

Tabla 10. Características del potenciómetro



Figura 25. Potenciómetro seleccionado

<i>Tipo</i>	Deslizante
<i>Resistencia máxima</i>	10k Ω
<i>Potencia nominal</i>	0.125W
<i>Dimensiones</i>	60 x 9 x 5.5 mm
<i>Tolerancia</i>	$\pm 20\%$
<i>Material de elemento</i>	Carbón
<i>Actuador</i>	Palanca

4.6.3 Fuente de tensión variable

4.6.3.1 ¿Qué es?

Es un dispositivo utilizado para alimentar el circuito eléctrico deseado, ya sea un televisor, un ordenador, etc.

Los elementos que aportan energía a un circuito reciben el nombre de elementos activos, generadores o fuentes.

Una fuente de tensión ideal es la que nos suministra una tensión constante independiente del valor de la intensidad que suministra.

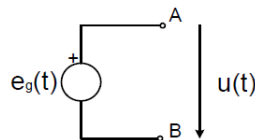


Figura 26. Fuente de tensión ideal

Sin embargo, en la realidad, la fuente de tensión tiene una resistencia interna que se puede considerar asociada en serie con la propia fuente, constituyendo lo que llamamos fuente de tensión real.

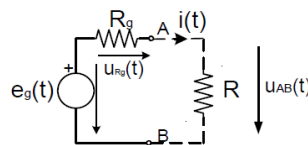


Figura 27. Fuente de tensión real

Existen diferentes tipos de fuentes de alimentación ya sea fijas o variables, o también pueden clasificarse por su tipo de funcionamiento, lineales o conmutadas.

4.6.3.2 Fuentes de alimentación lineales

Este tipo de fuentes tienen la característica de ser simples ya que principalmente cuentan con cuatro componentes esenciales.

- Transformador: es el encargado de modificar el voltaje de entrada a un voltaje con mayor o menor amplitud en su salida, dependiendo el tipo de fuente a

utilizar. Estos dispositivos solo pueden trabajar con voltaje alterno y es uno de los elementos principales dentro de una fuente de alimentación.

- Rectificador: está construido por un puente de diodos, el cual recibe el voltaje del transformador y se encarga de convertirlo en voltaje de corriente directa.
- Filtro: se encarga de disminuir la variación de voltaje, a través de capacitores. Con este filtrado se genera un fenómeno llamado efecto rizo.
- Regulador: es quien recibe la señal proveniente del filtro para que en la salida se obtenga un voltaje continuo sin importar las variaciones de voltaje dependiendo del regulador es el voltaje de salida.²⁸

4.7 Herramientas utilizadas

4.7.1 *Taladro percutor*



Figura 28. Taladro percutor

4.7.2 *Soporte taladro percutor*



Figura 29. Soporte taladro percutor

4.7.3 *Mini amoladora eléctrica*



Figura 30. Mini amoladora eléctrica

4.7.4 *Sierra de mano y guía para ingletes*

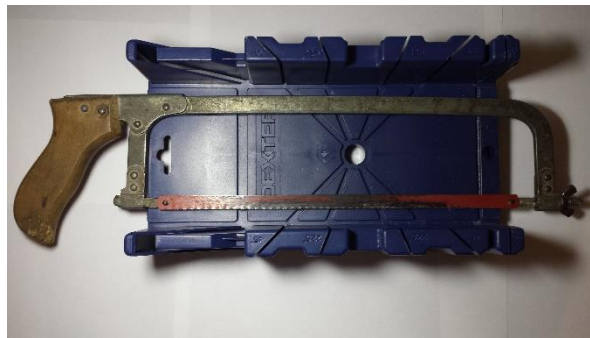


Figura 31. Sierra de mano y guía para ingletes

4.7.5 *Lima y papel de lija*



Figura 32. Lima y papel de lija

4.7.6 *Báscula*



Figura 33. Báscula

4.7.7 *Tornillo de banco con palomilla*



Figura 34. Tornillo de banco con palomilla

4.7.8 *Juego de machos y cojinetes*



Figura 35. Juego de machos y cojinetes

Capítulo 5. Diseño

5 Concepto Inicial

En primer lugar, comenzaremos a describir el diseño del regulador de velocidad y continuaremos desarrollando la base que sostiene el sistema de regulación.

Para el diseño del regulador debemos prestar atención a nuestros requisitos de fabricación:

- Tamaño y peso reducido
- Capacidad de mantener una velocidad estable
- Fácil de fabricar

Atendiendo a esto, se plantea diseñar un regulador con cuatro brazos articulados en sus puntos de unión, de modo que permita la elevación del pasador y de las esferas. Las piezas del regulador estarán unidas mediante tornillos.

El motor eléctrico se montará en el interior de la base, y ésta tendrá aperturas para facilitar la conexión a la fuente de tensión variable. Además, la base deberá permitir al usuario un fácil acceso a todos sus componentes y conexiones internas, contando con una tapa superior y otra lateral.

La altura del regulador deberá estar relacionada con la resistencia del potenciómetro.

5.1 Criterios de diseño.

Tenemos varias especificaciones desde las que, unidas al concepto inicial, partiremos para diseñar nuestro Regulador de Velocidad:

- El regulador debe funcionar correctamente, gracias al motor de energía eléctrica.
- La velocidad de giro del motor será seleccionada por el potenciómetro.
- La resistencia proporcionada por el potenciómetro estará relacionada con la elevación del regulador.
- El regulador constará de un eje central que transmita el movimiento rotatorio al resto de componentes que lo forman.
- Las esferas deben tener el peso suficiente para alejarse del eje central, que las hace girar, mediante la fuerza centrífuga.
- Una de las uniones de las esferas al eje central, no estará anclada al eje, para permitir la elevación del regulador.
- Estos elementos se montarán sobre una base sólida, que no emita vibraciones.
- Las piezas para la construcción serán compradas en la misma tienda y teniendo en cuenta sus propiedades.
- Facilidad de fabricación y montaje.
- Coste relativamente bajo.
- Materiales de fácil acceso para cualquier persona.

5.2 Diseño de detalle.

El regulador de velocidad que vamos a diseñar estará fabricado principalmente en aluminio y en PLA. Por otro lado, la base está compuesta solo por acero, ya que las propiedades del material nos proporcionan mayor resistencia y dureza a la estructura.

A medida que avanzábamos en el diseño, nos encontramos con un problema para relacionar el movimiento giratorio y ascendente del regulador, con el movimiento lineal del potenciómetro. Este problema se resolvió con las piezas denominadas: “soporte inferior” y “selector”.

A continuación, expondremos los elementos que hemos diseñado para nuestro modelo.

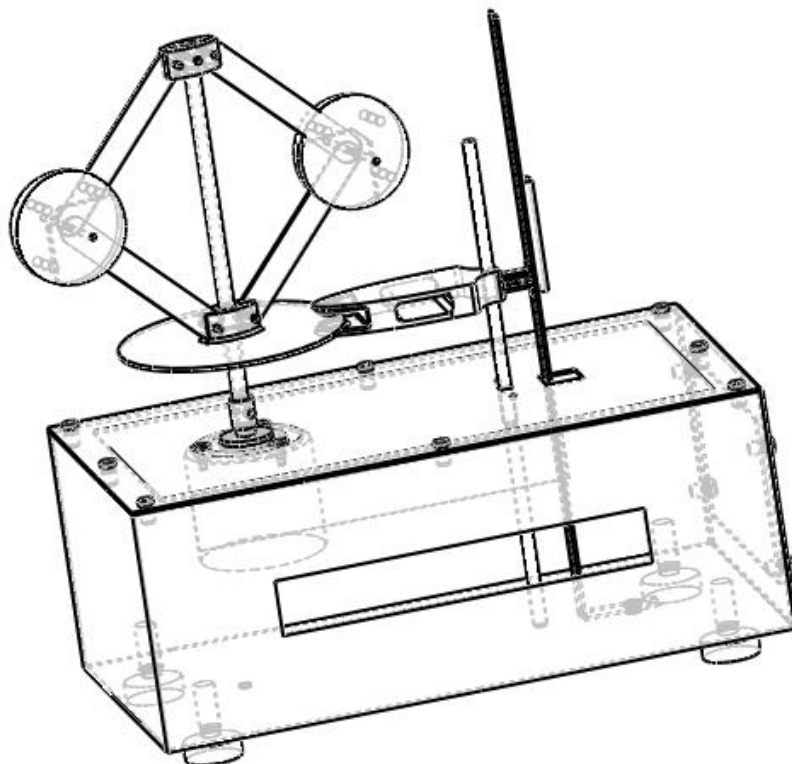


Figura 36. Conjunto del Regulador de Velocidad

5.2.1 Regulador de velocidad

En este apartado se presentarán todos los elementos móviles y estáticos que forman el regulador. Estas piezas han sido diseñadas para su uso como herramienta práctica en la docencia.

Nos centraremos en describir las piezas que forman el regulador de velocidad, especificando el número de piezas a fabricar de cada parte, el material seleccionado y las medidas de diseño.

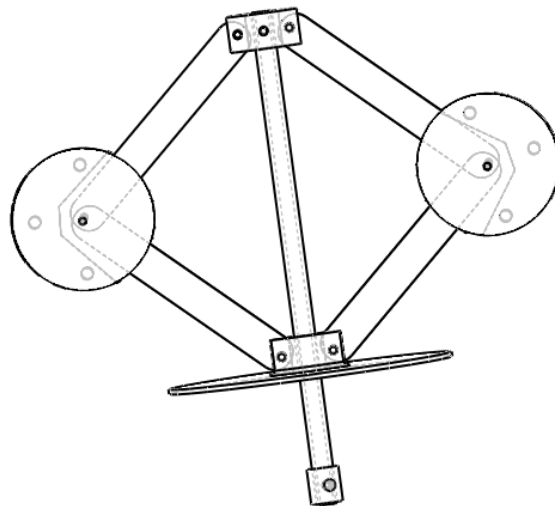


Figura 37. Regulador de velocidad

5.2.2 Soporte superior

Es el encargado de mantener unidos los *brazos superiores* al *eje central*, sin variar su posición vertical.

Este soporte irá anclado mediante un tornillo de M3 al *eje central*, girando a la vez que el mismo. A ambos lados se pueden apreciar dos aperturas para la fijación de los *brazos*, realizada con tornillos y tuercas de M3. Además del orificio de 8 mm para el *eje central*. Trabajamos con una tolerancia entre la medida interna del soporte y el diámetro exterior del eje, que nos permite unirlos.

Produciremos una pieza y estará fabricada en PLA, mediante el uso de la impresora 3D. Pueden consultar las medidas de diseño en el apartado final de esta memoria, *Anexos*.

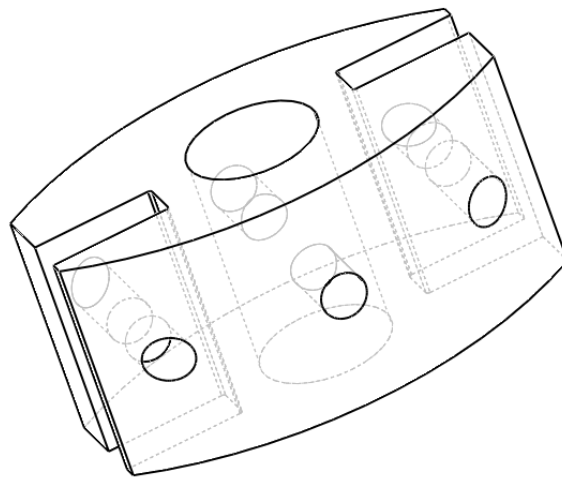


Figura 38. Soporte superior

5.2.3 Eje central

La función de esta pieza es transmitir el movimiento de rotación suministrado por el motor eléctrico al conjunto del regulador.

En él podemos apreciar dos orificios, uno en la parte superior de M3 para la unión del “soporte superior”, y en la parte inferior otro de M3 para la unión del eje al motor eléctrico.

Únicamente necesitaremos una unidad de esta pieza, fabricada a partir de un tubo de aluminio con medidas de 8x1 mm y 1 m de longitud. Para alcanzar las medidas de diseño será necesario emplear el utillaje descrito anteriormente. Pueden consultar las medidas de diseño en el apartado final de esta memoria, *Anexos*.

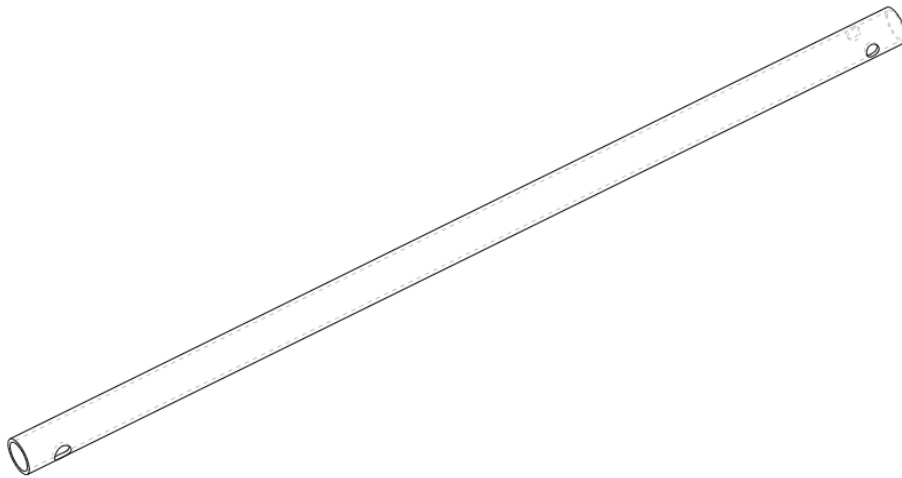


Figura 39. Eje central

5.2.4 Soporte inferior

Este soporte no irá anclado, permitiendo así su deslizamiento respecto al *eje central*. Al igual que en el *soporte superior*, se han creado unas aperturas y orificios para permitir la fijación de los *brazos inferiores* mediante el uso de tornillos de M3, y el orificio central de M8 para el *eje central*.

La base de la pieza cuenta con un disco que nos permitirá relacionar la altura del regulador, con el *potenciómetro* a través del *selector de resistencia*.

Solo fabricaremos una unidad de esta pieza, realizada en material PLA, mediante el uso de la impresora 3D. Pueden consultar las medidas de diseño en el apartado final de esta memoria, *Anexos*.

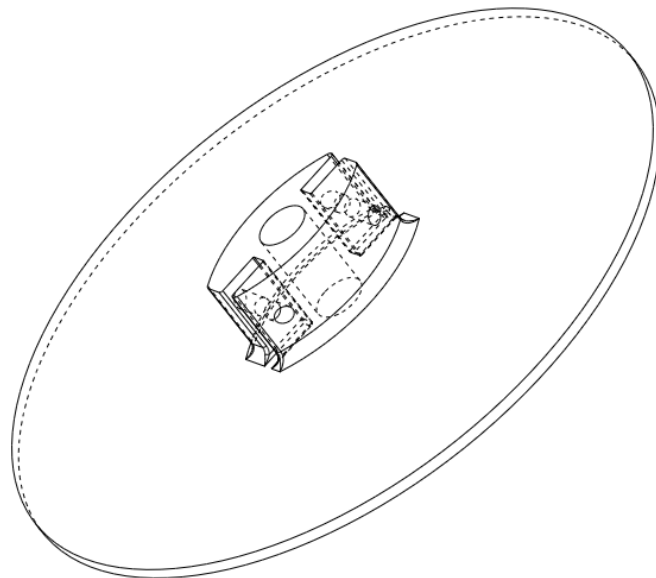


Figura 40. Soporte inferior

5.2.5 Brazo

Esta pieza será la responsable de unir las *esferas* con los *soportes superior e inferior*. Contará con dos orificios de M3, uno en cada extremo, para facilitar su unión mediante un tornillo.

Para facilitar el movimiento del brazo en el interior del soporte superior e inferior y de las esferas, se han redondeado los extremos de la pieza.

Será necesario fabricar 4 piezas, dos superiores y dos inferiores, a partir de un perfil de aluminio plano con medidas 10x2x2 mm y con 1 m de longitud. Para alcanzar las medidas de diseño será necesario emplear el utillaje descrito anteriormente. Pueden consultar las medidas de diseño en el apartado final de esta memoria, *Anexos*.

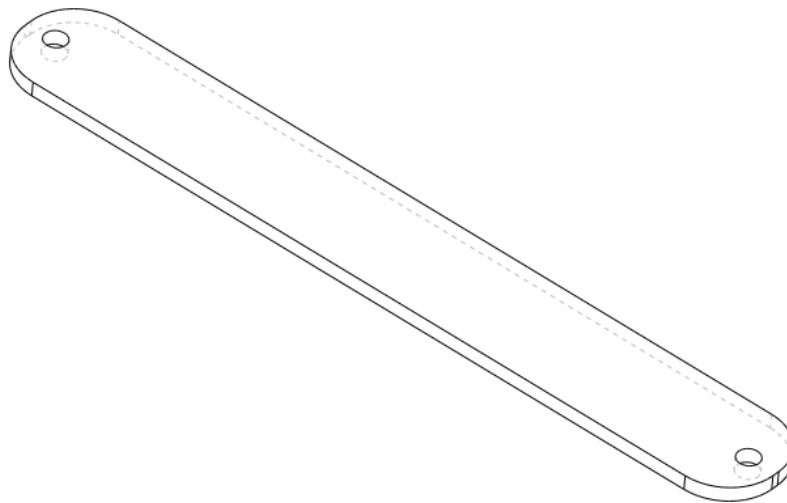


Figura 41. Brazo

5.2.6 Soporte prisionero

Esta pieza asume la garantía de que *eje central* gire de forma solidaria al movimiento del motor.

Para ello se diseña con un diámetro exterior de 8 mm, una pared de 1 mm de espesor y con un orificio de M3 para la colocación del tornillo, que enroscará en el prisionero y presionará el eje del motor.

Fabricaremos una sola pieza en material PLA, a partir de la impresora 3D. Pueden consultar las medidas de diseño en el apartado final de esta memoria, *Anexos*.

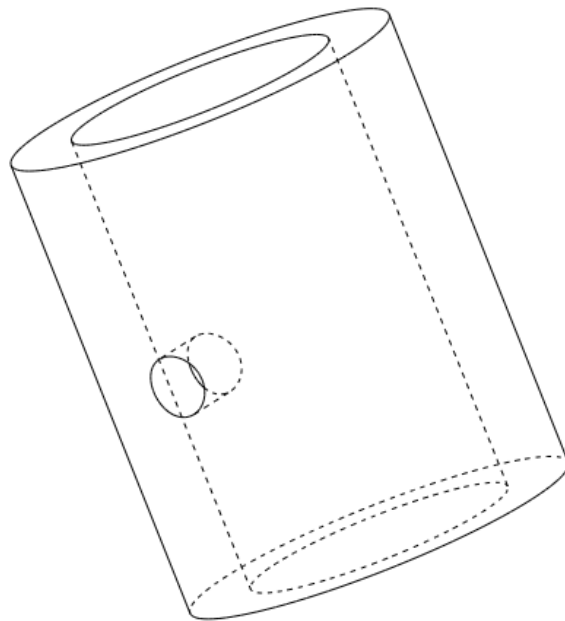


Figura 42. Soporte prisionero

5.2.7 *Semiesfera*

Esta pieza se encarga de proporcionar inercia al conjunto del regulador, aprovechando el movimiento de rotación que aporta el motor y a la fuerza centrífuga, como consecuencia de dicha rotación.

La *semiesfera* tiene un diámetro de 60 mm, consta de 3 orificios de 5 mm para la colocación de los *pernos* y un orificio de M3 para permitir la unión de las *semiesferas* con los *brazos*.

Se fabricarán 4 piezas en material PLA, ya que debido al uso de la impresora 3D, sería más fácil que las piezas contasen con una cara plana y facilitar el apoyo sobre la cama de la impresora. Pueden consultar las medidas de diseño en el apartado final de esta memoria, *Anexos*.

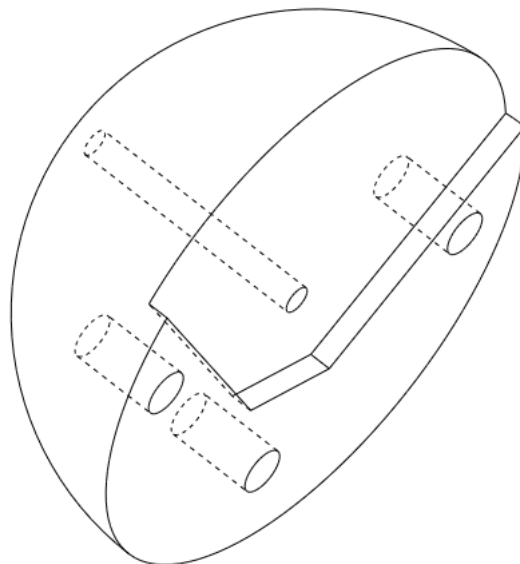


Figura 43. Semiesfera

5.2.8 Perno

Con esta pieza queremos garantizar la correcta colocación de las dos *semiesferas* y evitar que se deslicen entre sí las caras de unión.

Se fabricarán 6 *pernos* en material PLA, debido al uso de la impresora 3D, se han tenido que diseñar de forma que las medidas finales fueran lo más aproximadas a las de diseño.

Se intentaron imprimir con forma de cilindro, pero la impresora alteraba las cotas y no se podían usar. Por lo que se decidió optar por darles una forma hexagonal redondeando las aristas para facilitar su inserción en los orificios de las *semiesferas*.

Tendrán una longitud total de 18 mm. Pueden consultar las medidas de diseño en el apartado final de esta memoria, *Anexos*.

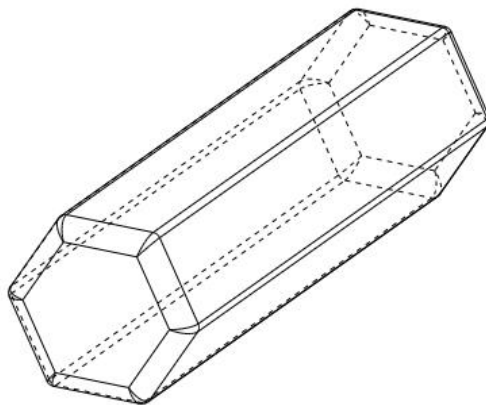


Figura 44. Perno

5.2.9 Conjunto de la base

En este apartado vamos a describir las piezas que forman la base, con el objetivo de tener una base sólida donde montar los componentes del regulador.

Debemos tener en cuenta que debe tener un fácil montaje, además de permitir la conexión del motor eléctrico a la fuente de tensión variable y facilitar el acceso al *selector de resistencia del potenciómetro*.

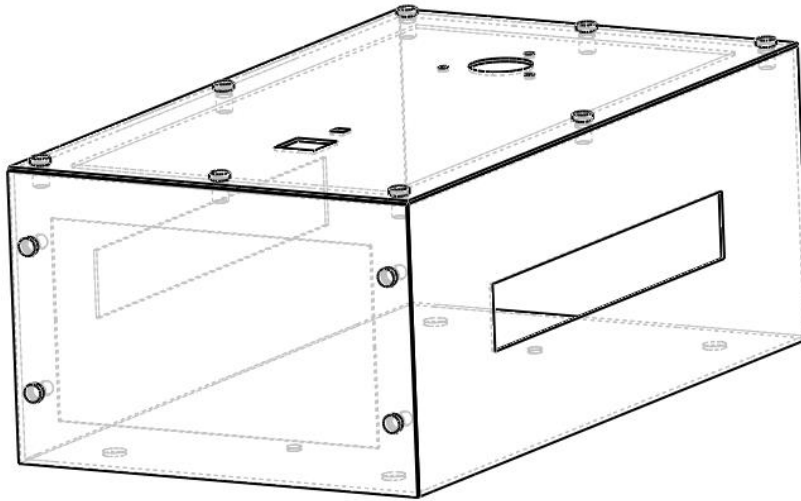


Figura 45. Conjunto de la base

5.2.10 Caja principal de la base

Esta será la estructura principal de la base, en ella se montarán las *tapas superior y frontal*, mediante el uso de 12 tornillos de M8. También cuenta con 4 tornillos de M10 para atornillar las patas y 2 orificios de M6 para poder fijar el *soporte del potenciómetro*.

Además, contará con una apertura en cada lateral para poder acceder al interior de la base, aunque esta tenga montada las dos tapas.

La base tendrá una longitud total de 340 mm, 200 mm de ancho y 130 mm de alto, y estará fabricada una chapa de acero S235, de 1,5 mm de espesor. Pueden consultar las medidas de diseño en el apartado final de esta memoria, *Anexos*.

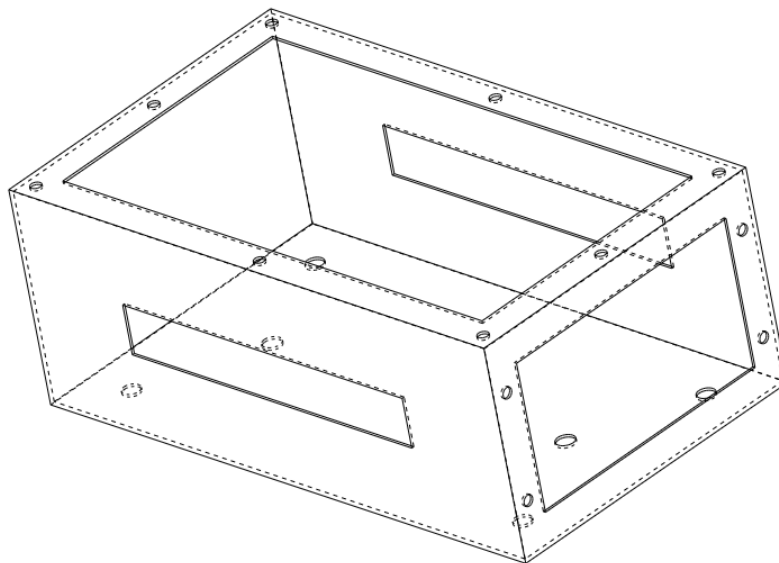


Figura 46. Caja principal de la base

5.2.11 Tapa superior de la base

Con esta pieza se pretende facilitar el montaje del motor y del regulador en la base, se pretende así evitar cualquier problema que se le pueda presentar al usuario de la maqueta.

Esta tapa cuenta con 8 orificios de M8 para la unión con la base, 3 orificios de M4 para los tornillos y un orificio de 28 mm para la unión del motor eléctrico. Además, cuenta con 2 cuadrados de 6,5 mm de lado para la guía del *selector de resistencia del potenciómetro* y 20 mm de lado para el *soporte del potenciómetro*.

Se fabricará una pieza que tendrá una longitud de 340 mm y 200 mm de ancho, y estará fabricada en una chapa de acero S235, con 1,5 mm de espesor. Pueden consultar las medidas de diseño en el apartado final de esta memoria, *Anexos*.

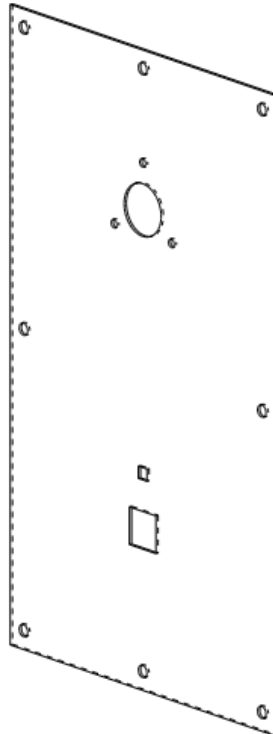


Figura 47. Tapa superior de la base

5.2.12 Tapa frontal de la base

Esta pieza permitirá acceder al interior de la base de la maqueta, aunque se encuentre montada la *tapa superior*.

Esta tapa cuenta con 4 orificios de M8 que permite su unión con la base principal.

Se fabricará una pieza que tendrá una longitud de 200 mm y 130 mm de ancho, y estará fabricada en una chapa de acero S235, con 1,5 mm de espesor. Pueden consultar las medidas de diseño en el apartado final de esta memoria, *Anexos*.

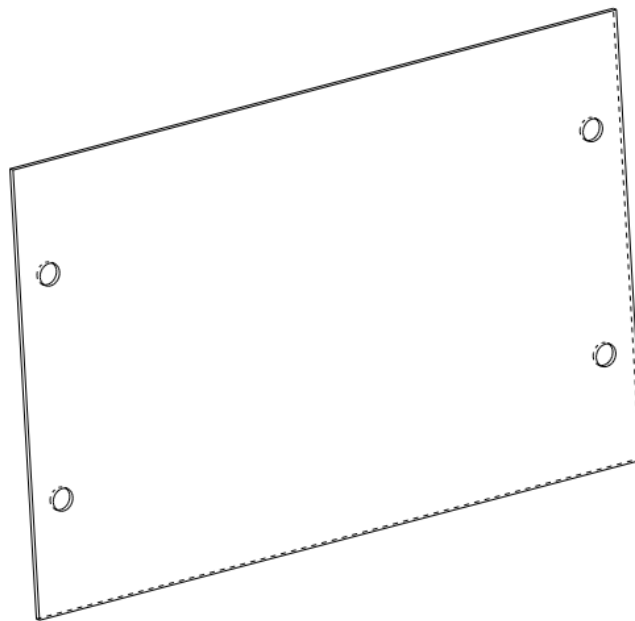


Figura 48. Tapa frontal de la base

5.2.13 Conjunto del potenciómetro

En este apartado vamos a describir las piezas usadas para relacionar el movimiento del regulador, con la resistencia del potenciómetro.

Este conjunto estará formado por tres piezas, teniendo en cuenta que el *selector de resistencia* deslizará sobre su *soporte*, y que este relacionará la altura del *soporte inferior* con el potenciómetro.

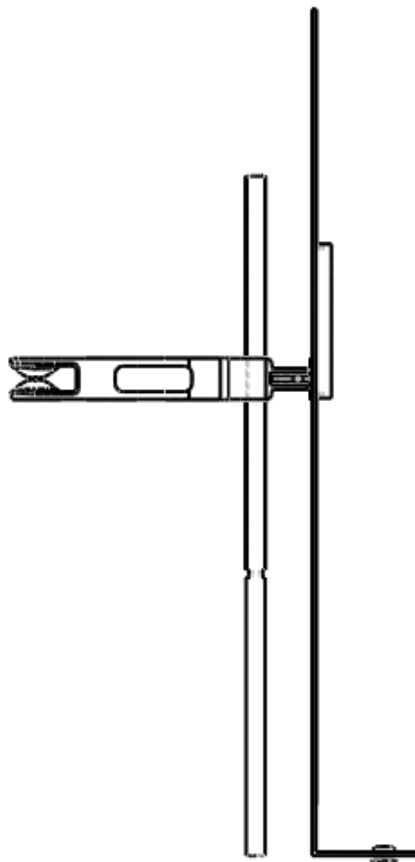


Figura 49. Conjunto del potenciómetro

5.2.14 Selector

Esta pieza nos permite relacionar el movimiento lineal del *soporte inferior*, con el mando del potenciómetro.

La apertura que podemos apreciar en el lado izquierdo de la figura 35, está destinada a centrar el disco del *soporte inferior*. Con la apertura del lado derecho uniremos esta pieza al potenciómetro. Cuenta con un orificio en forma de cuadrado que tiene 6 mm de lado.

Se fabricará una pieza en material PLA, mediante el uso de la impresora 3D. Pueden consultar las medidas de diseño en el apartado final de esta memoria, *Anexos*.

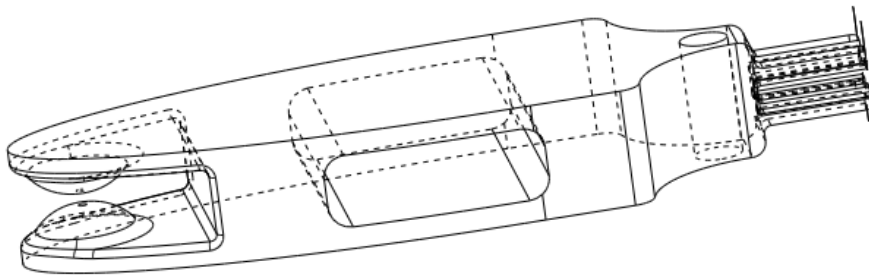


Figura 50. Selector

5.2.15 Guía del selector

Esta pieza nos permite asegurar el correcto funcionamiento del selector, limitando su movimiento al lineal.

Fabricaremos una pieza a partir de un cilindro de fibra de vidrio de 6 mm de diámetro y 1 m de longitud. Pueden consultar las medidas de diseño en el apartado final de esta memoria, *Anexos*.

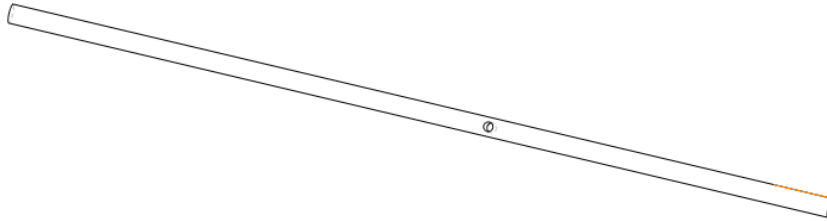


Figura 51. Guía del selector

5.2.16 Portador del selector

Esta pieza, gracias a su menor rozamiento con respecto a la pieza denominada “*Guía*”, nos permite que ambas superficies deslicen entre ellas.

Fabricaremos una pieza a partir de un tubo redondo de PVC de 8mm de diámetro, 1 mm de espesor y 1 m de longitud. Pueden consultar las medidas de diseño en el apartado final de esta memoria, *Anexos*.

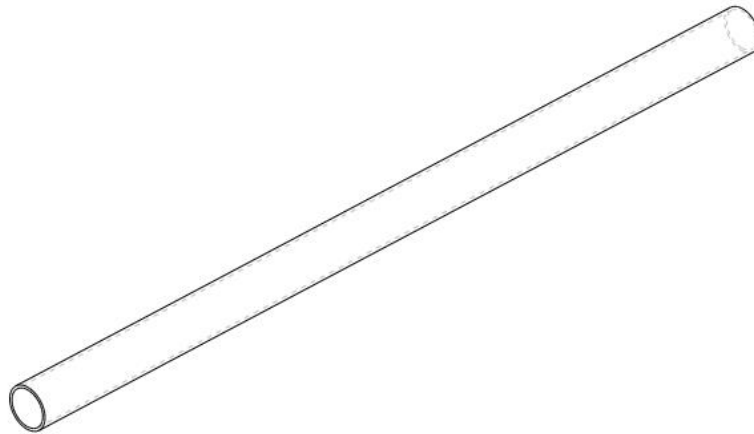


Figura 52. Portador del selector

5.2.17 Soporte del potenciómetro

Esta pieza servirá de soporte para el potenciómetro, fabricándose con unas cotas genéricas para permitir el uso de distintos potenciómetros sin tener que modificarlo o sustituirlo.

Se fabricará una pieza en chapa de acero S235, con 1,5 mm de espesor. El soporte contará con un orificio de M6 para fijarlo a la base. Cuenta con una ranura de 4 mm de ancho para permitir el paso de mando del potenciómetro y su fijación al soporte. Pueden consultar las medidas de diseño en el apartado final de esta memoria, *Anexos*.

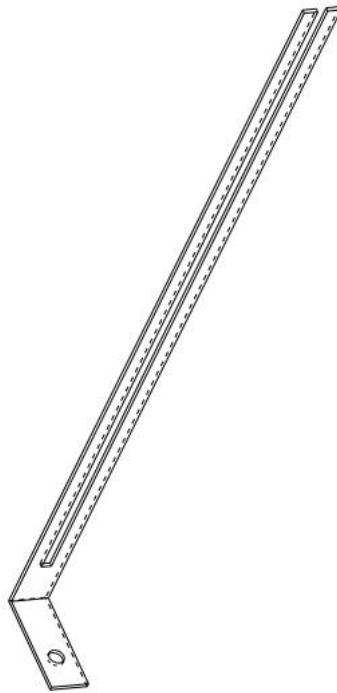


Figura 53. Soporte del potenciómetro

5.3 Análisis de la estructura

Mediante la herramienta SimulationXpress disponible en el software SolidWorks 3D, realizaremos un análisis sobre aquellas piezas que, bajo nuestro criterio, pueden poner en riesgo su integridad estructural durante el uso de la maqueta.

Para llevar a cabo el análisis, el programa nos solicita los siguientes datos:

- Identificar el material de la pieza
- Superficie de sujeción
- Cargas externas

Por este motivo, el análisis se realizará sobre las piezas denominadas: selector y soporte inferior.

Aunque las piezas trabajarán bajo una exigencia de cargas mínimas, realizamos los ensayos aplicando una carga genérica de 1 kilogramo de masa, lo que equivale a 9,8 Newton. Siendo esta carga, mucho más elevada que la real.

5.3.1. Ensayo del Selector

Para este ensayo hemos fijado uno de los extremos de la pieza, ya que estará unida a la guía y al potenciómetro. Como podemos ver en la figura adjunta identificado en color verde. Y la carga se concentrará en el otro extremo de la pieza, en un solo punto, identificado en la figura con el color lila.

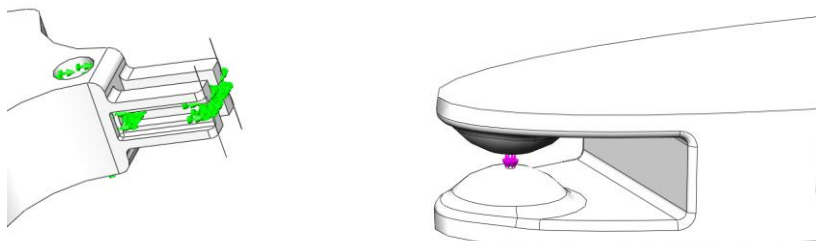


Figura 54. Fijación y carga sobre el Selector

A continuación, presentamos los resultados obtenidos tras el ensayo, en la figura 55 se presenta el esfuerzo al que se ha sometido toda la pieza. En color azul se representan las zonas a las que menos esfuerzo se han sometido y en rojo las zonas que se han visto más exigidas. Siendo el límite elástico para el material plástico PLA es de $5,5 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ y la Tensión máxima de Von Mises obtenida es de $6,925 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ podemos afirmar que solo tendremos deformaciones elásticas que no afectarán a las propiedades de la pieza.

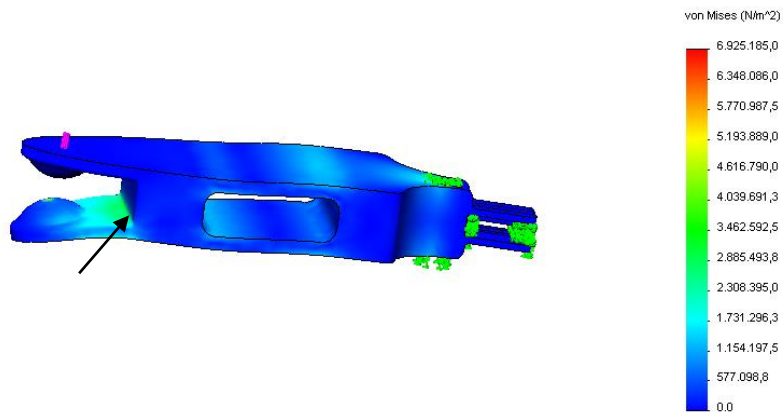


Figura 55. Ensayo de Von Mises sobre el Selector

En esta figura se identifica la deformación y el desplazamiento máximo alcanzado por la pieza. Como podemos ver en el gráfico, el punto donde mayor es la deformación, tenemos un desplazamiento de $3,921 \times 10^{-2} \text{ mm}$. Este desplazamiento no supone ningún riesgo para nuestra pieza.

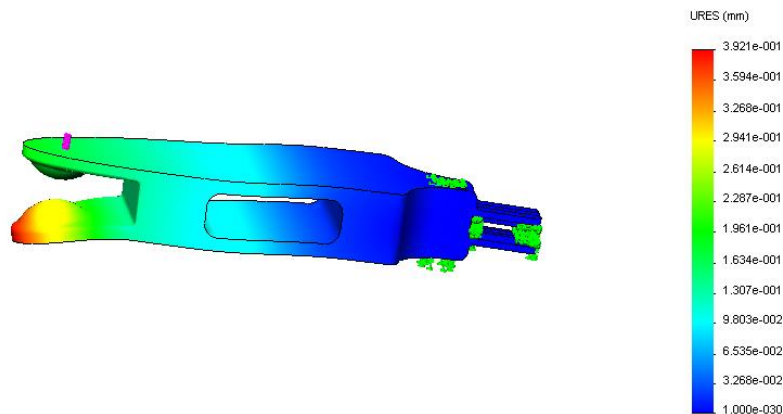


Figura 56. Desplazamiento final en el Selector

5.3.2. Ensayo del soporte inferior

Para este estudio hemos fijado el orificio central por donde pasará el eje, y los dos orificios de los laterales donde se unirán los brazos. La carga se ha aplicado de forma uniforme en la parte superior, como podemos identificar en la imagen de la derecha de la figura 57.

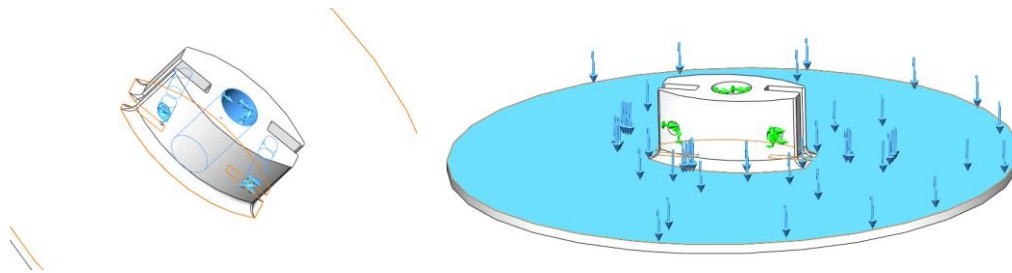


Figura 57. Fijación y carga en el soporte inferior

Como resultado, podemos identificar las zonas más críticas de nuestra pieza, siendo esta la unión entre la parte superior y la inferior, señalada con una flecha negra en la figura 58. Tal y como hemos mencionado anteriormente, el límite elástico para el material seleccionado es de $5,5 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ y la Tensión máxima registrada por el programa es de $2,54 \times 10^6 \text{ N/m}^2$. Esto nos permite afirmar que las deformaciones sufridas por la pieza serían elásticas y no afectarían a las propiedades de la pieza.

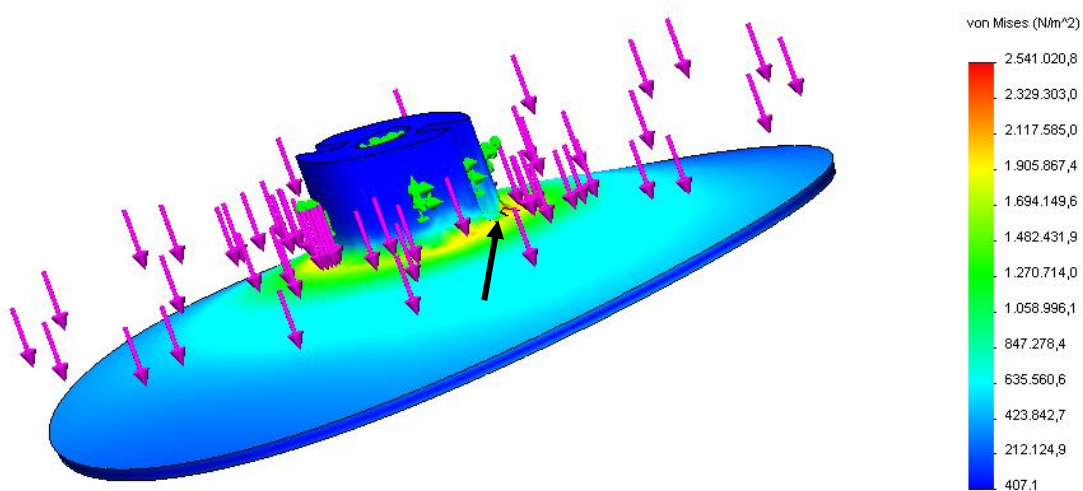


Figura 58. Ensayo de Von Mises sobre el soporte inferior

A continuación, presentamos las deformaciones y desplazamiento máximo sufrido por la pieza. Como se puede comprobar en la figura 59, el punto donde mayor es la deformación tenemos un desplazamiento $4,368 \times 10^{-2}$ mm. Este desplazamiento no supone ningún riesgo para nuestra pieza.

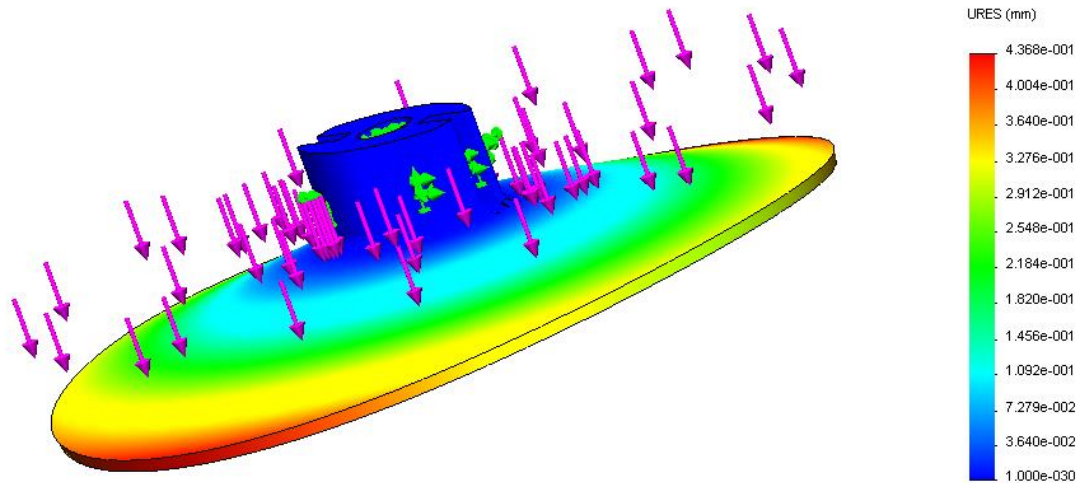


Figura 59. Desplazamiento final en el soporte inferior

Una vez finalizado el estudio sobre las piezas con mayor riesgo de fallo, teniendo en cuenta que hemos aplicado una carga mucho más elevada que la real. Podemos concluir que el diseño cumplirá con la función a la que está destinada la pieza, sin que se pueda producir el fallo de ninguna de ellas.

Capítulo 6. Fabricación

Una vez finalizado el diseño del conjunto de piezas, procedemos a la fabricación de cada una de ellas.

En este apartado detallaremos el método de fabricación usado para cada una de las piezas. Podemos separar estos procesos en tres grupos: impresión 3D, corte por láser y utillaje.

6 Impresión 3D

Esta herramienta ha sido usada para poder obtener las piezas, cuyas dimensiones son más difíciles de obtener en una tienda o mediante utillaje.

Una vez diseñadas las piezas mediante el software visto en el apartado anterior, SolidWorks 3D, usaremos un programa que lea las dimensiones de nuestras figuras y las traduzca en movimientos a ejecutar por la impresora 3D, para ello hemos usado el software Simplify 3D. En la figura 60 podemos observar una imagen del programa.

Las piezas se ordenaron de forma que los movimientos de la impresora 3D, fuesen dinámicos y que el tiempo de impresión fuese el mínimo posible.

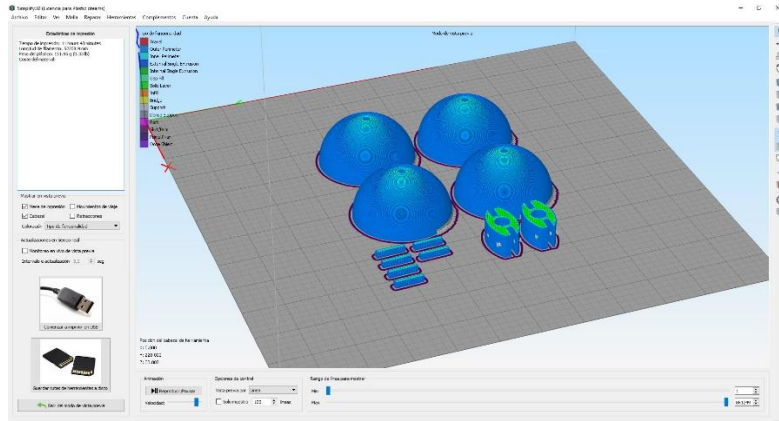


Figura 60. Simplify 3D

En las tres fotografías adjuntas, podemos observar el proceso de impresión 3D con fotografías detalladas de la cama de impresión, en la figura 61 adjunta.



Figura 61. Proceso de impresión 3D

A continuación, vamos a presentar las piezas fabricadas en plástico PLA con su aspecto final:



Figura 62. Soporte superior

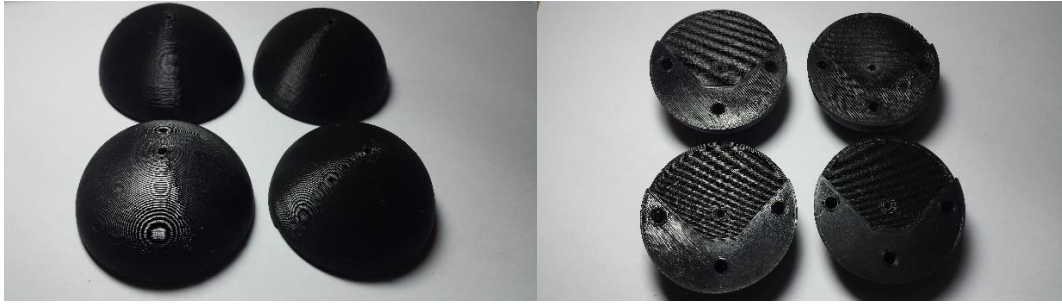


Figura 63. Semiesferas



Figura 64. Pernos

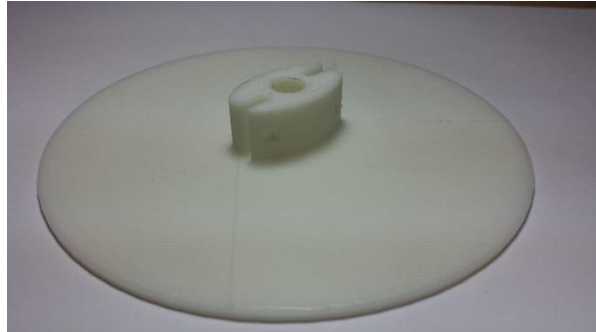


Figura 65. Soporte inferior



Figura 66. Selector



Figura 67. Soporte prisionero

6.1 Corte de acero por láser

Este proceso ha sido realizado con la ayuda de una empresa especializada en el mundo del metal y dedicada al diseño, producción y comercialización de productos metálicos, cortados, troquelados y estampados.

A partir de nuestro diseño de las tres piezas que constituyen la base y el soporte del potenciómetro, realizado con el software de diseño SolidWorks 3D, la empresa fue la encargada de transformar nuestras medidas en comandos de órdenes para la cortadora láser.

Las operaciones realizadas por la empresa consistieron en: corte del metal, plegado, soldadura y la realización de 12 orificios roscados de M8.

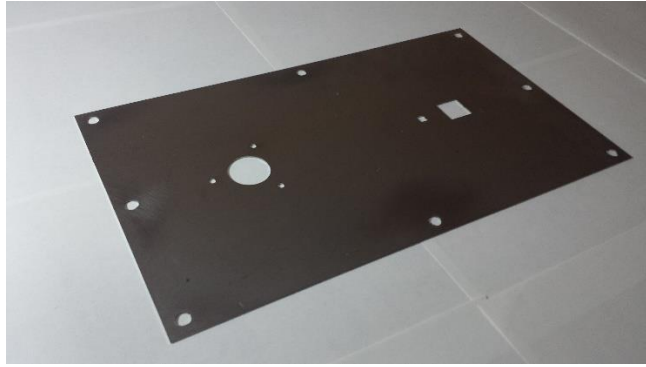


Figura 68. Tapa superior



Figura 69. Tapa frontal



Figura 70. Base principal



Figura 71. Soporte potenciómetro

6.2 Mediante utillaje

Las piezas que se presentarán a continuación han sido obtenidas a partir de productos fabricados en serie, y que posteriormente hemos modificado para que se ajustasen a nuestro diseño.

Las herramientas usadas han sido presentadas en el capítulo 4.7.

6.2.1 Eje

Hemos utilizado el material presentado en el apartado 4.5.1, donde teníamos un tubo con medidas estándar. Con la ayuda de la sierra manual y la guía de ingletes, se acortaron a la longitud de diseño. Mediante al taladro montado en su soporte vertical, se le practicaron dos orificios, uno para el prisionero y el otro para la unión del soporte superior.

Tabla 11. Medidas finales del eje

	<i>Tipo</i>	Tubo
	<i>Material</i>	Aluminio
	<i>Peso</i>	11 g
	<i>Longitud</i>	210 mm
	<i>Diámetro</i>	8 mm
	<i>Espesor</i>	1 mm
	<i>Orificios</i>	2 x 3 mm

Figura 72. Fabricación del eje

6.2.2 Brazos

Partiendo del material presentado en el apartado 4.5.2, donde teníamos una pletina con medidas estándar y con la ayuda del taladro montado en su soporte vertical, le hemos podido realizar los dos orificios. Además, con la ayuda del papel de lija, se han redondeado los cantos, para evitar el contacto con los soportes y las semiesferas.

Tabla 12. Medidas finales de los brazos



Figura 73. Fabricación de los brazos

<i>Tipo</i>	Perfil
<i>Material</i>	Aluminio
<i>Peso</i>	4 x 6 g
<i>Orificios</i>	2 x 3 mm
<i>Longitud</i>	111 mm
<i>Canto</i>	Redondeado
<i>Espesor</i>	2mm

6.2.3 Guía del Selector

A partir del material presentado en el apartado 4.5.3, donde teníamos un tubo cuadrado con medidas estándar y con la ayuda de la sierra de mano y un inglete, lo recortamos hasta nuestra longitud de diseño. Además, con la ayuda del taladro montado en su soporte vertical, se realizó un orificio pasante de 3 mm de diámetro.

Tabla 13. Medidas finales de la guía

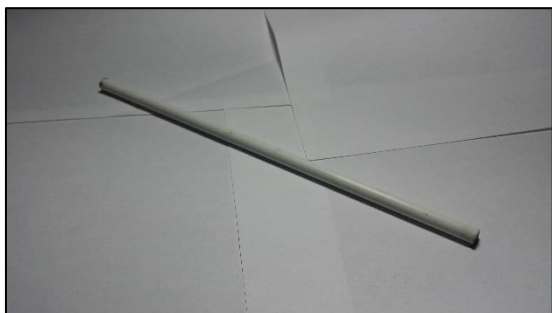


Figura 74. Fabricación de la guía

<i>Tipo</i>	Cilindro
<i>Material</i>	Fibra de vidrio
<i>Forma</i>	Redonda
<i>Medidas</i>	6 mm
<i>Longitud</i>	265 mm
<i>Peso</i>	14 g
<i>Orificio</i>	3 mm

6.2.4. Portador del selector

Una vez presentado el material en el apartado 4.5.4, donde partimos de un tubo cuadrado con medidas estándar, realizaremos el corte a las medidas necesarias para nuestro modelo con la ayuda de la sierra de mano y un inglete, obteniendo así las medidas de diseño. Además, con la ayuda del papel de lija suavizaremos los extremos de la pieza, eliminando las rebabas generadas durante el corte.

Tabla 14. Medidas finales del Portador del selector



Figura 75. Fabricación del portador

<i>Tipo</i>	Tubo
<i>Material</i>	PVC
<i>Forma</i>	Redonda
<i>Medidas</i>	8 x1 mm
<i>Longitud</i>	160 mm
<i>Peso</i>	10 g

6.2.5 Orificio del potenciómetro

Para asegurar la unión entre el potenciómetro y el selector, se han realizado 2 orificios de 2 mm de diámetro al potenciómetro. (Ver fig. 76)



Figura 76. Orificios del potenciómetro

6.2.6 Roscado del prisionero

Para finalizar este apartado, se realizó el roscado del orificio del prisionero, para permitir el correcto atornillado de un tornillo con M4. (Ver fig. 77)



Figura 77. Roscado del prisionero

6.3 Ensamblaje

Una vez completada la fabricación de todas las piezas que forman el regulador y su base, nos disponemos a presentar el ensamblaje de este.

Para dicha presentación, partiremos de la base principal hasta completar la unión

En primer lugar, uniremos los cuatro niveladores a la base principal, mediante tornillos y tuercas hexagonales de M10. (*ver fig. 78*)

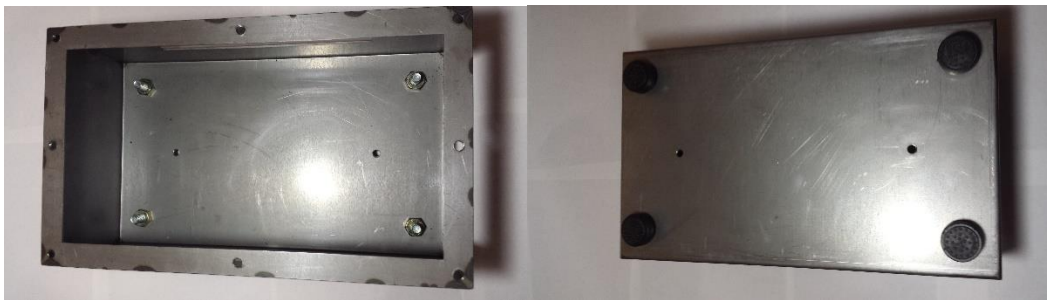


Figura 78. Instalación de los niveladores

A continuación, ilustramos la fijación del soporte del potenciómetro a la base principal, usando un tornillo y tuerca de M6, asegurándonos de que queda alineado con la base y con el orificio de la tapa superior. (*ver fig. 79*)



Figura 79. Unión del soporte del potenciómetro

Para poder fijar la guía del selector a la tapa superior, nos apoyaremos en el uso de dos escuadras en ángulo y tres tornillos de M3, tal y como podemos ver en la figura 80.



Figura 80. Fijación de la guía para el selector del potenciómetro

Una vez fijada la guía del selector a la tapa superior, podemos presentarla en la base principal y comprobar que la guía está perfectamente alineada con el soporte del potenciómetro.



Figura 81. Tapa superior unida a la base

Antes de poder fijar la tapa superior de forma definitiva a la base, uniremos el servomotor a ésta con el uso de tres tornillos de M4. (ver figura 82)



Figura 82. Unión del servomotor a la tapa superior

Una vez concluido el ensamble de la base, a falta de la tapa frontal, procedemos a montar el regulador y las piezas que lo constituyen, empezando por las semiesferas. La unión de estas se realizará con el uso de tres pernos. (*ver fig. 83*)



Figura 83. Unión semiesferas

A continuación, fijaremos los brazos inferiores al soporte inferior, usando dos tornillos, dos tuercas y dos arandelas de M3. (*ver fig. 84*)

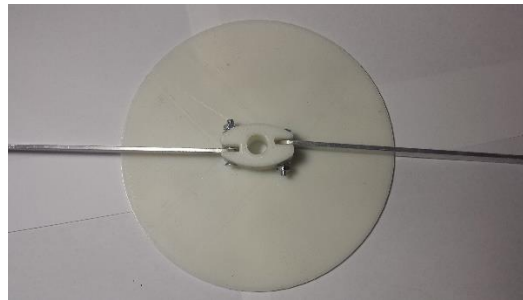


Figura 84. Unión de brazos y soporte inferior

De igual modo, para la fijación del soporte superior a los brazos superiores y al eje central, usaremos tres tornillos, dos tuercas y dos arandelas de M3. Este soporte sí está anclado al eje, a diferencia del soporte inferior. (*ver fig. 85*)



Figura 85. Unión de eje, soporte y brazos superiores

Para completar el ensamble del regulador de velocidad, será necesaria la fijación de los brazos inferiores y superiores a las esferas. Hemos usado cuatro arandelas, cuatro tuercas y dos varillas roscadas de M3 cortadas con la longitud suficiente para que atravesasen completamente las esferas. (*ver fig. 86*)

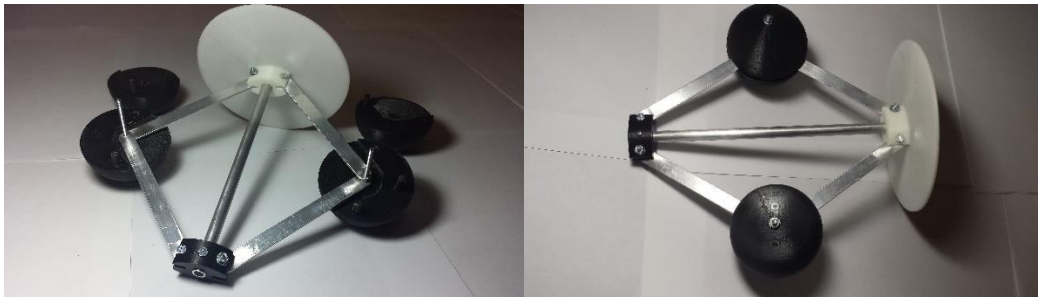


Figura 86. Regulador ensamblado

Para cerciorarnos de que el eje del regulador no desliza con respecto al eje del motor, usaremos el prisionero, el cual se ha enroscado con M4. (*ver fig. 87*)



Figura 87. Fijación del prisionero

Concluido el ensamble del regulador centrífugo, montaremos el selector sobre su guía y la uniremos con el potenciómetro con el uso de un tornillo y tuerca de M3. Además, uniremos el potenciómetro a su soporte con el uso de dos tornillos y cuatro tuercas de M2. (*ver fig. 88*)

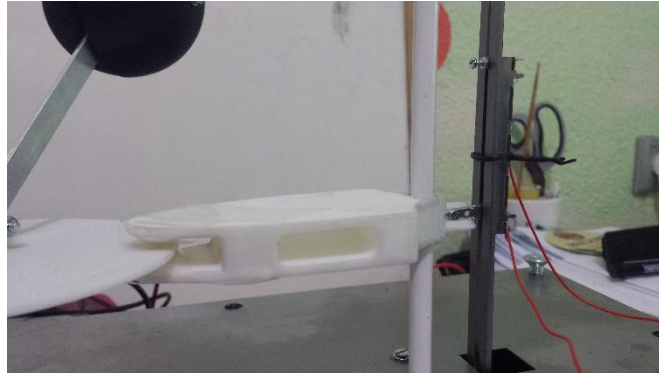


Figura 88. Unión de selector y potenciómetro

Finalmente, una vez completado el ensamble de todas las piezas, el resultado es el que podemos apreciar en la *figura 89*, donde podemos apreciar que todos los elementos quedan perfectamente unidos y alineados.

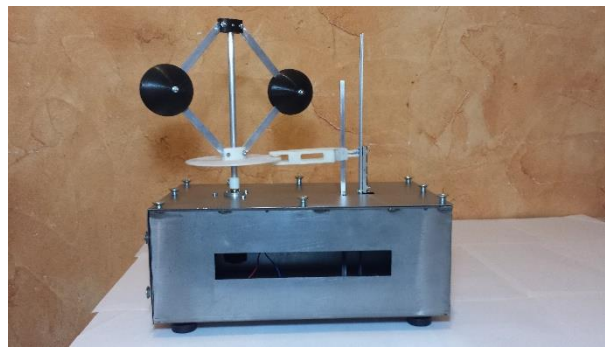


Figura 89. Regulador de velocidad terminado

Capítulo 7. Experimentación

En este apartado, completado el ensamble de todos los componentes fabricados, comprobaremos el correcto funcionamiento del regulador centrífugo.

Entenderemos como buen funcionamiento, si la maqueta es capaz de girar y mediante la fuerza centrífuga generada, hacer que el soporte superior se deslice sobre el eje y elevarse el soporte inferior. Además, de tener la capacidad de elevar el selector y que este a su vez aumente la resistencia del potenciómetro.

Antes de conectar el regulador al motor, se realizaron diferentes ensayos para la selección del potenciómetro necesario para nuestra maqueta. En estas pruebas, comprobamos que el valor de resistencia máximo que podíamos aplicar era de $3,6\Omega$.

Esto nos planteaba un problema, ya que actualmente en el mercado solo hemos encontrado potenciómetros lineales con una resistencia mínima de $10k\Omega$. Debido a esto, podemos comprobar que el rango de actuación del potenciómetro instalado es limitado.

Una vez ensamblado el regulador y uniéndolo al servomotor, realizamos varias pruebas para comprobar el movimiento de rotación y la elevación del soporte inferior. Para ello conectamos el motor directamente a la fuente de alimentación variable, para poder aumentar de forma progresiva el valor del voltaje. Tras varias pruebas, podemos afirmar que el regulador es capaz de rotar y el soporte inferior de elevarse sobre el eje.

Inicialmente en el diseño y posterior fabricación de la maqueta, las piezas denominadas guía del selector y portador del selector, las habíamos fabricado a partir de tubos cuadrados de aluminio. (*ver fig. 90*)



Figura 90. Modificación de guía y portador del selector

Pero tras varios ensayos no conseguimos que el regulador generase la velocidad necesaria para elevar el selector, debido al rozamiento que existía entre las piezas de aluminio y el potenciómetro. Tratamos de solucionar el rozamiento, entre ambas superficies, mediante el uso de aditivos que generasen una película entre ellas. Esto no disminuyó el rozamiento lo necesario para poder elevar el selector.

Por esto se decidió modificar el diseño, usando en lugar de aluminio con forma cuadrada, PVC y fibra de vidrio con forma cilíndrica. Esto unido al uso de aditivos, nos permitió lograr la elevación del selector y con ello el aumento de la resistencia generada por el potenciómetro.

Capítulo 8. Conclusiones

Para finalizar este trabajo, expondremos en este apartado los resultados obtenidos en el transcurso de todo el proceso llevado a cabo para el diseño, fabricación y montaje del regulador centrífugo.

Podemos afirmar que se ha cumplido en parte, con el objetivo inicial de dicho trabajo:

-Diseño: se han diseñado cada una de las piezas integradas en la maqueta ensamblada. Además, hemos realizado un estudio de resistencia en las piezas con mayor riesgo de fallo.

-Fabricación: Debido a que su funcionamiento será establecido en cortos periodos de tiempo, hemos elegido materiales plásticos y de aluminio para el regulador. Siendo estos materiales de bajo peso y económicos. Para la fabricación de la base nos hemos decantado por el uso de acero, aportando este una gran estabilidad al conjunto.

-Ensamblado: Causa de la labor de diseño y un especial cuidado a la hora de fabricar cada una de las piezas, no se han encontrado problemas en el ensamble de cada uno de los elementos.

-Funcionamiento: En la experimentación de la maqueta se confirmó que, al aplicarle cierta tensión eléctrica al circuito, el regulador era capaz de mantener un movimiento de rotación uniforme, en función de la resistencia opuesta por el potenciómetro.

-Problemas: Durante los ensayos en el apartado de experimentación, se detectaron dos fallos:

- Eje: Detectamos una ligera excentricidad en esta pieza cuando el regulador estaba en funcionamiento.

- Potenciómetro: Comprobamos que los potenciómetros lineales que hay disponibles actualmente en el mercado, oponen una resistencia mucho mayor a la necesaria para nuestra maqueta. Esto se traduce a que el rango de actuación del potenciómetro sea reducido. Además, debido al rozamiento entre el actuador y la banda del potenciómetro, una vez que aumenta la resistencia y desciende la velocidad del regulador, no se ha conseguido generar la fuerza necesaria para que el actuador retroceda a su posición de inicio.

Para finalizar, se proponen los siguientes desarrollos futuros:

- Fabricación de un potenciómetro lineal, capaz de generar una resistencia ajustada a la requerida por el circuito de la maqueta.
- Sustituir el material de las semiesferas por otro más pesado o ligero, y ver cómo afecta a la velocidad de giro, dentro de un mismo intervalo de resistencia.
- Reemplazar el motor, por otro con una menor velocidad de giro.
- Hacer más rugoso el eje, el soporte inferior o ambos, para dificultar la elevación del soporte inferior.

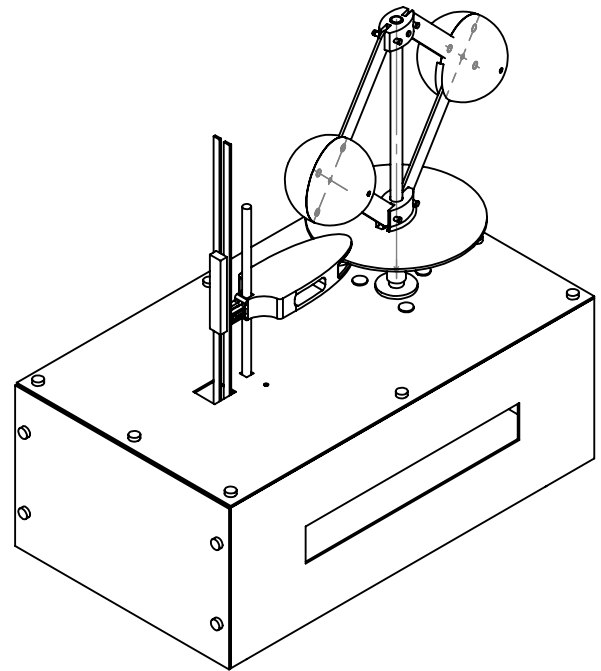
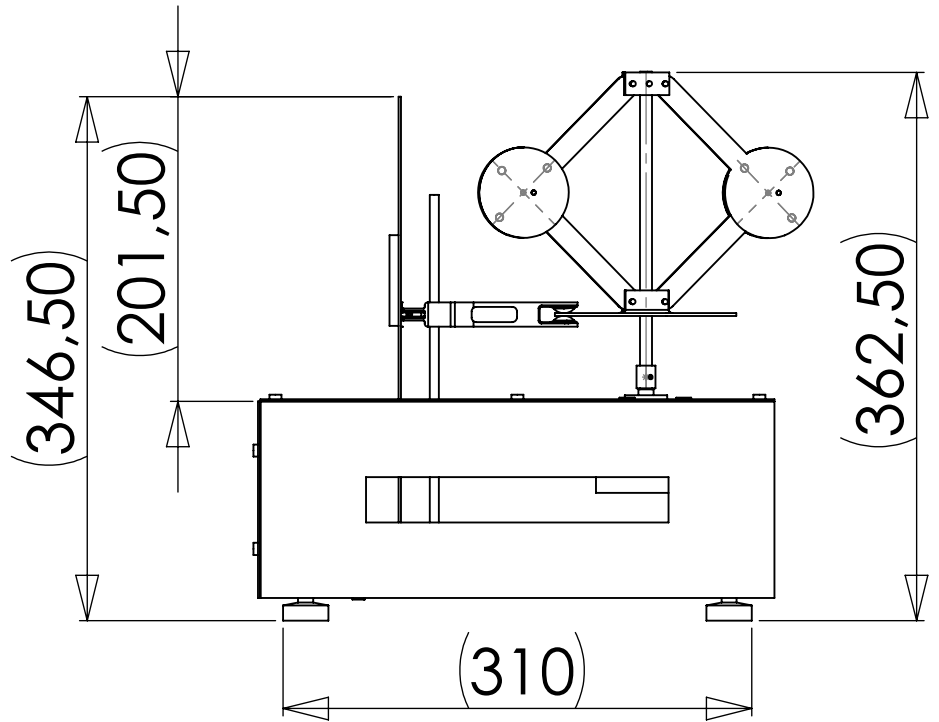
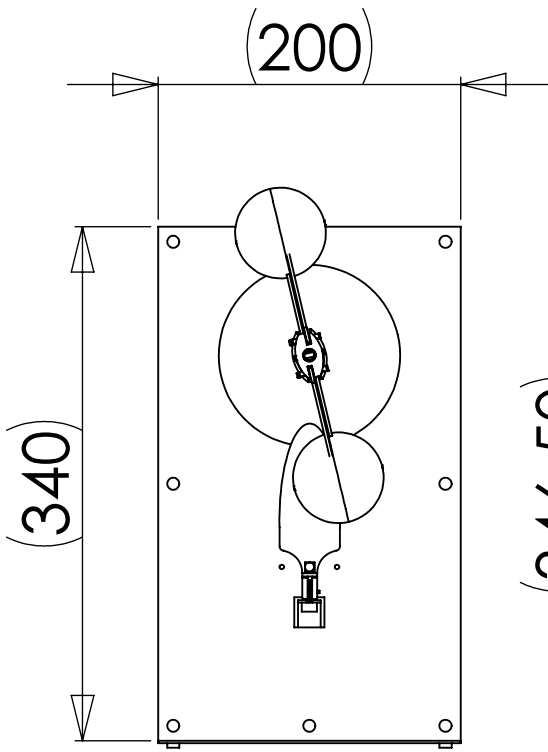
Bibliografía

1. Platero, Carlos. “Introducción al control de procesos”. Regulación Automática del departamento Electrónica, Automática e Informática Industrial. Universidad Pontificia de Madrid. 2014.
2. Piedrafita, Ramón. “Evolución histórica de la ingeniería de control”. Ingeniería de sistemas y automática. Universidad de Zaragoza. 1999.
3. H. W. Dickinson and R. Jenkins. James Watt and the steam engine. Oxford University Press, 1927.
4. Biografía H. Historia y biografía de James Watt [Internet]. Historia-Biografía. 2018 [citado 2 diciembre 2018]. Disponible en: <https://historia-biografia.com/james-watt/>
5. Mirón López E. James Watt [Internet]. Hombre en camino. 2014 [citado 12 diciembre 2018]. Disponible en: <http://www.hombreencamino.com/ciencia/james-watt/>
6. Tamaro E. Biografía de James Watt [Internet]. Biografiasyvidas.com. 2016 [citado 15 December 2018]. Disponible en: <https://www.biografiasyvidas.com/biografia/w/watt.htm>
7. Historia C. James Watt y la máquina de vapor [Internet]. Canal Historia. 2016 [citado 3 November 2018]. Disponible en: <https://canalhistoria.es/blog/james-watt-y-la-maquina-de-vapor/>
8. De Decker K. Pasado y futuro de los molinos de viento industriales. Low tech magazine [Internet]. 2011 [citado 7 November 2018]. Disponible en: <https://es.lowtechmagazine.com/2011/08/pasado-y-futuro-de-los-molinos-de-viento-industriales.html>
9. Rojas J, Amezcua J. Estudio gráfico y técnico de molinos de viento en España. Interciencia. 2005;30(6):339-346.
10. Ciudad F, González N. Máquinas automáticas y programables. 1st ed. Albacete: CEP; 1993.
11. Villaverde J. John Rennie (1761 – 1821) [Internet]. El enciclopedista. 2012 [citado 26 December 2018]. Disponible en: <http://www.elenciclopedista.com.ar/john-rennie-1761-1821/>
12. Pagola L (1975) Regulación automática. Universidad Pontificia de Comillas. Madrid, España. 152 pp.
13. Auslander D.E.: Evolutions in Automatic Control. Journal of dynamic systems, measurement and control. ASME Transactions. Marzo, 1969.
14. J. A. Vyschnegradsky. Sur la theorie generale des regulateurs. Comptes Rendus, vol. 83, pp. 31 8-321, 1876.
15. George J. Thaler Editor: Automatic control: Classical Linear Theory. Editorial Stroudsburg, Pennsylvania: Dowden, Hutchinson and ross, cop. 1974.

16. COITIRM. Página principal [Internet]. Formación COITIRM. 2013 [citado 22 noviembre 2018]. Disponible en: <http://formacioncoitirm.blogspot.com/>
17. Dani M. Bombas de inyección en línea [Internet]. Aficionados a la mecánica. 2014 [citado 4 diciembre 2018]. Disponible en: <http://www.aficionadosalamecanica.net/curso-bomba-linea-regulador.htm>
18. Porras y Soriano. “Alimentación de los motores de ciclo diesel”. Motores. Universidad de Castilla-La Mancha.
19. Granell A. “¿Qué es la bimba de inyección y cómo funciona?” [Internet] RODES. 2014 [citado 16 diciembre 2018]. Disponible en: <https://www.rodes.com/mecanica/bomba-de-inyección-diesel-que-es-y-como-funciona/>
20. Ferrer A. Inyección diesel. Todo lo que tienes que saber [Internet]. Autonoción. 2015 [citado 16 diciembre 2018]. Disponible en <https://www.autonocion.com/inyeccion-diesel-motor/>
21. Carrillo, I. (2010). Caracterización y control del regulador de Watt (trabajo de fin de grado). Universidad Pública de Navarra, Navarra.
22. Solid-Bi. Qué es y para qué sirve SolidWorks [Internet]. SolidBi. 2012 [citado 17 diciembre 2018] Disponible en: <https://solid-bi.es/solidworks/>
23. SolidWorks. Productos y soluciones [Internet]. SolidWorks. [citado 17 diciembre 2018] Disponible en: <https://www.solidworks.com/es/>
24. U3D. ¿Qué es la impresión 3D? [Internet]. Universo 3D. 2017 [citado 14 diciembre 2018] Disponible en <https://www.u3d.com.co/explora/>
25. Impresoras3D. Guía de distintos filamentos para impresora 3D [Internet] 2018 [citado 27 noviembre 2018] Disponible en: <https://www.impresoras3d.com/>
26. Frank M. Servomotor [Internet] 2017 [citado 27 noviembre 2018] Disponible en: <https://www.mecatronicalatam.com/motores/servomotor>
27. Área-tecnología. Potenciómetro [Internet] 2015 [citado 4 diciembre 2018] Disponible en: <https://www.areatecnologia.com/electronica/potenciometro.html>
28. Barberena M. “Instrumentos digitales”. Ingeniería eléctrica. Universidad de Córdoba 2014.

Anexos

A continuación, se exponen los planos del Regulador de Velocidad elaborado en el presente documento.



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
ACABADO SUPERFICIAL:
TOLERANCIAS:
LINEAL:
ANGULAR:

ACABADO:

REBARBAR Y
ROMPER ARISTAS
VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

DAVID GÓMEZ FERNÁNDEZ

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	
DIBUJ.				
VERIF.				
APROB.				
FABR.				
CALID.				MATERIAL:

TÍTULO:

ENSAMBLAJE

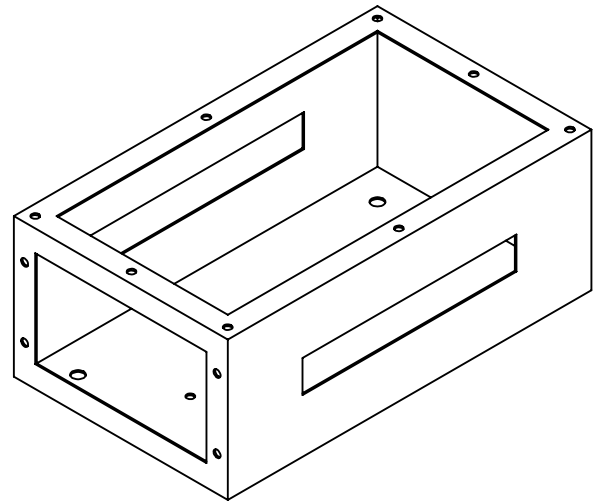
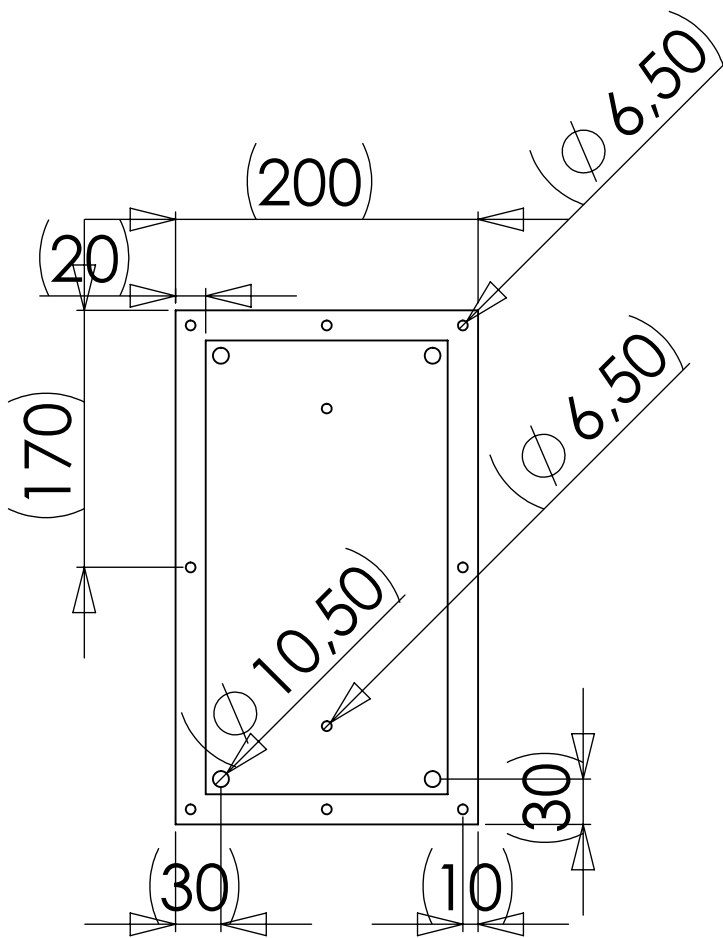
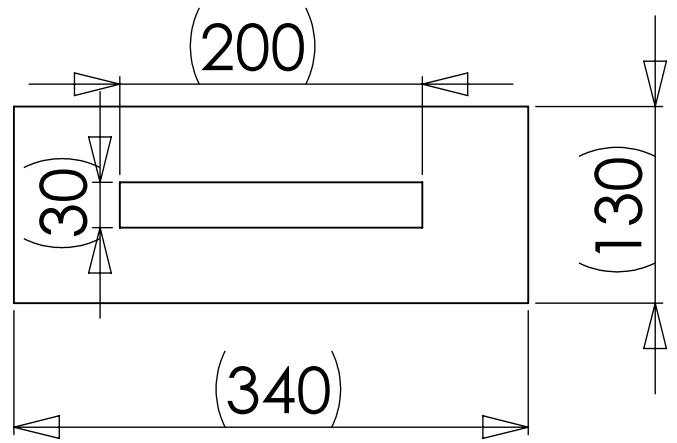
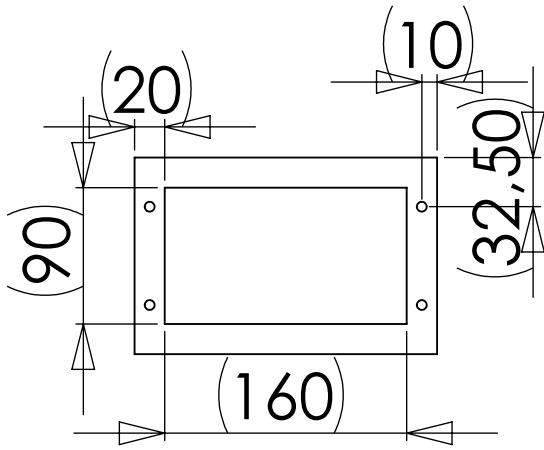
UNIVERSIDAD

UPCT

A4

ESCALA: 1:5

HOJA 1 DE 1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
ACABADO SUPERFICIAL:
TOLERANCIAS:
LINEAL:
ANGULAR:

ACABADO:

REBARBAR Y
ROMPER ARISTAS
VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

DAVID GÓMEZ FERNÁNDEZ

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	
DIBUJ.				
VERIF.				
APROB.				
FABR.				
CAUID.				
				MATERIAL: ACERO S235
				PESO:

TÍTULO:

BASE PRINCIPAL

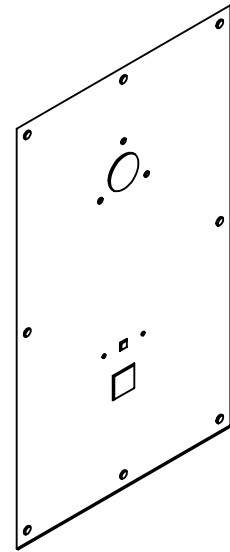
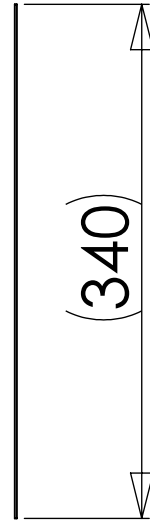
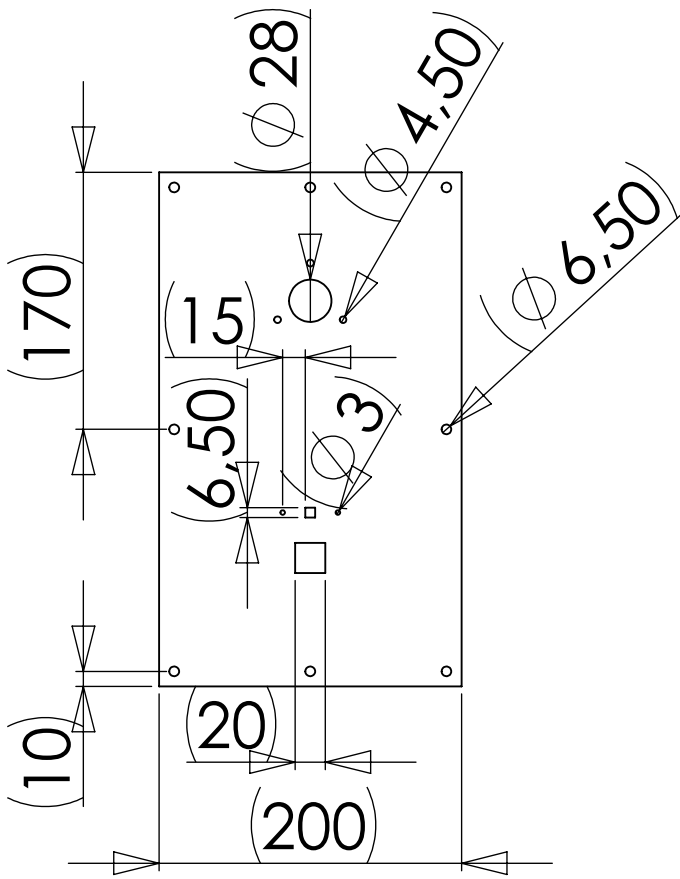
UNIVERSIDAD

UPCT

A4

ESCALA:1:2

HOJA 1 DE 1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
ACABADO SUPERFICIAL:
TOLERANCIAS:
LINEAL:
ANGULAR:

ACABADO:

REBARBAR Y
ROMPER ARISTAS
VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

DAVID GÓMEZ FERNÁNDEZ

TÍTULO:

TAPA SUPERIOR

UNIVERSIDAD

UPCT

A4

MATERIAL:

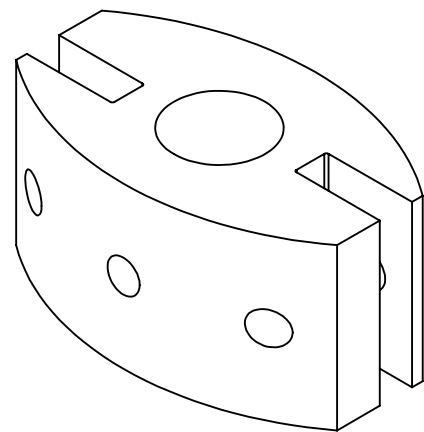
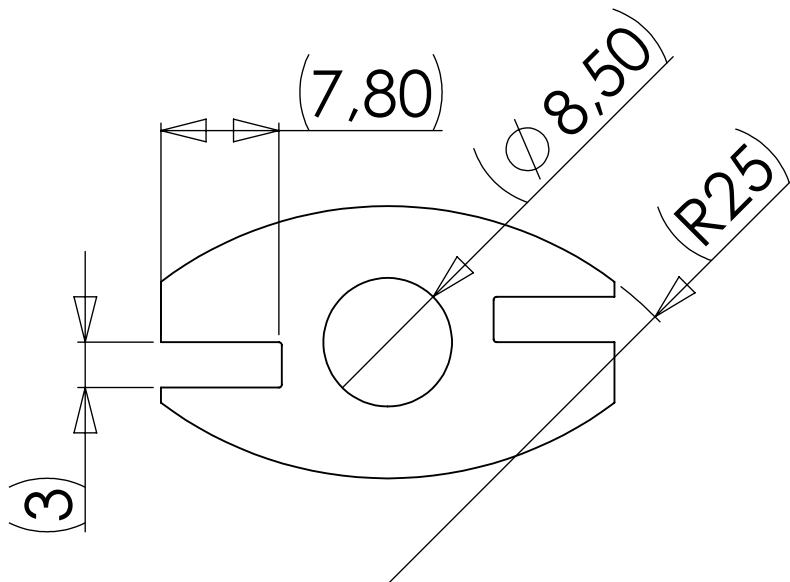
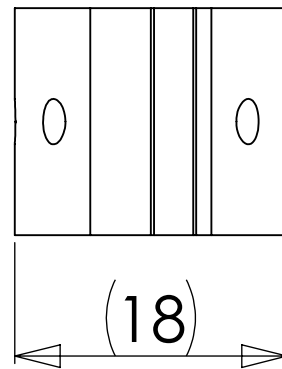
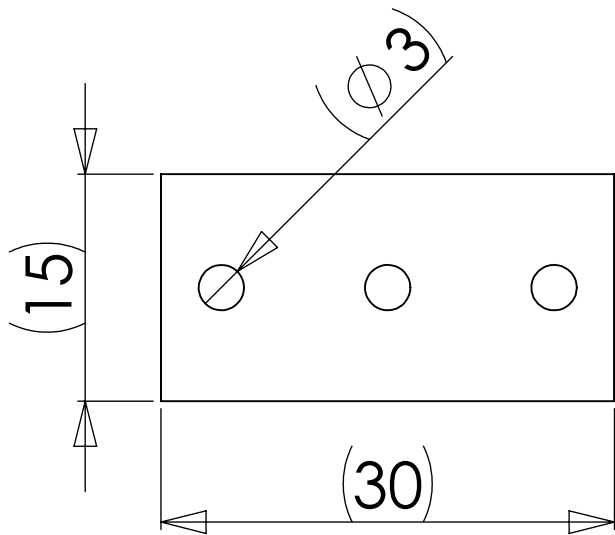
ACERO S235

PESO:

ESCALA:1:2

HOJA 1 DE 1

	NOMBRE	FIRMA	FECHA		
DIBUJ.					
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CAUID.					



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
ACABADO SUPERFICIAL:
TOLERANCIAS:
LINEAL:
ANGULAR:

ACABADO:

REBARBAR Y
ROMPER ARISTAS
VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

DAVID GÓMEZ FERNÁNDEZ

	NOMBRE	FIRMA	FECHA		
DIBUJ.					
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CAUD.				MATERIAL:	
				PLA	
				PESO:	

TÍTULO:

SOPORTE SUPERIOR

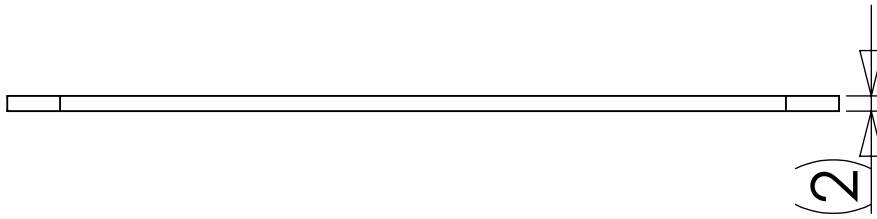
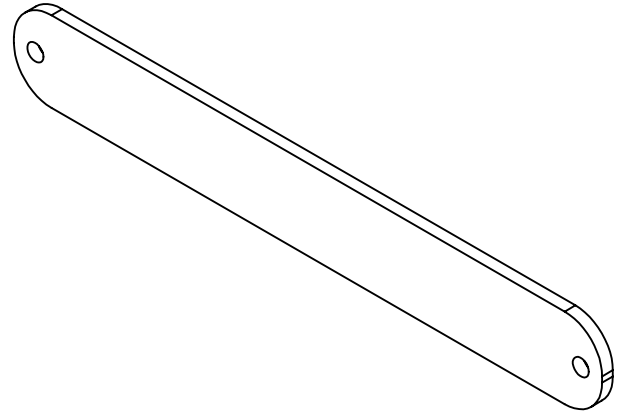
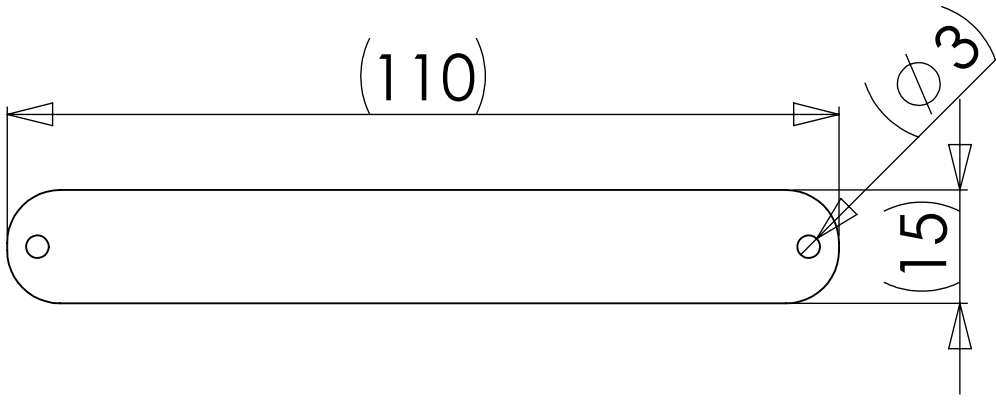
UNIVERSIDAD

UPCT

A4

ESCALA: 1:2

HOJA 1 DE 1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
ACABADO SUPERFICIAL:
TOLERANCIAS:
LINEAL:
ANGULAR:

ACABADO:

REBARBAR Y
ROMPER ARISTAS
VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

DAVID GÓMEZ FERNÁNDEZ

	NOMBRE	FIRMA	FECHA		
DIBUJ.					
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CAUD.				MATERIAL:	
				PLA	
				PESO:	

TÍTULO:

BRAZO

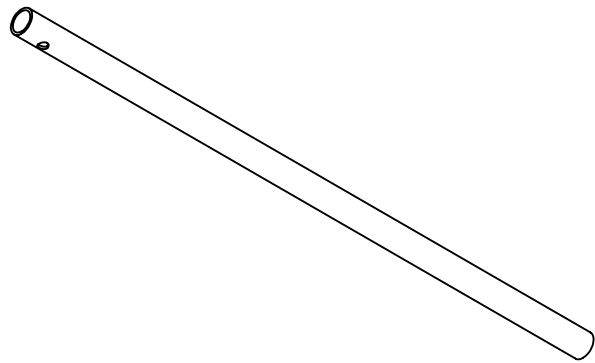
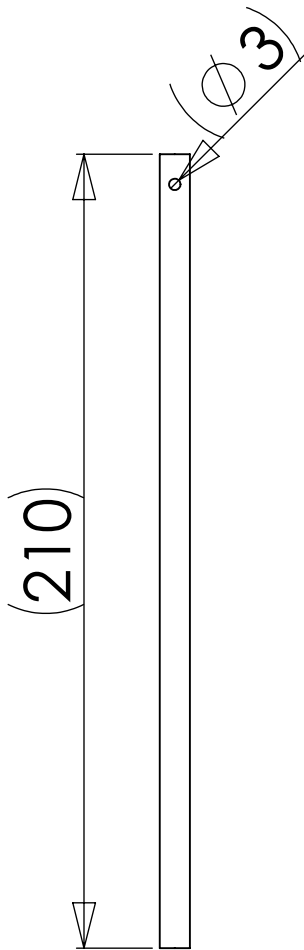
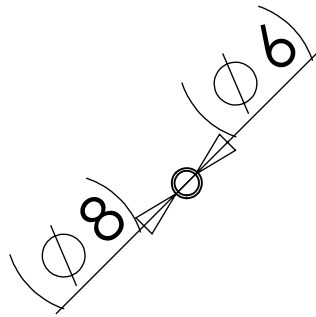
UNIVERSIDAD

UPCT

A4

ESCALA:1:2

HOJA 1 DE 1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

ACABADO:

REBARBAR Y
 ROMPER ARISTAS
 VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

DAVID GÓMEZ FERNÁNDEZ

	NOMBRE	FIRMA	FECHA		
DIBUJ.					
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CAUD.				MATERIAL:	
				ALUMINIO	
				PESO:	

TÍTULO:

EJE

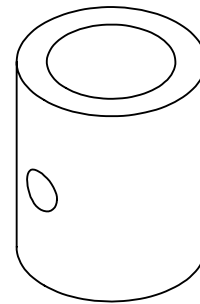
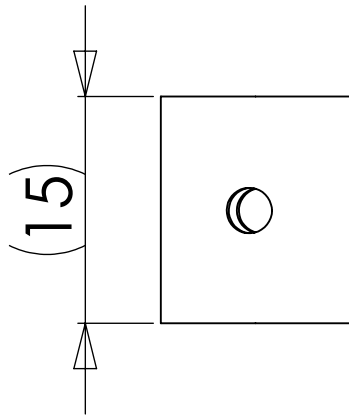
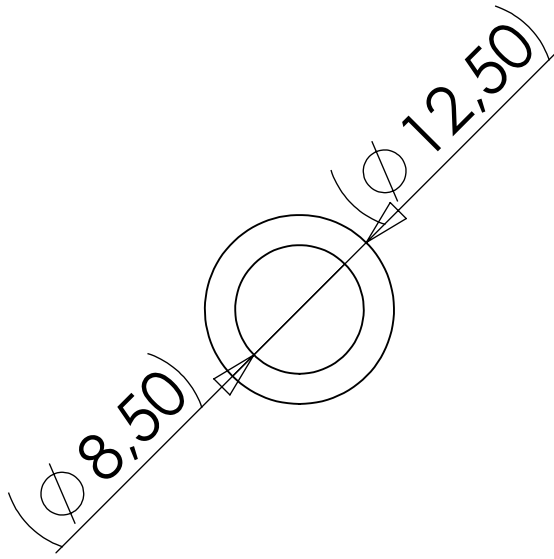
UNIVERSIDAD

UPCT

A4

ESCALA: 1:2

HOJA 1 DE 1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

ACABADO:

REBARBAR Y
 ROMPER ARISTAS
 VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

DAVID GÓMEZ FERNÁNDEZ

	NOMBRE	FIRMA	FECHA		
DIBUJ.					
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CAUD.				MATERIAL:	
				PLA	
				PESO:	

TÍTULO:

PRISIONERO

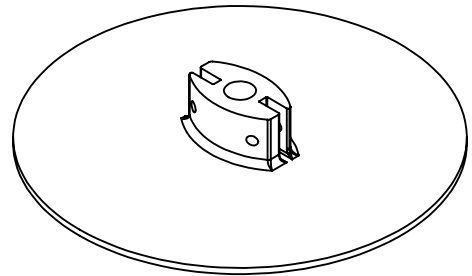
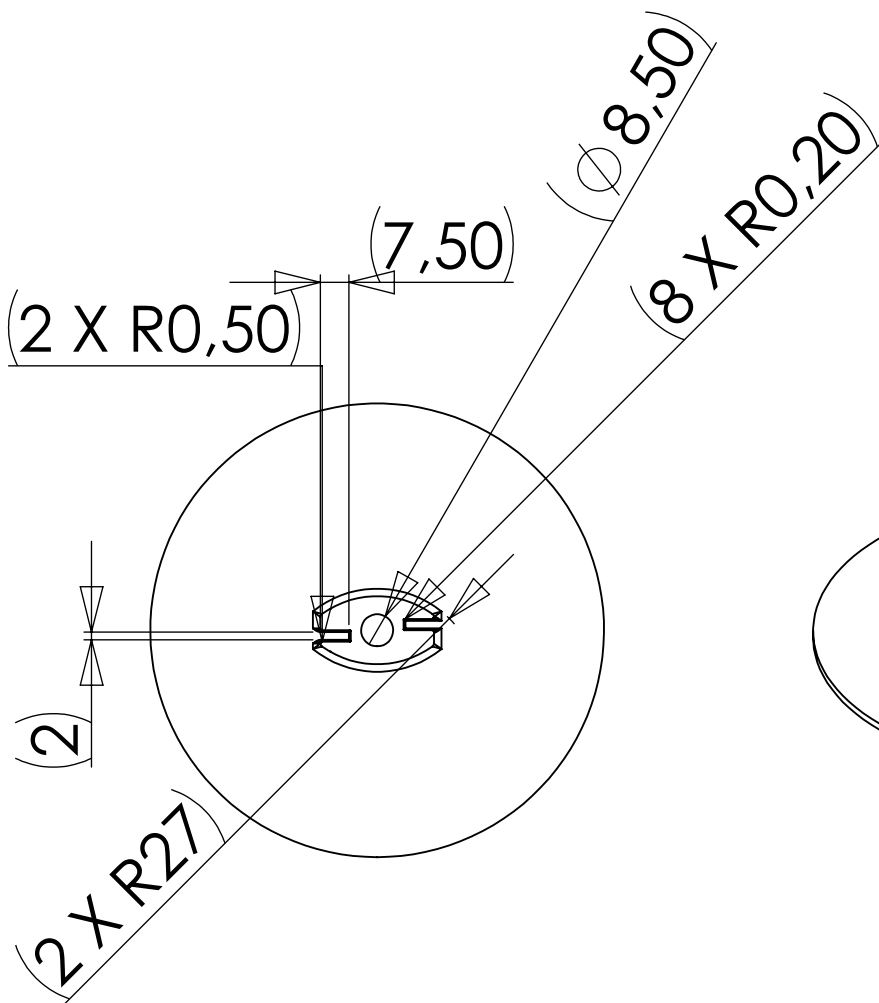
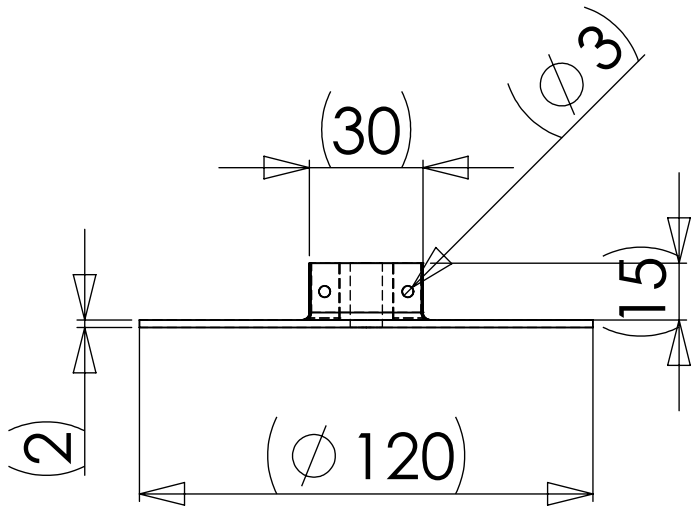
UNIVERSIDAD

UPCT

A4

ESCALA:1:2

HOJA 1 DE 1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
ACABADO SUPERFICIAL:
LINEAL:
ANGULAR:

ACABADO:

REBARBAR Y
ROMPER ARISTAS
VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

DAVID GÓMEZ FERNÁNDEZ

TÍTULO:

SOPORTE INFERIOR

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	
DIBUJ.				
VERIF.				
APROB.				
FABR.				
CAUD.				
				MATERIAL: PLA
				PESO:

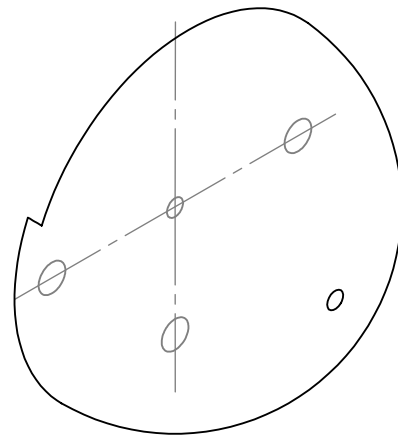
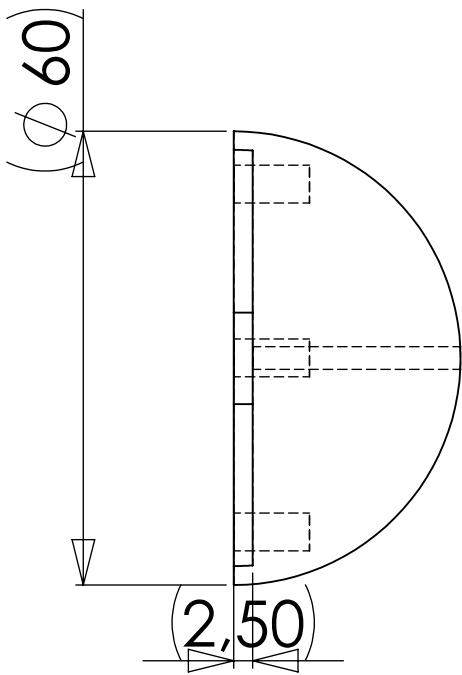
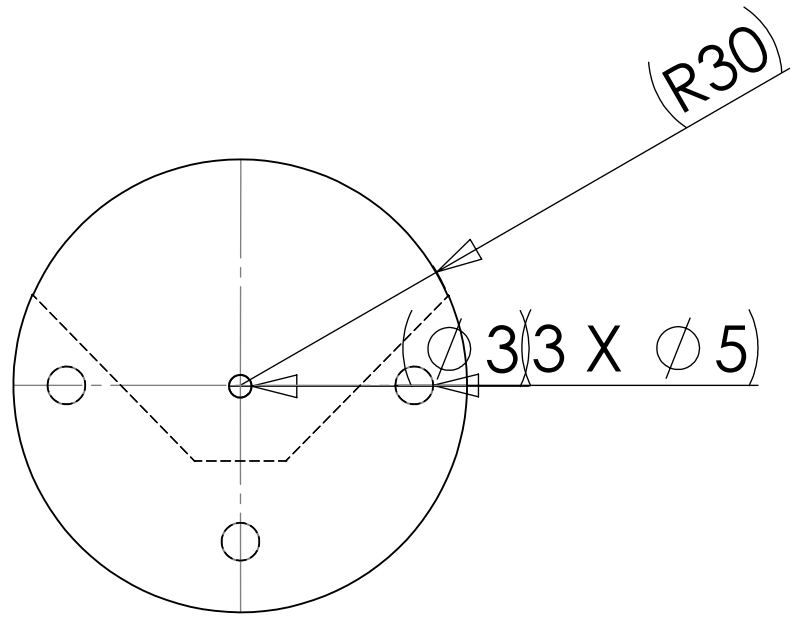
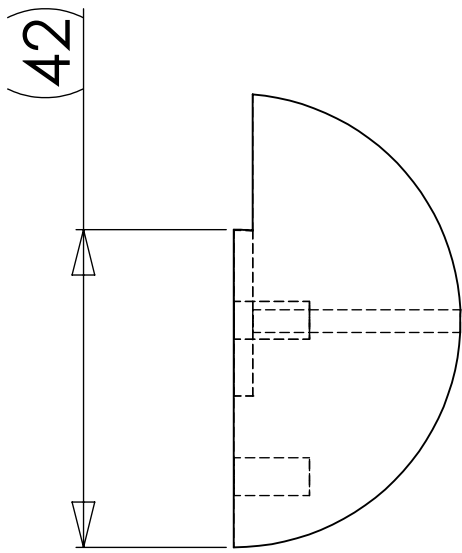
UNIVERSIDAD:

UPCT

A4

ESCALA:1:2

HOJA 1 DE 1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
ACABADO SUPERFICIAL:
TOLERANCIAS:
LINEAL:
ANGULAR:

ACABADO:

REBARBAR Y
ROMPER ARISTAS
VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

Nº PIEZAS: 4

DAVID GÓMEZ FERNÁNDEZ

TÍTULO:

SEMIESFERA

	NOMBRE	FIRMA	FECHA		
DIBUJ.					
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CAUD.				MATERIAL:	
				PLA	

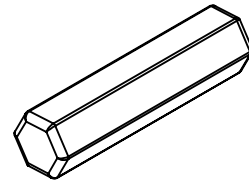
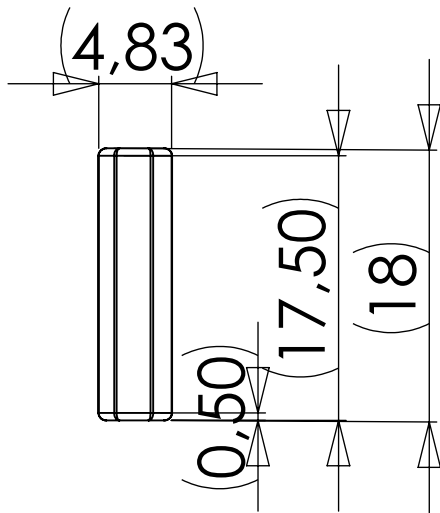
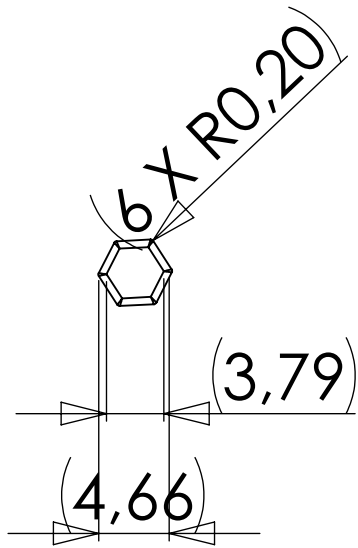
UNIVERSIDAD

UPCT

A4

ESCALA: 1:1

HOJA 1 DE 1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
ACABADO SUPERFICIAL:
TOLERANCIAS:
LINEAL:
ANGULAR:

ACABADO:

REBARBAR Y
ROMPER ARISTAS
VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

Nº PIEZAS: 6

DAVID GÓMEZ FERNÁNDEZ

	NOMBRE	FIRMA	FECHA		
DIBUJ.					
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CAUID.				MATERIAL:	
				PLA	
				PESO:	

TÍTULO:

PERNO

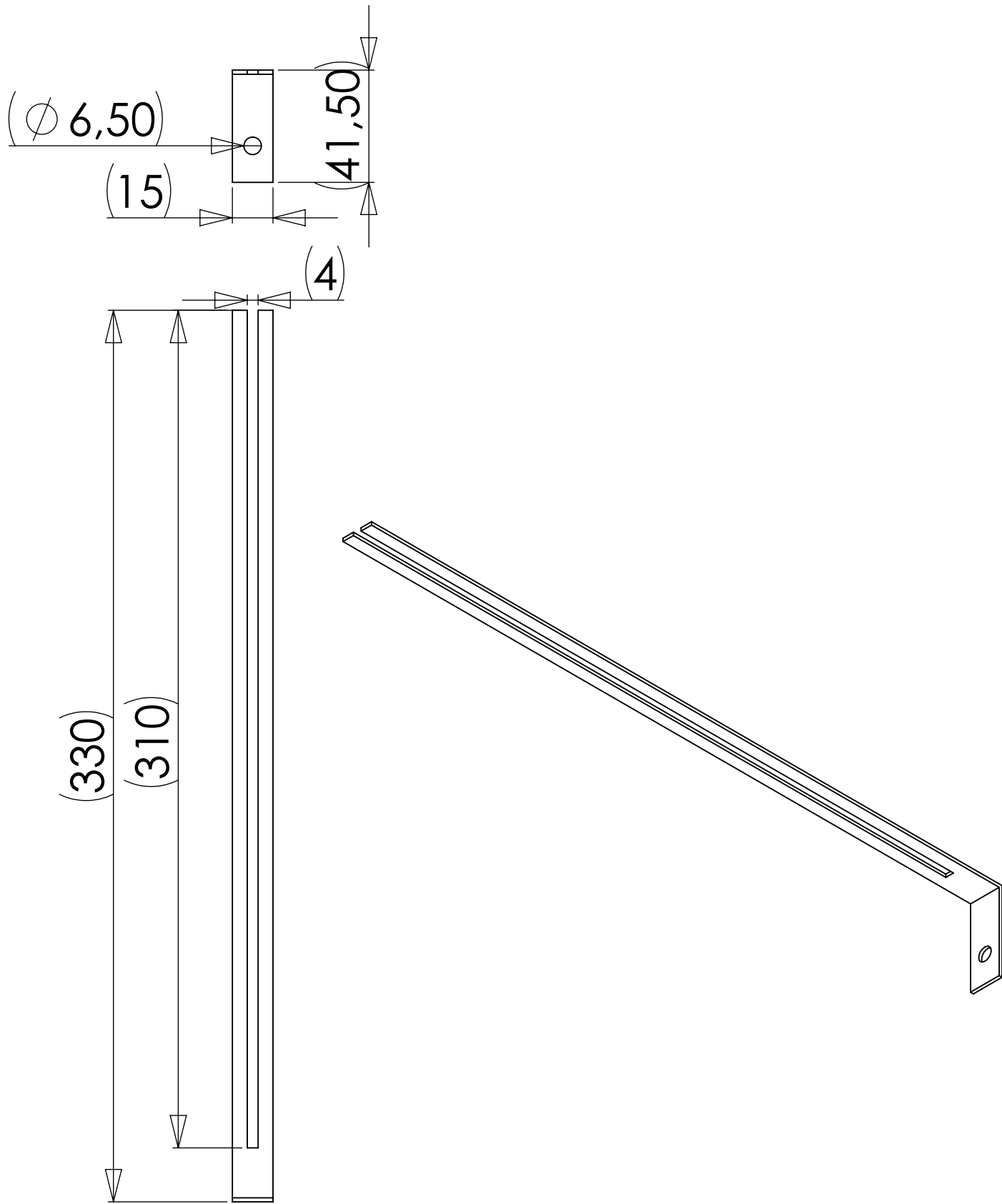
UNIVERSIDAD

UPCT

A4

ESCALA: 2:1

HOJA 1 DE 1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

ACABADO:

REBARBAR Y
 ROMPER ARISTAS
 VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

DAVID GÓMEZ FERNÁNDEZ

TÍTULO:

GUÍA POTENCIÓMETRO

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	
DIBUJ.				
VERIF.				
APROB.				
FABR.				
CAUID.				
				MATERIAL: ACERO S235
				PESO:

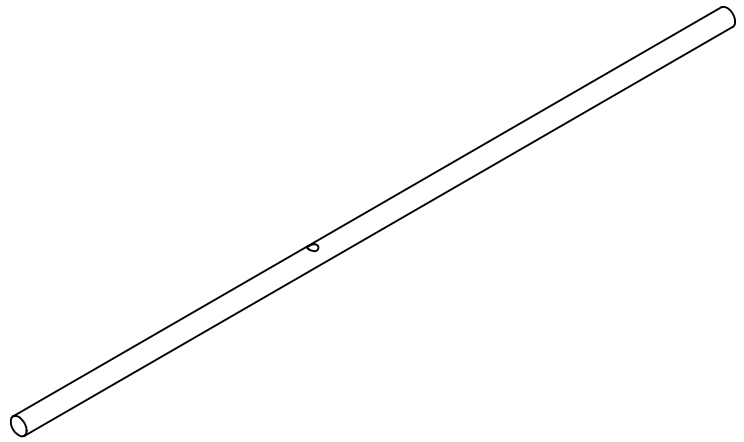
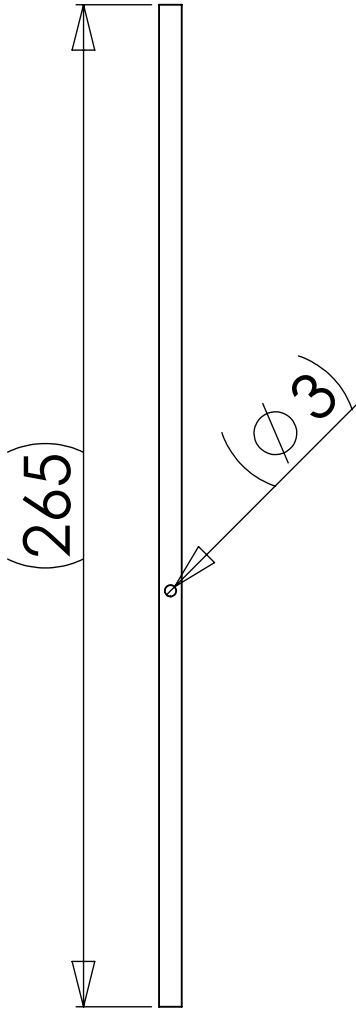
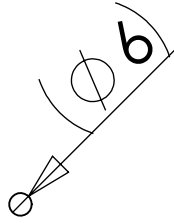
UNIVERSIDAD

UPCT

A4

ESCALA: 1:2

HOJA 1 DE 1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

ACABADO:

REBARBAR Y
 ROMPER ARISTAS
 VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

Nº PIEZAS: 1

DAVID GÓMEZ FERNÁNDEZ

TÍTULO:

GUÍA DEL SELECTOR

	NOMBRE	FIRMA	FECHA		
DIBUJ.					
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CAUD.					
				MATERIAL:	
				FIBRA DE VIDRIO	
				PESO:	

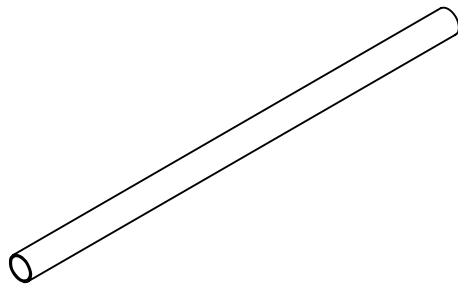
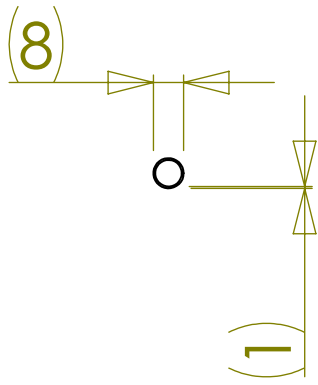
UNIVERSIDAD

UPCT

A4

ESCALA: 1:2

HOJA 1 DE 1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

ACABADO:

REBARBAR Y
 ROMPER ARISTAS
 VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

Nº PIEZAS: 1

DAVID GÓMEZ FERNÁNDEZ

TÍTULO:

PORTADOR DEL SELECTOR

	NOMBRE	FIRMA	FECHA		
DIBUJ.					
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CAUD.				MATERIAL:	
				PVC	
				PESO:	

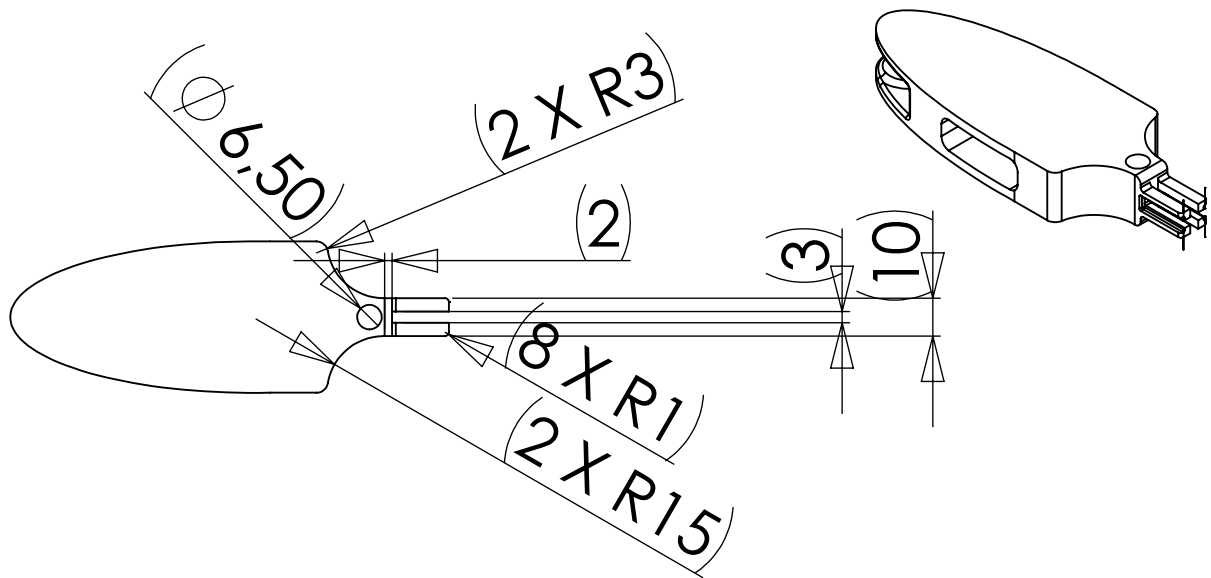
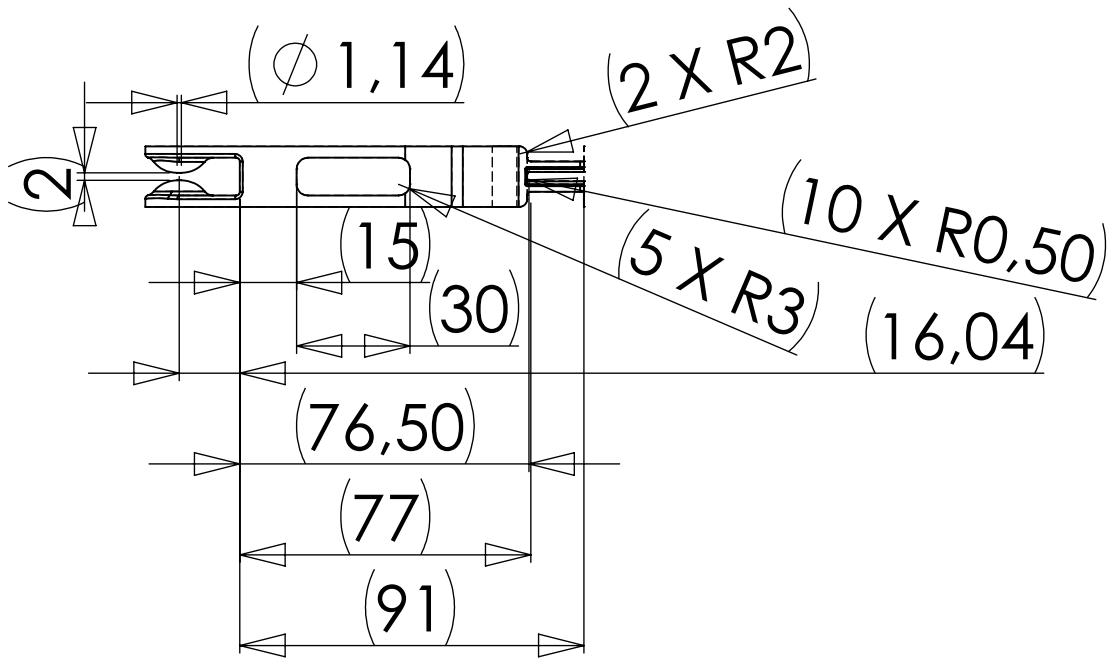
UNIVERSIDAD

UPCT

A4

ESCALA: 1:2

HOJA 1 DE 1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
ACABADO SUPERFICIAL:
TOLERANCIAS:
LINEAL:
ANGULAR:

ACABADO:

REBARBAR Y
ROMPER ARISTAS
VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

Nº PIEZAS: 1

DAVID GÓMEZ FERNÁNDEZ

TÍTULO:

SELECTOR POTENCIÓMETRO

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	
DIBUJ.				
VERIF.				
APROB.				
FABR.				
CAUD.				
				MATERIAL: PLA
				PESO:

UNIVERSIDAD

UPCT

A4

ESCALA: 1:2

HOJA 1 DE 1