

**ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES**

Departamento de Ingeniería Civil, de Materiales y Fabricación

Área de Ingeniería de los Procesos de Fabricación

# **TRABAJO FIN DE GRADO**

**Recreación virtual del reloj de torre instalado  
en la Iglesia de Cuevas de San Marcos en el año 1863**

Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y  
Desarrollo del Producto

**Autor: Naiara Algar Serrano**

**Tutor: Jesús Javier Jiménez Galea**

**MÁLAGA, enero 2026**





## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, me gustaría agradecer al tutor de mi proyecto, Jesús Jiménez, por el apoyo y dedicación mostrados en este proyecto para que fuera posible, compartiendo conmigo el interés por los mecanismos antiguos y el mundo del modelaje 3D.

Asimismo, quisiera agradecer profundamente al profesor emérito de la UNED, Miguel A. Sebastián, por su ayuda y paciencia en la gestión de la publicación en el XIII Congreso Internacional de la SEDPGYM en Ourense. Agradezco no solo su apoyo técnico, sino también el haber sido un ejemplo a seguir y el haberme abierto las puertas a este tipo de colaboraciones.

A mi familia, por el apoyo y ayuda que me han dado a lo largo de los meses en los que he estado realizando este proyecto, en especial a mi padre por acompañarme en algunas de las numerosas visitas a la torre de la Iglesia con escaleras e instrumentos de medida para garantizar mi seguridad mientras realizaba la toma de medidas en la torre del reloj.

Mencionar también al párroco de la Iglesia de San Marcos Evangelista Don Aaron y los monaguillos Juan José y Francisco, que siempre se han mostrado abiertos a las numerosas visitas.

Además, dar las gracias al cura Marcos Blanco, amigo de la familia que compartió las cartas de la compra del reloj enviadas por José Martínez.

Al Excelentísimo Ayuntamiento de Cuevas de San Marcos y a su alcalde Don José María Molina, que se prestó a la propuesta desde el principio, así como muestra de interés para la realización de mismo.

Y, por último, a mi pueblo. Este TFG lo hago con todo el cariño posible y con el deseo de que se pueda conservar la joya que tenemos olvidada en lo alto de la torre.

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	17
ABSTRACT.....	18
1. INTRODUCCIÓN .....	20
2. OBJETIVOS .....	21
3. CONTEXTO HISTÓRICO .....	22
3.1 Evolución de los relojes .....	22
Relojes de sol .....	22
Relojes de agua.....	23
Relojes de arena .....	25
Relojes de fuego.....	25
Reloj mecánico.....	27
Reloj eléctrico .....	28
Reloj atómico .....	29
3.2 Tipos de escapes mecánicos de relojes.....	30
-Escape de corona o foliot:.....	30
-Escape de áncora o retroceso .....	31
-Escape Graham o de retroceso bloqueado .....	32
-Escape de cilindro .....	33
-Escape dúplex .....	33
-Escape saltamontes .....	34
-Escape de gravedad:.....	35
-Escape de palanca .....	36
Escape coaxial:.....	37
3.3 Documentos relacionados con el reloj.....	39
4. MATERIALES Y PRODUCCIÓN DE LOS RELOJES DE TORRE.....	44
5 ELEMENTOS DEL RELOJ.....	45
5.1 Elementos generales .....	45
5.2 Tren de sonería de cuartos .....	51



5.3	Tren de sonería de horas .....	65
5.4	Tren de movimiento .....	74
5.5	Estructura.....	81
5.6	Cálculos del periodo de oscilación y de la longitud del péndulo.....	83
6	RESULTADOS.....	84
6.1	Modelado de las piezas .....	84
6.2	Recreación virtual.....	107
7	CONCLUSIONES .....	136
8	PUBLICACIONES .....	137
	ANEXO I: PLANOS.....	138
	BIBLIOGRAFÍA.....	141
	WEBGRAFÍA.....	142

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Sechat egipcio [1] .....	22
Figura 2: Reloj de sol [2].....	23
Figura 3: Clepsidra de Karnak [3].....	24
Figura 4: Clepsidra egipcia y griega [4].....	24
Figura 5: Reloj de arena [5].....	25
Figura 6: Diferentes relojes de fuego [6] .....	26
Figura 7: Relojes de fuego [7].....	26
Figura 8: Torre del reloj de Su Song [8].....	27
Figura 9: Primer reloj atómico del NIST (National Institute of Standards and Technology) [9] 29	
Figura 10: Esquema de un escape de corona [10].....	30
Figura 11: Detalle de un escape de áncora [11].....	31
Figura 12: Escape Graham o de retroceso bloqueado [12].....	32
Figura 13: Escape de cilindro [13] .....	33
Figura 14: Escape dúplex [14] .....	34
Figura 15: Boceto de Harrison del escape de saltamontes [15].....	35
Figura 16: Escape de gravedad [16].....	36
Figura 17: Escape de palanca [17] .....	37
Figura 18: Dibujo del escape coaxial de George Daniels [18].....	38
Figura 19: Documento perteneciente al archivo municipal de Cuevas de San Marcos donde se muestra inventariado el reloj. Fuente: propia.....	39
Figura 20: Carta del relojero José Martínez al Ayuntamiento de Cuevas de San Marcos presupuestando el reloj. Fuente: propia.....	40
Figura 21: Segunda carta del relojero José Martínez al Ayuntamiento de Cuevas de San Marcos presupuestando el reloj. Fuente: propia.....	42
Figura 22: Parte frontal del mecanismo del reloj. Fuente: propia .....	45
Figura 23: Rueda imperial de sonería de cuartos. Fuente: propia .....	46
Figura 24: Remontaje del mecanismo de las horas. Fuente: propia.....	48
Figura 25: Manivela para el remontaje desmontada. Fuente: propia .....	48
Figura 26: Pesas de los diferentes sistemas del mecanismo del reloj. Fuente: propia .....	50
Figura 27: Rueda primera de la sonería de cuartos. Fuente: propia .....	51
Figura 28: Detalle de la parte trasera de la rueda primera. Fuente: propia .....	52
Figura 29: Vista general de la rueda segunda. Fuente: propia.....	53
Figura 30: Engranajes que transmiten movimiento del minuterio al caracol de cuartos. Fuente: propia.....	54
Figura 31: Caracol de la sonería de cuartos y palpador. Fuente: propia.....	55

Figura 32: Detalle del palpador del caracol de cuartos. Fuente: propia .....	56
Figura 33: Sierra, palpador y caracol del mecanismo de sonería de los cuartos. Fuente: propia	57
Figura 34: Parte trasera del reloj. Fuente: propia.....	58
Figura 35: Actuador de bloqueo desde arriba. Fuente: propia.....	59
Figura 36: Pivote del eje de la rueda segunda que bloquea el actuador de bloqueo. Fuente: propia .....	59
Figura 37: Actuador de sonido de los cuartos. Fuente: propia .....	60
Figura 38: Detalle del actuador sonido de los cuartos. Fuente: propia .....	61
Figura 39: Detalle del actuador activador del mecanismo de las horas. Fuente: propia .....	61
Figura 40: Parte trasera del mecanismo del reloj para mostrar detalle de actuador. Fuente: propia .....	62
Figura 41: Venterol de los cuartos desmontado. Fuente: propia .....	63
Figura 42: Rueda de engrane del mecanismo de sonería de las horas. Fuente: propia .....	65
Figura 43: Rueda segunda del mecanismo de sonería de horas. Fuente: propia .....	66
Figura 44: Caracol de las horas y su respectivo palpador. Fuente: propia .....	67
Figura 45: Palpador del caracol de las horas. Fuente: propia.....	68
Figura 46: Sierra de las horas. Fuente: propia.....	69
Figura 47: Actuador de bloqueo del sistema de sonería de las horas. Fuente: propia .....	70
Figura 48: Actuador de sonido de las campanas de las horas desconectado. Fuente: propia.....	71
Figura 49: Actuador de sonido de las horas en su correcta posición. Fuente: propia.....	71
Figura 50: Comparativa de venteroles de los sistemas de sonería de cuartos y horas respectivamente.....	72
Figura 51: Pesa en forma de lenteja. Fuente: propia .....	74
Figura 52: Conjunto del péndulo. Fuente: propia.....	75
Figura 53: Imagen del conjunto del péndulo. Fuente: propia.....	76
Figura 54: Rueda de escape nueva y la original de izquierda a derecha. Fuente: propia .....	77
Figura 55: Áncora del escape Graham del mecanismo del reloj. Fuente: propia.....	78
Figura 56: Geometría de un áncora [19] .....	79
Figura 57: Aguja donde se marcan los minutos y donde firma el relojero. Fuente: propia.....	80
Figura 58: Rueda minutería junto con sistema de embrague y rueda que engrana con sistema de movimiento. Fuente: propia .....	80
Figura 59: Base de madera donde reposa el reloj. Fuente: propia.....	81
Figura 60: Estructura del reloj desde el lateral derecho. Fuente: propia .....	82
Figura 61: Paso 1 del proceso de modelado en SolidWorks. Fuente: propia .....	84
Figura 62: Detalle del Paso 2 del proceso de modelado en SolidWorks. Fuente: propia .....	85
Figura 63: Paso 2 del proceso de modelado en SolidWorks. Fuente: propia .....	85

Figura 64: Paso 3 del proceso de modelado en SolidWorks. Fuente: propia .....	86
Figura 65: Continuación del paso 3 del proceso de modelado en SolidWorks. Fuente: propia ..	86
Figura 66: Paso 4 del proceso de modelado en SolidWorks. Fuente: propia .....	87
Figura 67: Continuación del paso 4 del proceso de modelado en SolidWorks. Fuente: propia ..	87
Figura 68: Paso 5 del proceso de modelado en SolidWorks. Fuente: propia .....	88
Figura 69: Paso 6 del proceso de modelado en SolidWorks. Fuente: propia .....	88
Figura 70: Continuación del paso 6 del proceso de modelado en SolidWorks. Fuente: propia ..	89
Figura 71: Resultado del paso 6 del proceso del modelado en SolidWorks. Fuente: propia.....	89
Figura 72: Paso 7 del proceso de modelado en SolidWorks. Fuente: propia .....	90
Figura 73: Continuación del paso 7 del proceso de modelado en SolidWorks. Fuente: propia ..	90
Figura 74: Continuación del paso 7 del proceso de modelado en SolidWorks. Fuente: propia ..	91
Figura 75: Paso 8 del proceso de modelado en SolidWorks. Fuente: propia .....	91
Figura 76: Paso 1 del modelado en SolidWorks. Fuente: propia .....	92
Figura 77: Paso 2 del modelado en SolidWorks. Fuente: propia .....	92
Figura 78: Paso 3 del modelado en SolidWorks. Fuente: propia .....	93
Figura 79: Continuación del paso 3 del modelado en SolidWorks. Fuente: propia .....	93
Figura 80: Paso 4 del modelado en SolidWorks. Fuente: propia .....	94
Figura 81: Continuación del paso 4 del modelado en SolidWorks. Fuente: propia .....	94
Figura 82: Paso 5 del modelado en SolidWorks. Fuente: propia .....	95
Figura 83: Continuación del paso 5 del modelado en SolidWorks. Fuente: propia .....	95
Figura 84: Continuación del paso 6 del modelado en SolidWorks. Fuente: propia .....	96
Figura 85: Paso 6 del modelado en SolidWorks. Fuente: propia .....	96
Figura 86: Paso 7 del modelado en SolidWorks. Fuente: propia .....	97
Figura 87: Paso 8 del modelado en SolidWorks. Fuente: propia .....	98
Figura 88: Continuación del paso 8 del modelado en SolidWorks. Fuente: propia .....	98
Figura 89: Continuación del paso 8 del modelado en SolidWorks. Fuente: propia .....	99
Figura 90: Paso 9 del modelado en SolidWorks. Fuente: propia .....	99
Figura 91: Continuación del paso 9 del modelado en SolidWorks. Fuente: propia .....	100
Figura 92: Paso 10 del modelado en SolidWorks. Fuente: propia.....	101
Figura 93: Continuación del paso 10 del modelado en SolidWorks. Fuente: propia .....	101
Figura 94: Paso 11 del modelado en Solidworks. Fuente: propia .....	102
Figura 95: Continuación del paso 11 del modelado en SolidWorks. Fuente: propia.....	102
Figura 96: Paso 12 del modelado en SolidWorks. Fuente: propia.....	103
Figura 97: Continuación del paso 12 del modelado en SolidWorks. Fuente: propia .....	103
Figura 98: Zoom de la continuación del paso 12 del modelado en SolidWorks. Fuente: propia .....	104

Figura 99: Paso 13 del modelado en SolidWorks. Fuente: propia.....	104
Figura 100: Continuación del paso 14 del modelado en SolidWorks. Fuente: propia .....	105
Figura 101: Paso 14 del modelado en SolidWorks. Fuente: propia .....	105
Figura 102: Resultado del modelado en SolidWorks. Fuente: propia .....	106
Figura 103: Recreación del tambor de madera de cuartos. Fuente: propia .....	107
Figura 104: Recreación de la rueda primera o rueda de engrane. Fuente: propia .....	108
Figura 105: Recreación del trinquete del mecanismo de sonería de cuartos. Fuente: propia....	108
Figura 106: Recreación de la uña. Fuente: propia.....	109
Figura 107: Recreación del fleje. Fuente: propia .....	109
Figura 108: Recreación del tope delantero del tambor de madera. Fuente: propia .....	110
Figura 109: Recreación del tope trasero del tambor de madera. Fuente: propia .....	110
Figura 110: Recreación del eje de la rueda imperial. Fuente: propia .....	111
Figura 111: Recreación de la rueda imperial junto a el eje que la sostiene a la estructura. Fuente: propia.....	111
Figura 112: Rueda imperial real del sistema de sonería de cuartos.....	112
Figura 113: Recreación de la rueda imperial junto a el eje que la sostiene a la estructura. Fuente: propia.....	112
Figura 114: Recreación de la rueda segunda. Fuente: propia.....	112
Figura 115: Rueda segunda del mecanismo de sonería de cuartos real. Fuente: propia.....	113
Figura 116: Recreación del engranje que acompaña a la rueda segunda (izquierda) y engranaje que acompaña a la rueda segunda real (derecha). Fuente: propia .....	114
Figura 117: Pieza real y recreación del caracol de la sonería de los cuartos. Fuente: propia....	114
Figura 118: Pieza real y recreación del palpador del caracol de la sonería de cuartos. Fuente: propia.....	115
Figura 119: Sierra del mecanismo de sonería de cuartos y su recreación. Fuente: propia .....	115
Figura 120: Mecanismo de liberación del actuador de bloqueo real y recreación. Fuente: propia .....	116
Figura 121: Actuador de bloqueo de la sonería de los cuartos y recreación. Fuente: propia ....	116
Figura 122: .....	117
Figura 123: Recreación del venterol del sistema de sonería de cuartos. Fuente: propia.....	117
Figura 124: Actuador activador del mecanismo de sonería de horas real y recreación. Fuente: propia.....	118
Figura 125: Rueda imperial del sistema sonería de las horas real y su recreación. Fuente: propia .....	119
Figura 126: Rueda segunda del sistema de sonería de horas real y recreación. Fuente: propia	119
Figura 127: Caracol del sistema de sonería de las horas real y su recreación. Fuente: propia..	120

Figura 128: Palpador del caracol del sistema de sonería de horas real y recreación. Fuente: propia .....	120
Figura 129: Sierra del sistema de sonería de horas y recreación. Fuente: propia.....	121
Figura 130: Actuador de bloqueo del sistema de sonería de horas y recreación. Fuente: propia .....	121
Figura 131: Actuador de sonido del sistema de sonería de horas y su recreación. Fuente: propia .....	122
Figura 132: Venterol del sistema de sonería de horas real y recreación. Fuente: propia.....	122
Figura 133: Rueda imperial del sistema de movimiento real. Fuente: propia.....	123
Figura 134: Recreación de la rueda imperial del sistema de movimiento. Fuente: propia.....	123
Figura 135: Parte de atrás de la recreación de la rueda imperial del sistema de movimiento. Fuente: propia.....	124
Figura 136: Rueda segunda del sistema de movimiento real y su recreación. Fuente: propia..	124
Figura 137: Rueda de escape real y recreación. Fuente: propia .....	125
Figura 138: Áncora del sistema de escape del reloj y su recreación. Fuente: propia.....	125
Figura 139: Varillas que engancha en el amarre del péndulo real. Fuente: propia.....	126
Figura 140: Recreación de la varilla que modifica la longitud del péndulo. Fuente: propia.....	127
Figura 141: Detalle de la recreación de la varilla que modifica la longitud del péndulo. Fuente: propia.....	127
Figura 142: Varillas del péndulo unidas por una palometa real y recreación. Fuente: propia...	128
Figura 143: Pesa en forma de lenteja del péndulo real y recreación. Fuente: propia.....	128
Figura 144: Tenedor del péndulo real y recreación. Fuente: propia.....	129
Figura 145: Recreación del conjunto del péndulo. Fuente: propia.....	129
Figura 146: Perfil de la recreación de la parte superior del conjunto del péndulo del reloj. Fuente: propia.....	130
Figura 147: Amarre del péndulo al eje del áncora y su recreación. Fuente: propia .....	130
Figura 148: Pesas y las poleas de los diferentes sistemas del reloj y su recreación. Fuente: propia .....	131
Figura 149: Manivela para dar cuerda a los tres sistemas del reloj y su recreación. Fuente: propia .....	131
Figura 150: Recreación de un eje que une la bancada frontal con la bancada de atrás. Fuente: propia.....	132
Figura 151: Recreación de la parte frontal de la bancada. Fuente: propia .....	132
Figura 152: Recreación de la parte de atrás de la bancada. Fuente: propia.....	133
Figura 153: Recreación de barra horizontal de la parte de atrás de la bancada. Fuente: propia	133
Figura 154: Recreación de barra horizontal de la parte delantera de la bancada. Fuente: propia	133

Figura 155: Recreación de la base de madera donde se apoya el conjunto del reloj. Fuente: propia.....	134
Figura 156: Alzado frontal del reloj. Fuente: propia.....	134
Figura 157: Perspectiva del reloj. Fuente: propia.....	135
Figura 158: Alzado trasero del reloj. Fuente: propia.....	135
Figura 160: Perspectiva del reloj. Fuente: propia.....	135
Figura 159: Imagen del póster llevado al XII Congreso Internacional de la SEDPGYM. Fuente: propia.....	137

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Sistemas del reloj .....	45
Tabla 2: Partes de la rueda imperial .....	46
Tabla 3: Pesas de los diferentes sistemas .....	50
Tabla 4: Elementos visibles en la Figura 27 .....	52
Tabla 5: Elementos detalle parte trasera rueda primera.....	53
Tabla 6: Elementos en la Figura 29 .....	54
Tabla 7: Engranajes y parte de los elementos de atrás .....	55
Tabla 8: Piezas junto a caracol cuartos.....	55
Tabla 9: Elementos detalle palpador caracol de cuartos.....	56
Tabla 10: Elementos junto a sierra de cuartos.....	57
Tabla 11: Elementos visibles de la sonería de cuartos en la Figura 34.....	58
Tabla 12: Elementos en Figura 39.....	62
Tabla 13: Elementos en la Figura 40.....	63
Tabla 14: Elementos en la Figura 44.....	67
Tabla 15: Elemento en la Figura 46.....	69
Tabla 16: Elementos relativos al péndulo de la Figura 52.....	75
Tabla 17: Elementos péndulo y amarre en la Figura 53.....	76
Tabla 18: Elementos del ánora .....	78



## ÍNDICE DE FÓRMULAS

(1)Relación obtenida al saber que la rueda minutera tiene 60 dientes y marca 60 minutos	82
(2)Relación de transmisión de engranajes	82
(3)Relación de velocidades entre rueda conductora y conducida	82
(4)Otra forma de ver la relación de transmisión de los engranajes	82
(5)Aplicación de la relación de transmisión para el cálculo de la velocidad angular del escape	82
(6) Relación que relaciona el número de oscilaciones con el número de dientes del péndulo	82
(7) Relación entre el periodo y el número de oscilaciones de un péndulo	82
(8)Relación entre el periodo y la longitud de un péndulo	82



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

2D: 2 dimensiones

3D: 3 dimensiones

CAD: Computer Aided Design

mm: milímetros

SEDPGYM : Sociedad para la Defensa del Patrimonio Geológico y Minero

## RESUMEN

Un reloj de torre es un mecanismo de precisión formado principalmente por engranajes, actuadores y levas. Para conservar su precisión y funcionamiento es necesario que tengan un buen mantenimiento y reparaciones periódicas para así asegurar que joyas históricas se conserven en el estado adecuado. Eso es lo que no ha pasado con el reloj del año 1863 situado en la Iglesia de Cuevas de San Marcos (Málaga) del relojero del Excelentísimo Ayuntamiento de Bilbao, que tras una avería cuya naturaleza se desconoce, se dejó olvidado y sin funcionar, sustituyendo el sistema de sonería mecánico por uno digital configurable. Cabe destacar que el mecanismo del reloj nunca estuvo conectado a la esfera del reloj, con lo que, cuando funcionaba, solo se encargaba del sonido de las campanas.

El reloj, precisa de unas manos expertas que lo analicen y valoren los daños presentes en el mecanismo, así como determinar por qué dejó de funcionar. Teniendo claro eso, mi labor aquí fue la recreación del mecanismo del reloj virtualmente mediante software 3D. Para ello, se visitó en repetidas ocasiones el reloj para tomar fotos y medidas de todas las partes que forman el reloj, para su posterior recreación a ordenador una vez obtenidas esas medidas. Para la toma de fotos y medidas de algunas partes fue necesario tocar el reloj, haciendo esto el menor número posible de veces.

De la misma manera, la labor no solo se limitó a medir y recrear virtualmente, sino a analizar y estudiar cómo funcionan cada una de las piezas y la función que desarrollan en el sistema completo para dar lugar al funcionamiento tan complejo del reloj. El modelo virtual permitirá percibir de una manera visual el funcionamiento y detalles de este tipo de relojes mecánicos y ayudar así a la divulgación del patrimonio histórico local.

Una conclusión clara que se pudo sacar del estudio de dicho mecanismo fue que el óxido y el desgaste, así como muchas holguras e imprecisiones en diferentes elementos son parte importante de las causas por las cuales el reloj no funciona. Es difícil determinar la razón concreta si la hay, por la que el reloj no funciona, sin la ayuda de un profesional. Pues, aunque he pasado muchas horas investigando sobre relojes y visitando la torre del reloj, no soy experta relojera y hay detalles que se me escapan.

## ABSTRACT

A tower clock is a precision mechanism primarily composed of gears, actuators and cams. To maintain its accuracy and functionality, it requires proper maintenance and regular repairs to ensure that these historical treasures are preserved in their proper condition. This is precisely what has not happened with the 1863 clock located in the Church of Cuevas de San Marcos (Málaga), made by the clockmaker of the Bilbao City Council. After a breakdown of unknown origin, it was left forgotten and inoperable, with the mechanical striking system replaced by a configurable digital one. It is worth noting that the clock mechanism was never connected to the clock face; when it was working, it only chimed the bells.

The clock requires expert hands to analyze and assess the damage to the mechanism, as well as determine why it stopped working. With this in mind, my task here was to virtually recreate the clock mechanism using 3D software. To achieve this, the clock was visited repeatedly to take photographs and measurements of all its components, which were then recreated digitally. Taking photographs and measurements of some parts required touching the clock, but this was done as few times as possible.

Similarly, the work was not limited to measuring and virtually recreating the clock, but also involved analyzing and studying how each piece functions and its role within the complete system to produce the clock's complex operation. The virtual model will allow for a visual understanding of the workings and details of this type of mechanical clock, thus contributing to the dissemination of local historical heritage.

One clear conclusion drawn from the study of this mechanism was that rust and wear, as well as numerous loose parts and inaccuracies in various components, are significant factors in why the clock is not working. It is difficult to determine the specific reason, if any, why the clock is not working without the assistance of a professional. Well, although I've spent many hours researching clocks and visiting the clock tower, I'm not a watch expert and there are details that escape me.



## 1. INTRODUCCIÓN

Los relojes de torre del siglo XIX son una muestra importante de la ingeniería y el diseño de la época. Generalmente, este tipo de relojes se encontraban en edificios públicos como ayuntamientos o iglesias. Este periodo estuvo marcado por importantes avances tecnológicos, entre ellos la industrialización, ya que la producción artesanal pasó a métodos más industriales, por lo que significó la fabricación de mecanismos más precisos y robustos.

El siguiente proyecto a presentar trata de una recreación virtual del mecanismo de un reloj construido en el año 1863 por el relojero Don José Martínez, relojero del Excelentísimo Ayuntamiento de Bilbao en esa época.

El objetivo de dicho proyecto es ofrecer una clara comprensión del funcionamiento y mecanismos del reloj de torre, así como mostrar el proceso de modelado de las diferentes piezas y ensamblajes que constituyen el mecanismo del reloj. Para conseguir ese objetivo, se utilizarán las diferentes herramientas proporcionadas por el software CAD para modelado 2D y 3D, SolidWorks 2024.

Para una correcta comprensión del proceso de modelado y montaje, se proporcionarán a lo largo de este proyecto diversas imágenes de piezas y ensamblajes.

Para resumir, este Proyecto de Fin de Grado está concebido para poner de manifiesto el valor de mecanismos como este con el fin de contribuir al aprendizaje y la puesta en valor de los diferentes mecanismos antiguos de los pueblos. De la misma manera, me gustaría que la recreación virtual del mecanismo del reloj sirviera para pedir algún tipo de subvención para poder reparar y mantener el reloj, ya que es una joya histórica que tenemos en nuestro pueblo y que lograría atraer a visitantes curiosos con este tipo de maravillas.

## 2. OBJETIVOS

En el referido proyecto, se aspira a alcanzar las siguientes metas:

- 1- **Recreación del mecanismo de reloj de torre virtualmente:** Utilizando el software 3D, SolidWorks 2024, para la creación de piezas y ensamblajes necesarios para esta recreación virtual.
- 2- **Comprensión del funcionamiento de dicho mecanismo:** a partir de la recreación virtual, se mostrará el funcionamiento de los mecanismos, incluyendo así el mecanismo más importante de los relojes de torre, el escape.
- 3- **Otorgar una visión de los engranajes internos del mecanismo:** mediante las diferentes vistas que se pueden ir obteniendo con el software 3D, se enseñará la importancia de cada uno de los engranajes y piezas contribuyentes a que sea posible la puesta en marcha de un reloj de torre.
- 4- **Aportación a enseñanza:** a través de esta recreación virtual puede ser mucho más sencillo transmitir y mostrar el funcionamiento del mecanismo debido al lugar donde se encuentra, que es de difícil acceso.
- 5- **Contribución a la cultura y la historia:** el resultado obtenido de este proyecto puede colaborar a que dicho mecanismo sea una atracción turística al pueblo por diversos amantes y entendidos de relojes o simplemente personas curiosas por la historia y los mecanismos antiguos, así como permitiría acercar los objetos de valor histórico a todos los habitantes del mismo, para que así conozcan objetos de gran valor pertenecientes al municipio donde viven.

### 3. CONTEXTO HISTÓRICO

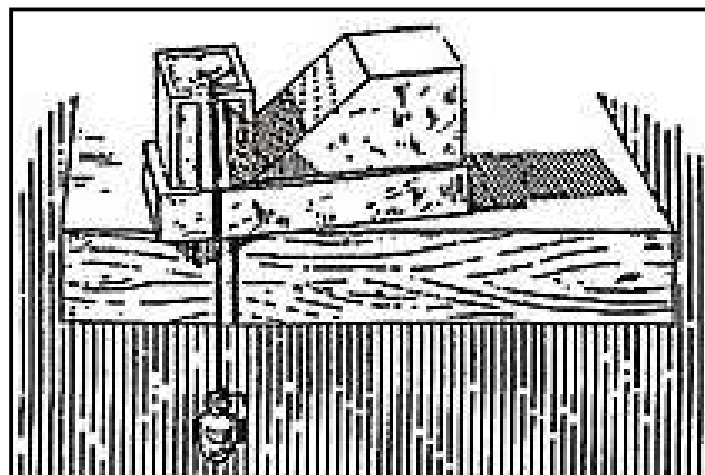
#### 3.1 Evolución de los relojes

La forma de medir el tiempo ha cambiado de manera drástica a lo largo de los años, desde la utilización de los primeros humanos del Sol y las estrellas, hasta los relojes inteligentes de hoy en día. La creación de los primeros relojes se dio por la necesidad de medir el tiempo y organizar las tareas y actividades a lo largo del día. Repasaremos la historia de los relojes.

#### Relojes de sol

Los dispositivos que inicialmente consiguieron medir el tiempo se basaban en la observación de los movimientos regulares de los astros del cielo, un claro ejemplo son los relojes solares. Los relojes de sol aparecieron por la curiosidad humana de medir el tiempo gracias a la observación directa o indirecta de los astros, en este caso por la observación del sol y de la sombra que este proporciona. El funcionamiento de estos relojes es sencillo, un objeto perpendicular al plano del reloj denominado gnomon, proyecta la sombra producida por el Sol sobre la superficie del reloj dotada de marcas horarias, también llamada dial. Dichas marcas en el dial pueden ser lineales o curvas, dependiendo del diseño del reloj y donde se encuentre este situado, debido a que es de vital importancia la latitud y la longitud del lugar donde se instale dicho reloj.

Un claro ejemplo de que ya existían desde hace más de 3500 años es un instrumento denominado *setjat* o *sechat* (*Figura 1*), diseñado en torno al 1500 a.C. Dicho instrumento se componía de dos piezas prismáticas de piedra, de unos tres decímetros de longitud, situadas perpendicularmente una respecto a la otra, donde una de ellas tenía marcas para las horas y la otra servía como gnomon.



*Figura 1: Sechat egipcio [1]*

En la *Figura 2*, por su parte, también podemos observar un reloj de sol, este tal vez con la forma que más solemos identificar a este tipo de relojes quizás porque sean de los más modernos y los que se suelen utilizar en algunos sitios en la actualidad. Este posee un gnomon en el centro en forma de triángulo que permite marcar las horas en el dial, dispuesto alrededor del gnomon con números romanos. En el caso de esta imagen las marcas del dial también son triangulares, se deduce para mantener la estética acorde al resto del reloj.



*Figura 2: Reloj de sol [2]*

### Relojes de agua

Principalmente por la noche, cuando ya no eran útiles los relojes de sol, se usaban los relojes de agua, denominados clepsidras, y los de arena, que se servían del flujo de agua y arena respectivamente para la medición de un periodo de tiempo concreto. La clepsidra por su parte, utilizaban el flujo regulado del agua desde o hasta un recipiente con marcas graduadas para la medición del tiempo.

La *Figura 3* de la página siguiente muestra una de las clepsidras más antiguas encontradas que data del año 1530 a.C., fecha en la que se construyó para el rey Amenhotep I. Las clepsidras también fueron usadas en diferentes civilizaciones, más o menos modificadas, como uno de los instrumentos más eficientes para medir el paso del tiempo, desde los atenienses para determinar el intervalo de tiempo que hablaban los oradores en los tribunales, como más tarde los romanos para señalar las guardias nocturnas de las campañas militares. El principio de los relojes de agua fue evolucionando, dando lugar a instrumentos hidráulicos más complejos.



*Figura 3: Clepsidra de Karnak [3]*

En la [Figura 4](#) podemos apreciar dos tipos de clepsidras, la egipcia a la izquierda y la griega a la derecha, ambas utilizando el mismo principio de recipientes que se vacían para ir dando la hora según las marcas que se encuentran en el interior o en el exterior de los recipientes que contienen el agua.



*Figura 4: Clepsidra egipcia y griega [4]*

### **Relojes de arena**

Con respecto al reloj de arena, funciona de manera similar al reloj de agua. Mediante el flujo de arena normalmente fina entre dos recipientes de vidrio conectados, sirviéndose solamente de la energía potencial entre el receptáculo superior al inferior. Una vez que el recipiente superior se vacía y el inferior se llena, el instrumento puede ser invertido y funcionar en el sentido contrario, siendo capaz de medir el mismo periodo de tiempo que en el otro sentido.

La *Figura 5* representa el reloj de arena que se conoce generalmente ya que es la forma más estandarizada del mismo. Este en concreto posee una estructura que mantiene el recipiente de vidrio en su interior y le aporta estabilidad y una mayor resistencia.

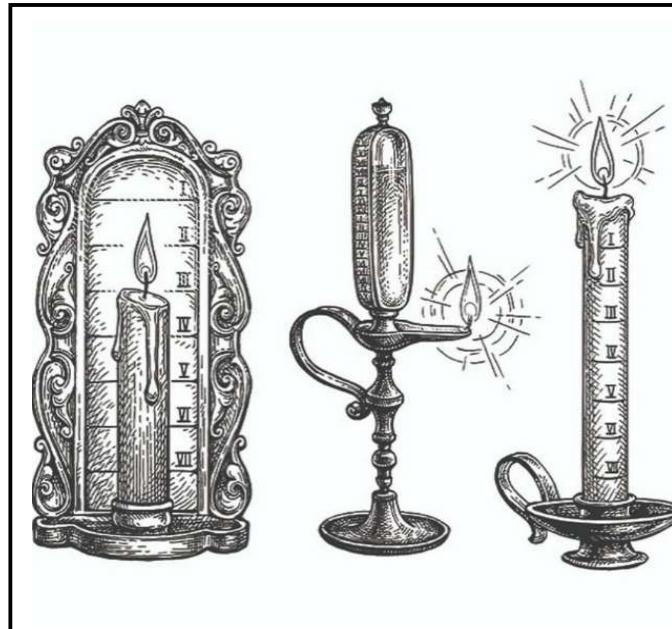


*Figura 5: Reloj de arena [5]*

### **Relojes de fuego**

El funcionamiento de este tipo de relojes se basaba en comparar en una escala la combustión regular de un material o la evolución de una llama. No se conoce a ciencia cierta cuando se comenzaron a utilizar y elaborar estos relojes, pero su primera referencia escrita es de un poema de You Jiangu, del año 520 d. C.

Tanto en la [Figura 6](#) como en la [Figura 7](#) podemos apreciar diferentes tipos de relojes de fuego, unos muestran la hora por la consumición de la vela sobre un dial que se encuentra detrás de esta, mientras que otras, revelan la hora y producen un sonido, debido a que la vela se va consumiendo y en esta se encuentran clavados elementos metálicos, que tras ir agotándose la vela van cayendo.



*Figura 6: Diferentes relojes de fuego [6]*

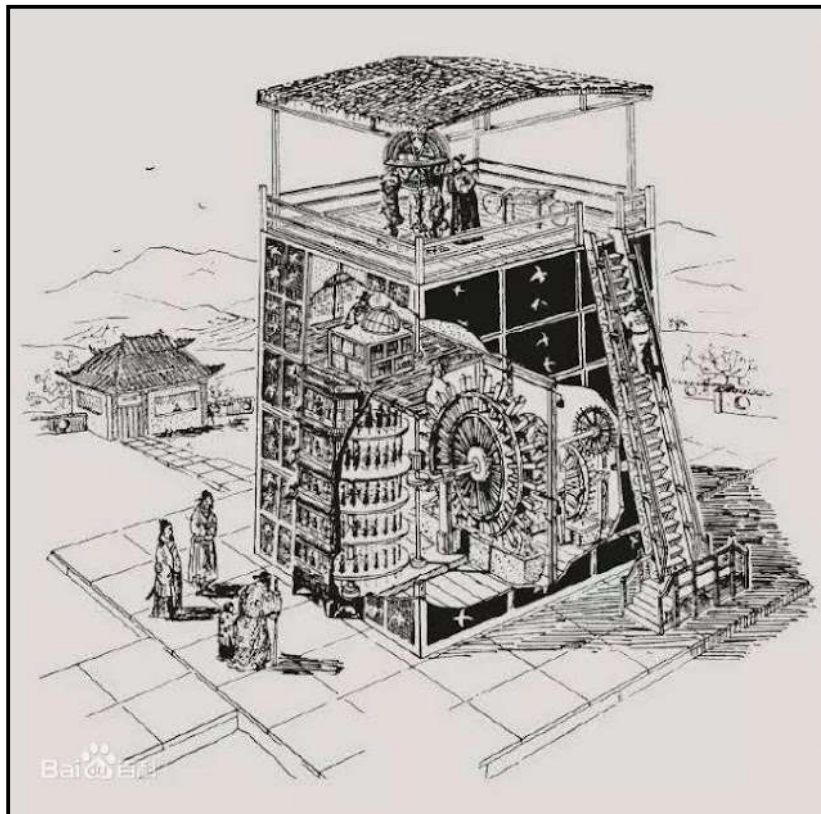


*Figura 7: Relojes de fuego [7]*

### Reloj mecánico

La creación de los relojes mecánicos se remonta al siglo IX, donde la embajada del califa Harun al-Rashid ofreció al emperador Carlomagno un reloj mecánico que despertó su atención tanto como para ser registrado de manera detallada en los Anales del Imperio Carolingio. Más tarde entre los siglos X y XI en el Imperio chino, se idearon varios prototipos, el cual destaca el más famoso, construido en 1094, el reloj de Su Song. Pero los relojes orientales, solo fueron una evolución de las anteriores clepsidras.

En la *Figura 8* se puede distinguir una representación de la torre del reloj que elaboró Su Song, que medía el tiempo mediante la observación de los astros. La torre funcionaba gracias a su complejísima maquinaria movida por energía hidráulica y gracias al flujo constante de agua, una de las primeras aplicaciones del mecanismo de “escape”, indispensable para mantener el ritmo regular en cualquier reloj de precisión.



*Figura 8: Torre del reloj de Su Song [8]*

Pero los verdaderos relojes mecánicos fueron creados en Europa por la necesidad de los monjes de medir tiempos intermedios que no eran posibles de calcular con la salida y la puesta del sol. Con lo cual, fue en los monasterios donde se crearon e idearon los mecanismos que facilitaron a los monjes conocer con mayor precisión las horas de los rezos a lo largo del día y la noche. De la misma forma, durante el siglo X y ligado a la mejora del comercio, este invento permitió que se regularan a su vez los trabajos urbanos, ya que estos requerían de mayor precisión que los trabajos

del campo, en los que eran suficiente hasta el momento con la observación de los astros para el horario laboral.

Con la llegada de estos mecanismos a las ciudades, también lo hicieron las campanas, que permitían señalar el comienzo y el final de las horas laborales, así como de los rezos pertinentes. Para cumplir con su función de dar la hora de manera precisa, se sustituyó el flujo de agua para mover los mecanismos por una nueva tecnología, la de un peso que, atado a una cuerda y esta enrollada a un eje, permite que al desenrollarla se muevan los mecanismos asociados a dicho eje. De esta manera fue posible convertir las unidades de tiempo inicialmente consideradas a lo que actualmente llamamos minutos y segundos. De ahí, se desarrolló una gran invención, de vital importancia para los actuales relojes mecánicos, que regulaba y frenaba la caída del peso: el escape, del que se hablará más en profundidad en el apartado de funcionamiento. Todos estos avances tecnológicos permitieron que poco a poco se crearan relojes de menor tamaño, de manera que los relojes de las torres pasaron a poderse tener en estancias y más tarde en el bolsillo y en las muñecas de los propietarios.

### **Reloj eléctrico**

En el año 1840, el fabricante de relojes e instrumentos escocés Alexander Bain, utilizó por primera vez la electricidad para mantener un reloj de péndulo en movimiento, por eso se le atribuye a Bain la invención del reloj eléctrico. Más tarde, en el año 1857, el físico francés Jules Antoine Lissajous demostró el uso de la corriente eléctrica para hacer vibrar un diapasón de manera indefinida, por lo que fue le pionero en el uso de este descubrimiento utilizado como método para medir con precisión la frecuencia. Con la constante innovación y creación de nuevos inventos y métodos para medir el tiempo, se descubrieron las propiedades del cuarzo para regular y mantener la misma frecuencia que la generada por el campo eléctrico generado por un circuito electrónico, dando lugar a los relojes de cuarzo modernos. En la década de 1950, los relojes de cuarzo dieron paso a los relojes atómicos.

### Reloj atómico

En la *Figura 9* podemos observar el primer reloj atómico fue construido en 1949 por el estadounidense Willard Frank Libby en la Oficina Nacional de Normas de EE. UU. Este era un reloj atómico de amoníaco y su precisión no era muy buena, pero les sirvió para demostrar el concepto de reloj atómico. Por lo que más tarde, en 1955 Louis Essen en el Laboratorio Nacional de Física de Reino Unido fabrica un reloj atómico más exacto, utilizando el Cesio -133.



*Figura 9: Primer reloj atómico del NIST (National Institute of Standards and Technology) [9]*

La calibración de este reloj atómico se realizó mediante la escala cronológica astronómica tiempo de efemérides, forma constante y uniforme del tiempo utilizada en astronomía para hacer cálculos del movimiento orbital de objetos del sistema solar. Posteriormente se usaría el Rubidio -87 y el Hidrógeno -1. EL primer reloj atómico que se comercializó fue el Atomichron. Este fue fabricado por la National Company y se vendieron más de 50 unidades entre 1956 y 1960. Pero esta máquina, cara y de unas grandes dimensiones, fue sustituida por modelos más pequeños como el modelo 5060 de Hewlett-Packard, de cesio, lanzado en 1964.

En 2004 los científicos del National Institute of Standards and Technology (NIST) demostraron un reloj atómico de chips, siendo este la centésima parte de cualquier otro y el 2008 lo hicieron basado en lógica cuántica sobre mercurio y sobre iones individuales de aluminio, siendo estos dos

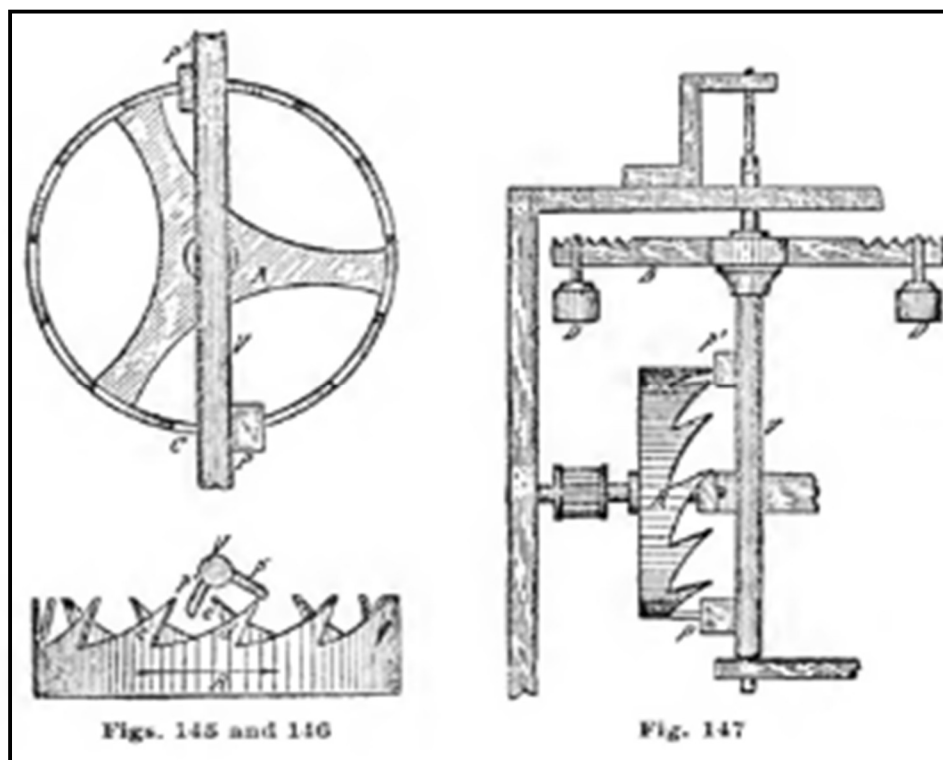
los relojes más exactos construidos hasta la fecha, ya que no se atrasan ni se adelantan a una velocidad que pase en más de un segundo en mil millones de años.

### 3.2 Tipos de escapes mecánicos de relojes

El conjunto de la rueda de escape y el áncora forman lo conocido como el “escape del reloj”. A continuación, se explicarán los principales tipos de escape que existen:

**-Escape de corona o foliot:** se desconoce su inventor y la fecha en la que fue inventado. Es el tipo de escape más antiguo. Este tipo de escape fue utilizado desde finales del siglo 13 a mediados del 19. La barra horizontal con pesas en cada extremo (foliot) posee dos paletas que tienen unos 90 grados entre sí, de forma que solo una de ellas engrana con los dientes de la corona a la vez. Conforme la rueda gira y mueve la corona, un diente de esta empuja a la paleta, de manera que gira el eje y el foliot. Este tipo de escapes es muy inexacto, pues cualquier pequeña alteración como el viento pueda hacer que el foliot se mueva y se retrase o adelante.

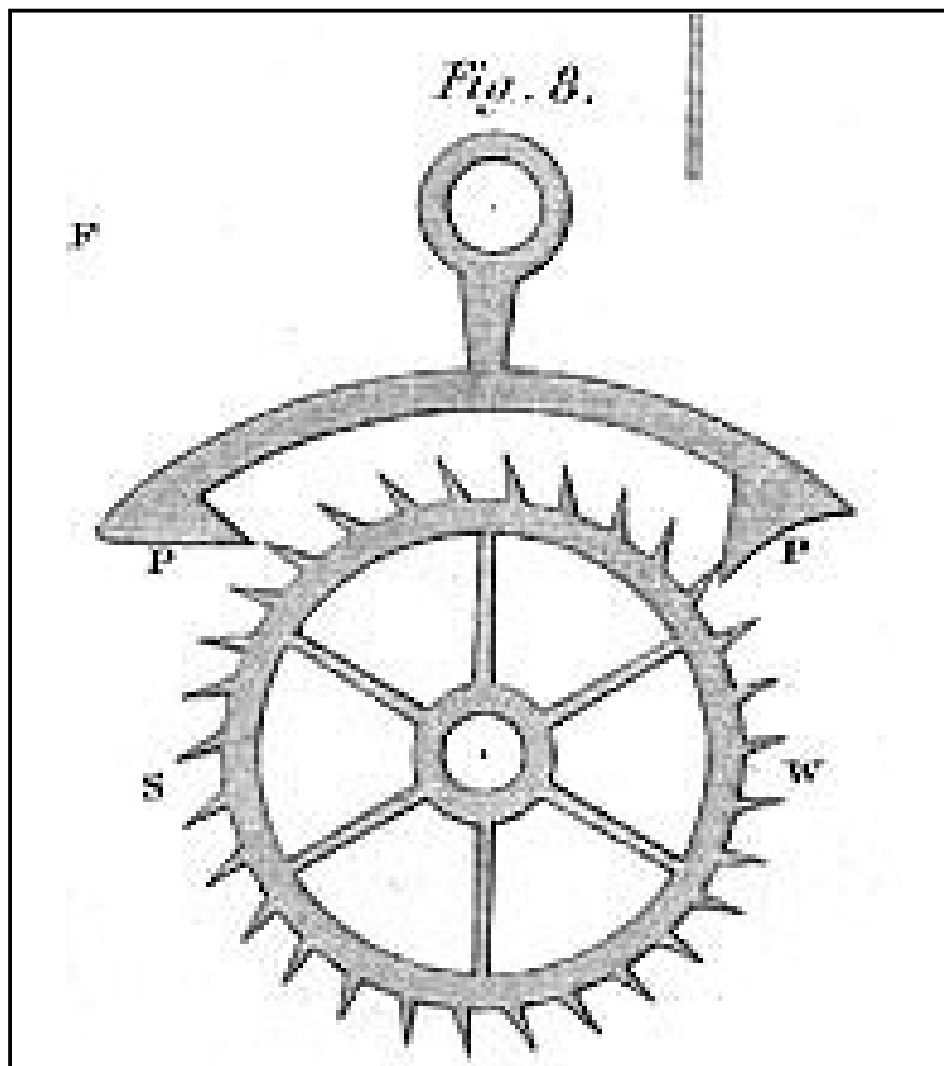
La *Figura 10* muestra una representación del escape de corona mencionado arriba, donde podemos observar con claridad la corona y el foliot con sus paletas sobre ella.



*Figura 10: Esquema de un escape de corona [10]*

**-Escape de áncora o retroceso:** este tipo de escape fue inventado en torno a 1657 por Robert Hooke y remplazó al de corona para convertirse en el tipo de escape usado en los relojes de péndulo hasta el siglo XIX. Su característica distintiva es el retroceso. Al bloquear una de las paletas a un diente de la rueda de escape, la forma y el ángulo de los dientes y las paletas hacen que la rueda de escape se mueva levemente hacia atrás antes de quedar liberada. Este movimiento provoca una fuerza irregular sobre el péndulo, interfiriendo en la isocronía de este.

En la *Figura 11* podemos ver la forma característica de un escape de áncora, tanto por la forma como por el ángulo que presentan los dientes de la rueda de escape como los del áncora que apoya sobre ella.



*Figura 11: Detalle de un escape de áncora [11]*

**-Escape Graham o de retroceso bloqueado:** inventado por el que le da nombre George Graham en 1715, este es la mejora del escape de áncora anterior. Al cambiar la geometría de las paletas y de los dientes de la rueda de escape, permitió evitar el leve retroceso de la rueda de escape, lo que aumenta la precisión del reloj. Cada paleta posee dos caras, una cara “de bloqueo” (o reposo), esta tiene forma circular, y otra cara “de impulso” que es inclinada. La *Figura 12* refleja la diferencia geométrica de la rueda de escape de un escape Graham frente a la rueda de escape de un escape de retroceso además de la diferencia en las paletas del áncora.

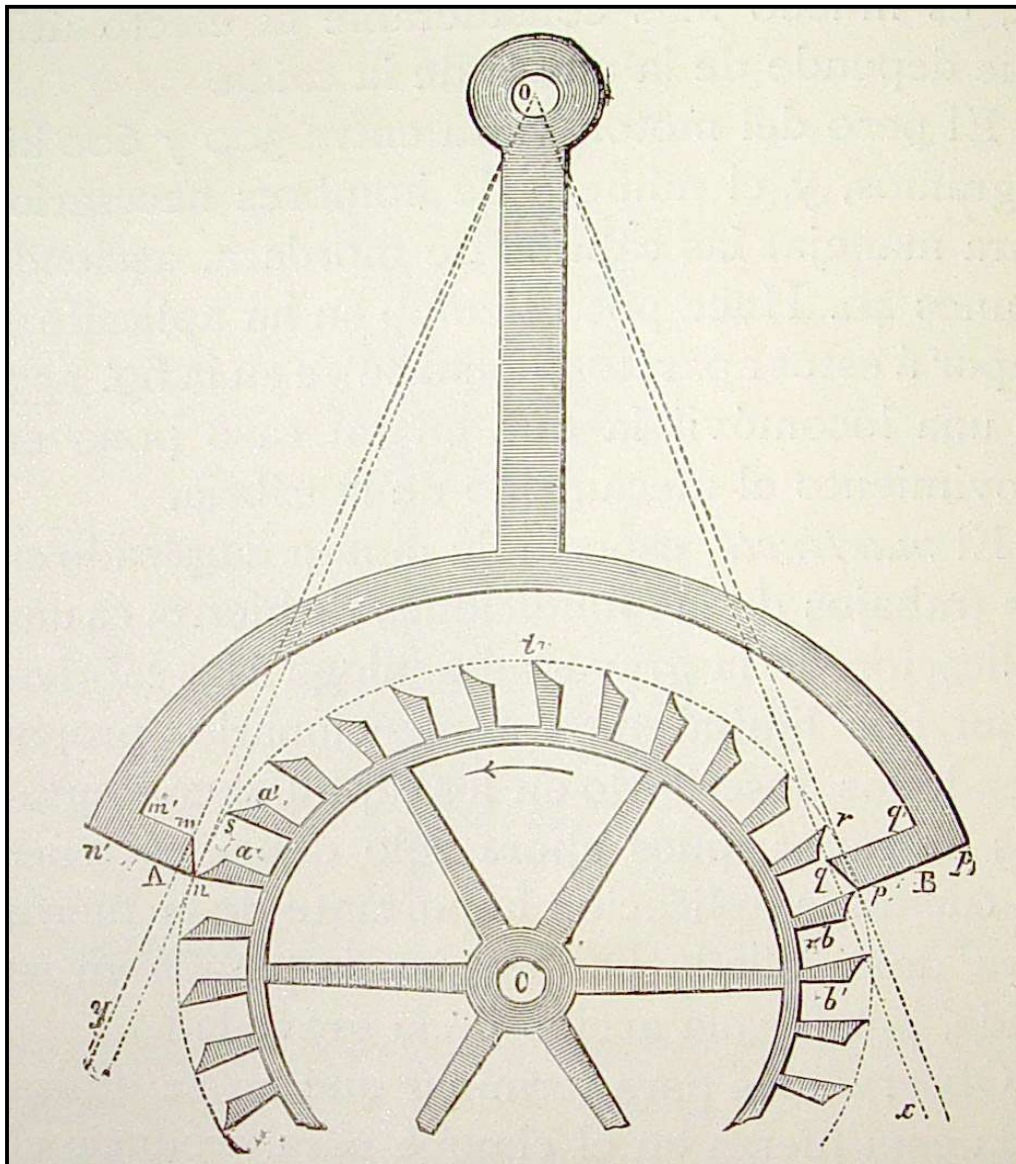
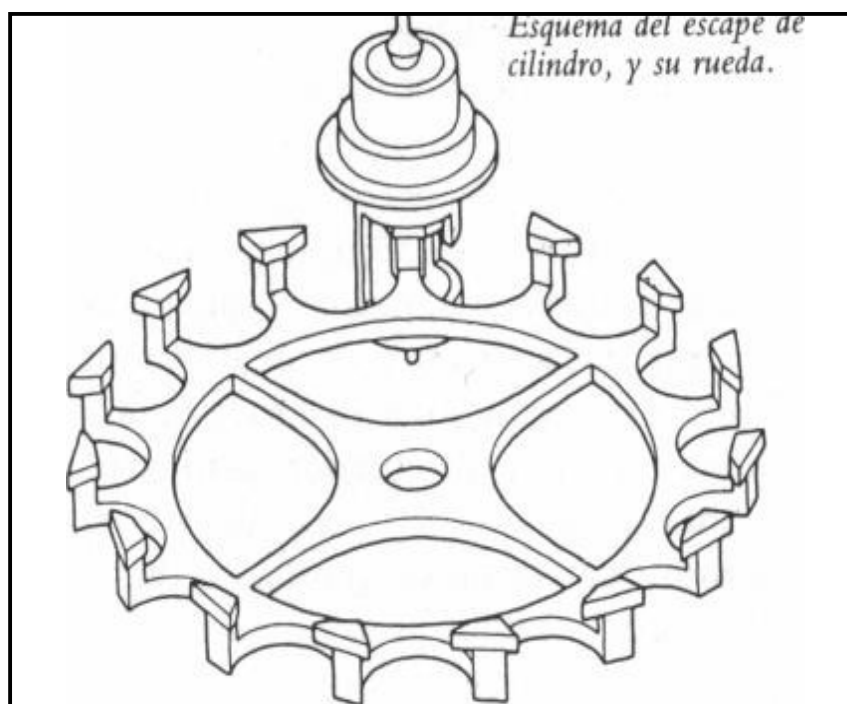


Figura 12: Escape Graham o de retroceso bloqueado [12]

**-Escape de cilindro:** inventado por el relojero inglés Thomas Tompion en 1695 y perfeccionado por el conocido relojero George Graham en 1726, fue uno de los que remplazó al escape de corona en relojes de bolsillo tras en 1700. Una de sus principales virtudes era que es más fino que el reloj de corona, lo que permitía crear relojes delgados, pero por el contrario se detectó un desgaste excesivo excepto en los cilindros hechos de rubí, por lo cual no se utilizó este tipo de escape durante el siglo XVIII. Resolvieron este inconveniente fabricando el cilindro y la rueda de escape de acero endurecido. Este tipo de escape posee un cilindro recortado en el eje del volante en lugar de paletas, en el que los dientes en forma de cuña van entrando de uno en uno e impulsan el volante con el borde del cilindro en la entrada y en la salida.

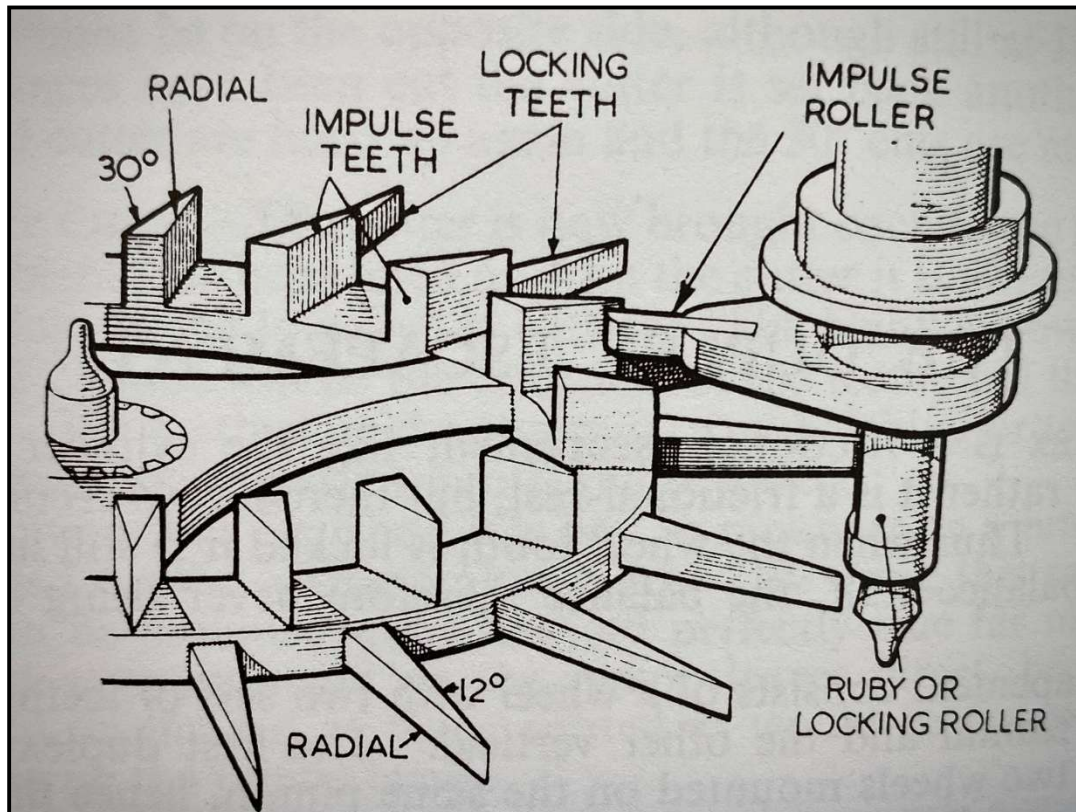
En la *Figura 13* se aprecia un escape de cilindro, donde uno de los dientes en forma de cuña de la rueda de escape se encuentra dentro del cilindro para lo que se supone, que va a ser impulsado por el cilindro.



*Figura 13: Escape de cilindro [13]*

**-Escape dúplex:** este tipo de escape fue inventado alrededor del 1700 por Robert Hooke, mejorado por Jean Baptiste Dutertre y Pierre Le Roy y patentado finalmente en 1782 por Thomas Tyrer. Inicialmente poseían dos ruedas de escape y aunque era difícil de fabricar, alcanzaba una precisión bastante mayor que los relojes con escape de cilindro. Se utilizó principalmente en los relojes de bolsillo ingleses de calidad desde 1790 hasta 1860. La rueda de escape posee dos juegos de dientes, de ahí su nombre, los de bloqueo son los largos y los de impulso, más cortos, sobresalen entre los mencionados anteriormente.

La *Figura 14* muestra una representación del escape dúplex. En ella podemos apreciar los dos juegos de dientes, los más cortos y de impulso; los más largos de bloqueo. Además, se observa también los diferentes ángulos entre los dos juegos de dientes para un correcto funcionamiento del mecanismo de escape.



*Figura 14: Escape dúplex [14]*

**-Escape saltamontes:** inventado en 1722 por John Harrison, formado por dos brazos articulados o paletas. Es un escape mecánico raro pero interesante. Cuando el extremo de un brazo se engancha en la rueda de escape, este lo impulsa hacia atrás, lo que libera al otro brazo, que se mueve para dejar pasar a la rueda de escape. Luego, pasa igual con el otro brazo, así de manera sucesiva. Este tipo de escapes no ha sido muy utilizado desde que Harrison los inventó. A diferencia del resto de escapes, este tiene muy poco desgaste y consume poca energía. Por el contrario, un defecto que tiene es que, al empujar constantemente al péndulo, no permite que este oscile, lo que provoca variaciones debido a las ligeras diferencias en la fuerza de accionamiento.

La *Figura 15* representa un boceto realizado por el relojero John Harrison, inventor del escape de saltamontes. En ella se pueden apreciar los dos brazos apoyados con pesos en sus extremos además de las bisagras situadas en el centro de cada brazo.

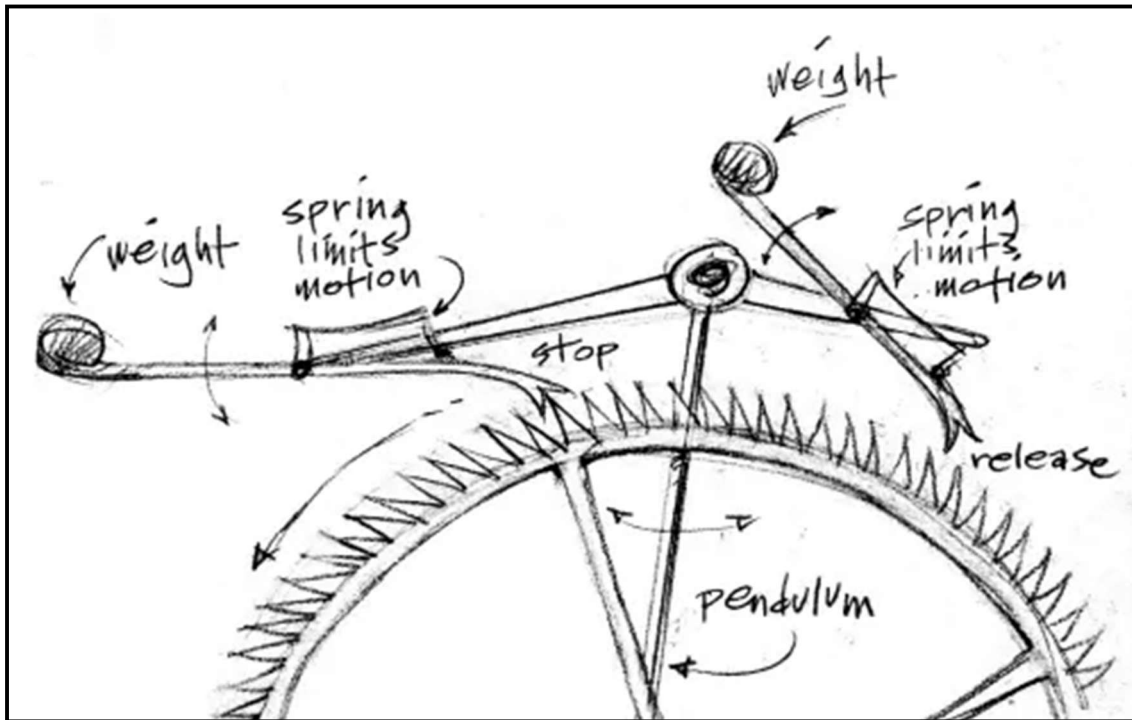


Figura 15: Boceto de Harrison del escape de saltamontes [15]

**-Escape de gravedad:** este tipo de escape fue inventado por Lord Grimthorpe y se instaló en el actualmente famoso “Big Ben”. La ventaja principal reside en que no hay contacto directo entre el tren y el péndulo, por lo que el escape no se ve afectado por las variaciones en la fuerza de accionamiento. El impulso proviene del peso de los dos brazos que caen alternativamente a los lados de la varilla del péndulo. Cada uno posee una pequeña paleta que bloquea y libera (cuando se levanta el brazo) a la rueda de escape. Cuando un brazo cae, éste impulsa a su vez al péndulo.

La [Figura 16](#) muestra una representación del escape de gravedad. En esta podemos distinguir ambos brazos a cada lado del péndulo con sus respectivas paletas de bloqueo, que liberan o bloquean la rueda de escape situada en el centro.

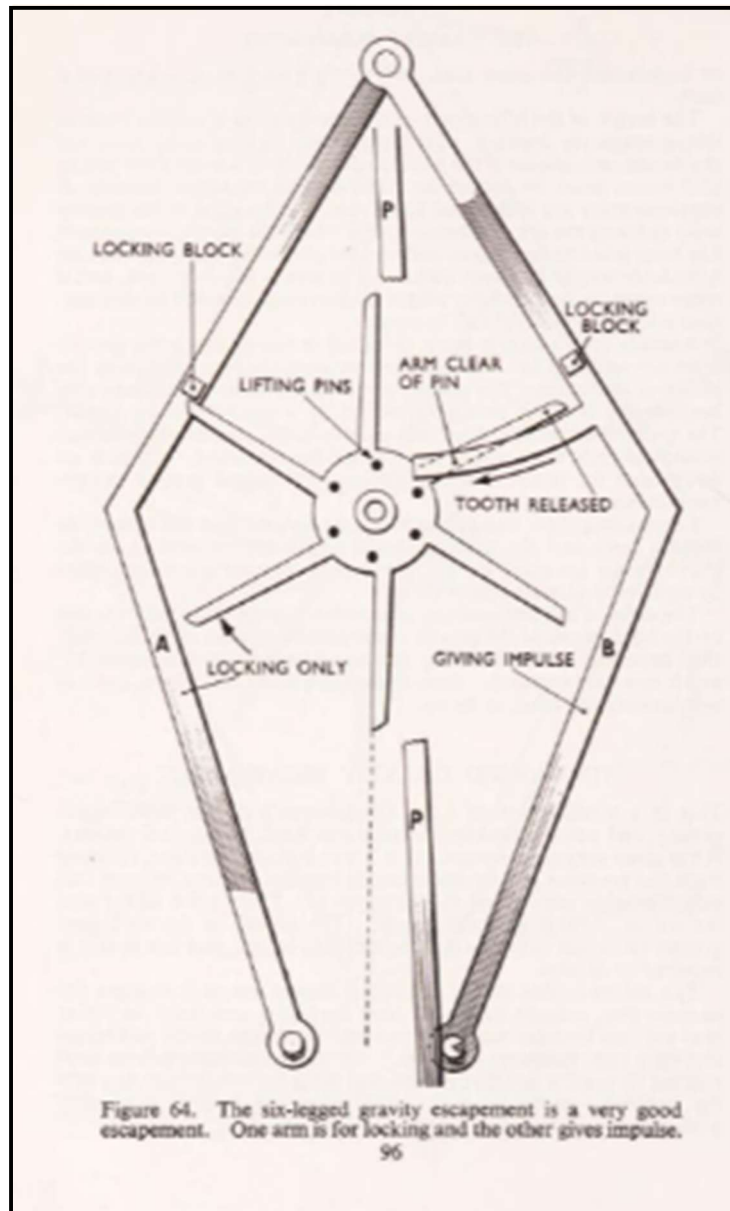
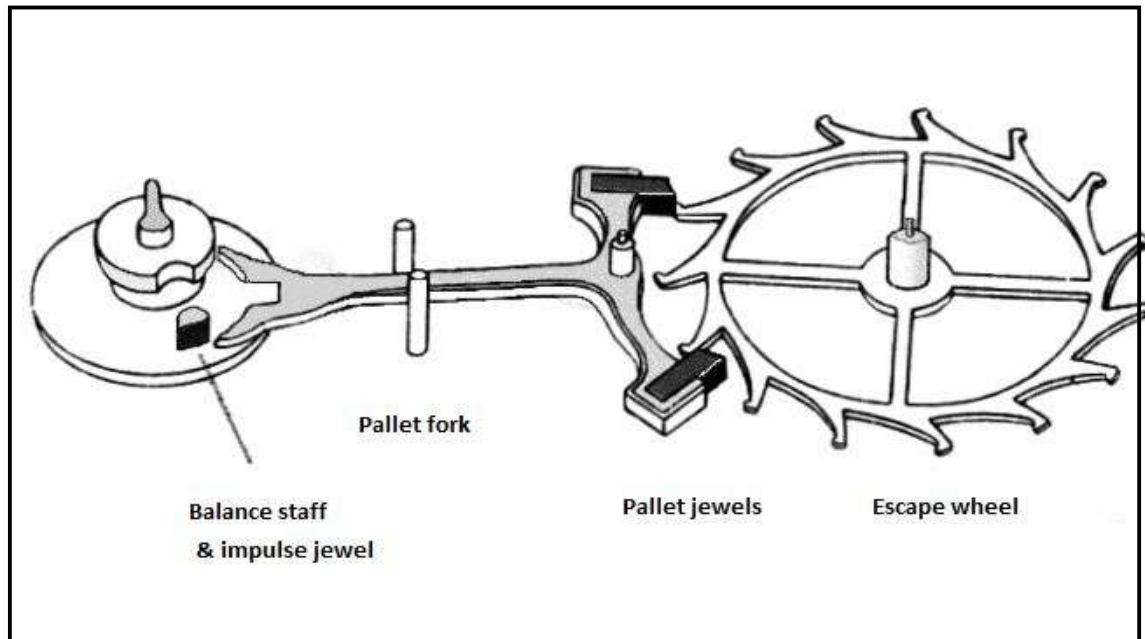


Figura 16: Escape de gravedad [16]

**-Escape de palanca:** inventado en 1750 por el relojero inglés Thomas Mudge, ha sido utilizado en la mayoría de los relojes del siglo XIX. Las principales ventajas que posee frente a otros tipos de escape son: el volante solo está un corto periodo de tiempo en contacto con el áncora, lo que aumenta su precisión al poder oscilar el volante libremente cuando no está en contacto con el áncora, por otro lado, es un escape de arranque automático, con lo que, si el volante se para por alguna razón, este volverá a ponerse en marcha automáticamente.

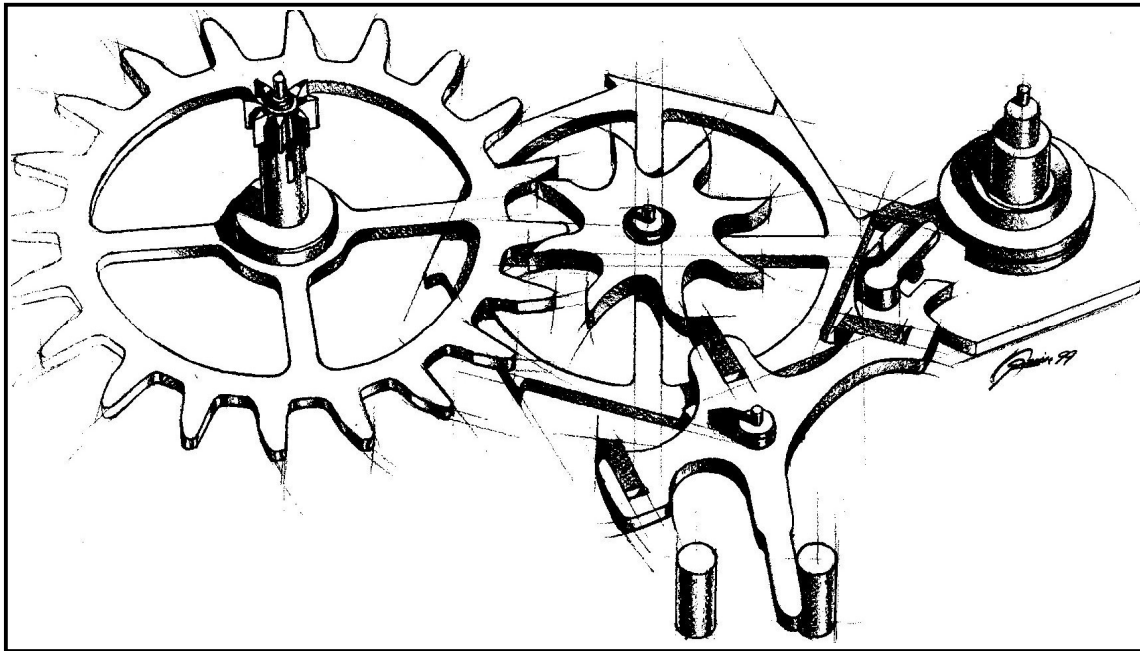
La [Figura 17](#) esquematiza el funcionamiento de un escape de palanca, en el que la rueda de escape tiene unos dientes pequeños debido al poco tiempo que estos pasan en contacto con las paletas de la palanca.



*Figura 17: Escape de palanca [17]*

**-Escape coaxial:** de la invención de George Daniels en 1974 y patentado por el mismo en 1980, es uno de los pocos escapes todavía usados en la época moderna y utilizado en la mayoría de los relojes de la firma suiza Omega. Este tipo de escape elimina la fricción, lo que da como resultado una mayor precisión del tiempo. El bloqueo de este tipo de escape es accionado mediante paletas de palancas pasivas. En este tipo de escape encontramos dos ruedas, una más grande y otra más pequeña, una montada encima de la otra.

También, nos encontramos con tres paletas que se pueden apreciar en la [Figura 18](#). Las principales ventajas de este tipo de escape son: el escape, al tener menos fricción, no pierde precisión a lo largo de los años; se elimina la necesidad de aceitar las caras de las paletas; y el diseño coaxial es más estable frente a las perturbaciones externa que pueda haber. Por eso, la marca de relojes Omega optó por perfeccionar esta tecnología combinándola con materiales modernos como son el silicio para el espiral del volante, que también permite que los relojes se mantengan inmutables ante la presencia de campos magnéticos.



*Figura 18: Dibujo del escape coaxial de George Daniels [18]*

### 3.3 Documentos relacionados con el reloj

En el proceso de investigación y documentación sobre los relojes de torre, se buscó información en el Ayuntamiento y en la Iglesia del municipio. En el archivo municipal se encontró un único documento que formaliza la existencia de un reloj en el inventario, siendo este el artículo número 1 del mismo. Tras la negativa en la búsqueda de documentos que dataran la existencia del reloj en la Iglesia, se optó por visitar a un cura del pueblo, amigo de la familia Marcos Blanco, muy interesado en documentos antiguos relacionados con el pueblo. Para nuestra suerte, se encontraron en su casa unos escaneados hechos hace años a unas cartas ya que a Marcos le resultaron curiosas. Gracias a la curiosidad de Marcos, hoy se sabe algo más de información sobre el reloj que el pueblo posee. La *Figura 19* muestra el anteriormente mencionado archivo municipal donde queda inventariado el reloj instalado en la Iglesia junto con el precio al que fue adquirido.

Inventario 1970

1	<p><b>EPIGRAFE 3º. MUEBLES DE CARACTER HISTORICO, ARTISTICO O DE CONSIDERABLE VALOR ECONOMICO.-</b></p> <p>Reloj público, con todo el rodaje de metal de calidad, ruedas primeras de 16 pulgadas de diámetro por catorce líneas de espesor, de los llamados de cuartos, fabricado por José Martínez, Relojero - del Excmo. Ayuntamiento de Bilbao, en el año de 1.863. Razón de su valor antigüedad. Está instalado en la Torre de la Iglesia Parroquial de esta Villa, bajo la vigilancia y cuidado del Sacristan. Fecha de adquisición, 11 de Noviembre de 1.863.- Costo 5.000 reales de vellón. SERVICIO PUBLICO..</p>	<p><u>12.000 00</u></p> <p><u>12.000 00</u></p>
---	---	---

Inventario 2024

NÚMERO DE FICHA:	9-001	EPIGRAFE: Muebles de Carácter Histórico.
SITUACIÓN:	<del>CASA CONDUCIBLE DEL MERCADO GUADALUPE ARGEMO</del>	IGLESIA PARROQUIAL
NATURALEZA:	MUEBLES DE CARÁCTER HISTÓRICO.	
DESCRIPCIÓN:	UN RELOJ PÚBLICO CON TODO EL RODAJE DE METAL DE CALIDAD, RUEDAS PRIMERAS DE 16 PULGADAS DE DIAMETRO POR 14 LINEAS DE ESPESOR DE LOS LLAMADOS CUARTOS, FABRICADO POR JOSE MARTINEZ, RELOJERO DEL EXCMO AYUNTAMIENTO DE BILBAO EN EL AÑO 1.863. RAZON DE SU VALOR, ANTIGÜEDAD. ESTA INSTALADO EN LA TORRE DE LA IGLESIA DE ESTA VILLA, ESTABA AL CUIDADO DEL SACRISTAN. FUE ADQUIRIDO EL 11 DE NOVIEMBRE DE 1.863. COSTO DE ADQUISICION 5.000 REALES DE VELLON. VALORADO EN EL INVENTARIO DE BIENES DE ESTE AYUNTAMIENTO 1974, CON UN PRECIO DE VENTA DE 12.000 PESETAS.	
OBSERVACIONES:	1 RELOJ.	

Figura 19: Documento perteneciente al archivo municipal de Cuevas de San Marcos donde se muestra inventariado el reloj. Fuente: propia

En la *Figura 20*, podemos apreciar la primera carta que fue enviada por el relojero José Martínez al que se supone que fue el alcalde del municipio en ese momento, ya que no se nombra a nadie en concreto en la carta, sino solo una tarifario de los precios de sus trabajos.



Figura 20: Carta del relojero José Martínez al Ayuntamiento de Cuevas de San Marcos presupuestando el reloj. Fuente: propia

Para su mejor entendimiento y claridad se procede a intentar transcribir la carta anteriormente mostrada en la que se deduce se incluyen los precios de las diferentes opciones de relojes presupuestados por el relojero. Los precios están en reales, moneda utilizada en España en esa época. La equivalencia es: 1 real=25 céntimos de peseta

“Fábrica de toda clase de relojes para torres José Martínez Relojero del Excelentísimos Ayuntamiento de Bilbao”

“Un reloj con cuartos 1ª clase..... de 8 días de cuerda 7000... 14 a 30 horas de cuerda 6000”

“Un reloj con cuartos, horas y medias 1ª clase..... De 8 días de cuerda 4400.... 14 a 30 horas de cuerda 3800”

“Un reloj con cuartos, horas y medias más pequeños 1ª..... de 8 días de cuerda 3800.... 14 a 30 horas de cuerda 3000”

“Un reloj con cuartos, horas y medias más pequeños 1ª clase..... 14 a 30 horas de cuerda.....2400”

“Todos estos relojes son de primera clase, la máquina es de metal superior y en estos precios están incluidos todos los accesorios excepto las campanas y pesas. De mi cuenta es la conducción hasta Málaga. José Martínez”.

En la *Figura 21*, se observa que el relojero vuelve a enviar una carta, esta vez dirigida a lo que parecen dos personas las cuales se desconoce su conexión con el Ayuntamiento ya que no se ha podido conseguir más información al respecto.

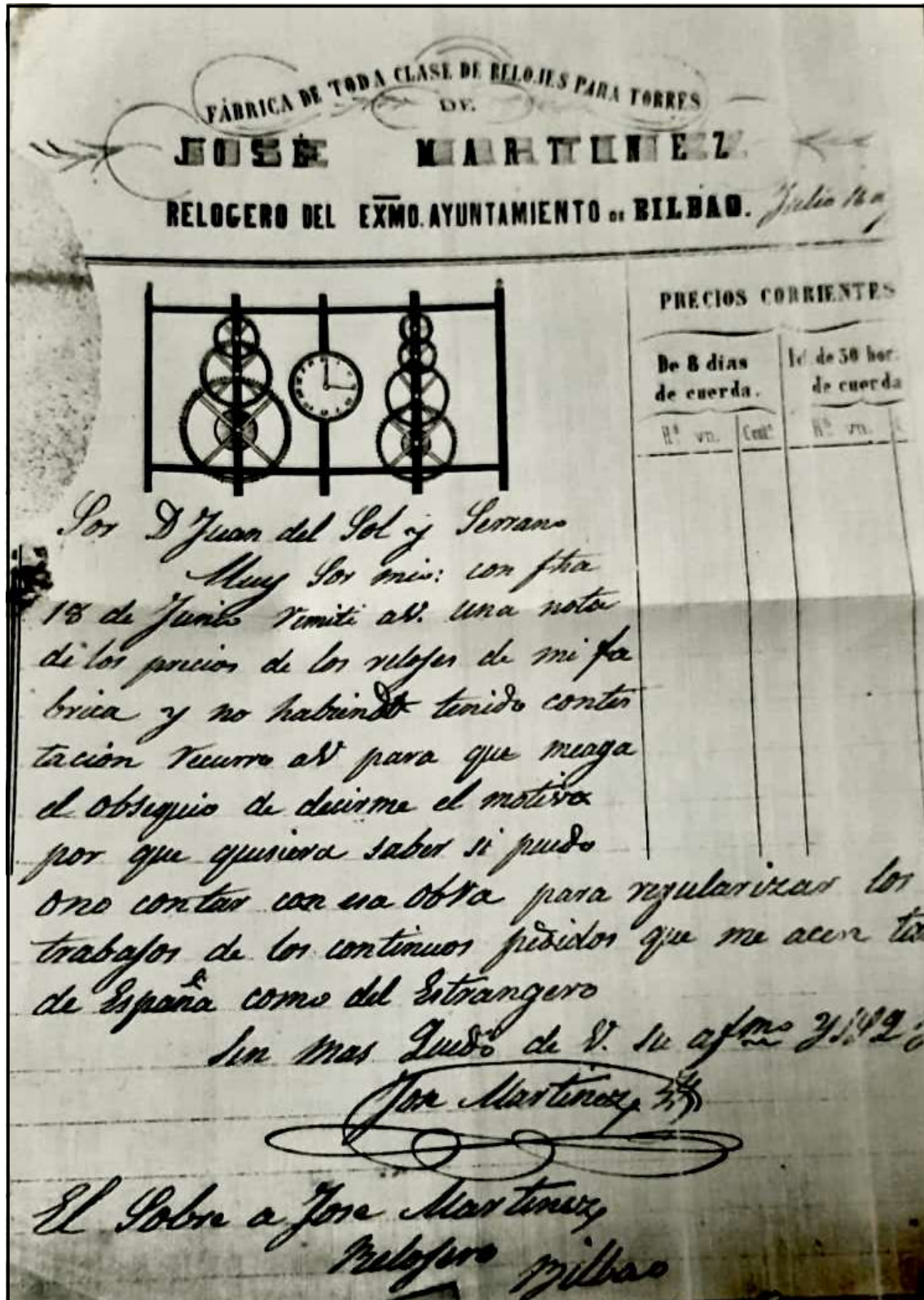


Figura 21: Segunda carta del relojero José Martínez al Ayuntamiento de Cuevas de San Marcos presupuestando el reloj. Fuente: propia



También se intentará transcribir la segunda carta para su claridad y mejor entendimiento, teniendo en cuenta que esta fue una carta que el relojero mandó ante la falta de respuesta a la primera carta

“Fábrica de toda clase de relojes para torres José Martínez relojero del Excelentísimo Ayuntamiento de Bilbao”.

“Los Don Juan del Sol y Serrano. Muy los míos, con fecha 18 de junio remite a usted una nota de los precios de los relojes de mi fábrica y no habiendo tenido contestación recorro a usted para que me haga obsequio de decirme el motivo por que quisiera saber si puedo o no contar con esa obra para regularizar los trabajos de los continuos pedidos que me hacen tanto de España como del extranjero. Sin más quedo de usted su afirmación. José Martínez. El sobre a José Martínez relojero Bilbao”

#### 4. MATERIALES Y PRODUCCIÓN DE LOS RELOJES DE TORRE

Para este tipo de relojes se generalizó el uso de hierro fundido, usado para las bancadas (estructura) para hacerlas más estables y duraderas, así como para decoraciones, y el bronce o el latón para producción de los engranajes. Además, era muy habitual el uso de madera para la estructura donde se apoya la bancada de este.

En lo que respecta a la producción de relojes de torre, Europa fue el centro de la producción mundial de estos, destacando países como:

-Reino Unido: uno de los relojeros más conocidos fue Dent (constructores del Big Ben), así como Thwaites & Reed y Gillet & Bland (el cual se convirtió en Gillet & Johnston).

-Francia: Destacaron Collin-Wagner, Bornand y Paul Odobey.

-Alemania: Tuvo fabricantes relevantes, pero en comparación de Francia y Reino Unido, tuvieron menor presencia internacional.

-España: A pesar de que muchos de los relojes que instalados en España en el siglo XIX fueron importados desde Francia, cabe destacar que también existieron importantes relojeros españoles, como el conocido Antonio Canseco, cuya casa relojera en Madrid produjo relojes para iglesias, estaciones de ferrocarril y ayuntamientos de toda España.

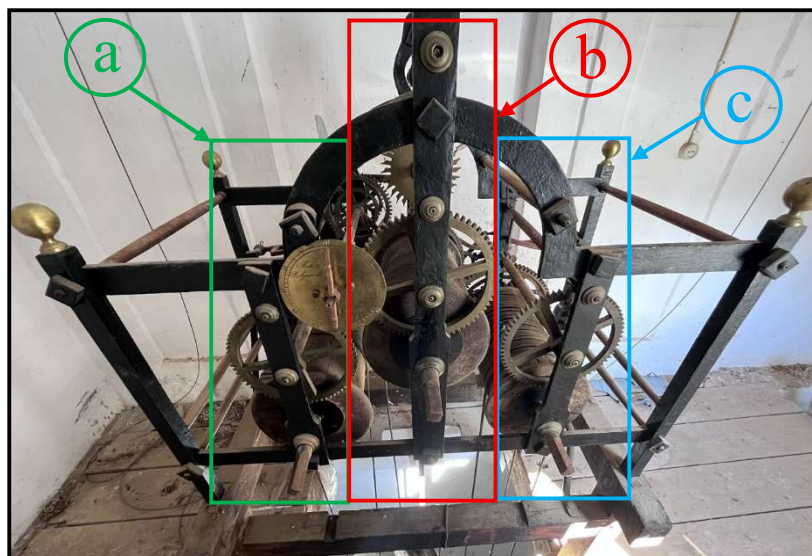
## 5 ELEMENTOS DEL RELOJ

Para el desarrollo de este trabajo, cabe destacar que las partes mecanismo del reloj puede dividirse en tres: partes de movimiento, partes de sonería de cuartos y partes de sonería de horas. Los mecanismos pertenecientes a las partes de sonería tendrán como función accionar el sonido de las campanas, mientras que los elementos de la parte de movimiento se encargarán de mantener el funcionamiento del reloj. A continuación, se explicarán las diferentes partes.

### 5.1 Elementos generales

Las tres partes diferenciadas cuentan con elementos comunes como pueden ser los tambores de madera o las pesas.

Como se puede apreciar en la imagen de arriba (*Figura 22*), los engranajes pertenecientes a ambos trenes de sonería son muy similares, prácticamente iguales. Por otro lado, la parte encargada del movimiento, y la parte principal, será la que transforme el movimiento rotatorio de los engranajes en el movimiento oscilatorio y periódico del péndulo, utilizando para ello la rueda de escape y el áncora.



*Figura 22: Parte frontal del mecanismo del reloj. Fuente: propia*

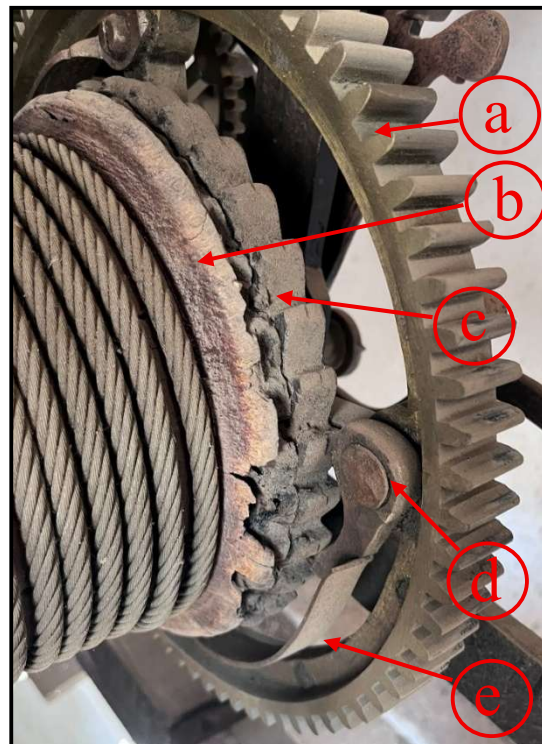
a	Tren de sonería de horas
b	Tren de movimiento
c	Tren de sonería de cuartos

*Tabla 1: Sistemas del reloj*

En estas tres partes se componen cada una con una pesa, que será la responsable de accionar el tren de engranajes correspondiente, que a su vez accionarán los diferentes elementos del mecanismo. La pesa perteneciente al tren de movimiento, por su parte accionará al tren de engranajes conectado a ella y por último al péndulo.

### 5.1.1 Rueda imperial

Las tres partes del mecanismo del reloj cuentan con una rueda imperial como la mostrada en la *Figura 23* que consta de las siguientes partes: un tambor de madera, una rueda trinquete y una rueda de engrane o rueda primera. El conjunto de la rueda imperial es atravesado y sostenido por un eje que se acopla en sus pertinentes orificios en la estructura del reloj.



*Figura 23: Rueda imperial de sonería de cuartos. Fuente: propia*

a	Rueda primera
b	Tambor de madera
c	Rueda trinquete
d	Uña
e	Fleje

*Tabla 2: Partes de la rueda imperial*

En dicho tambor de madera se enrollará el cable o cuerda tensora que sostiene a su vez a la pesa perteneciente a cada una de las partes. Por otro lado, la rueda trinquete gira de manera simultánea al tambor y al eje, y es la encargada de hacer que dichas partes giren solidarias a la rueda de engrane o no. Para permitir desarrollar esta función, cada una de las ruedas de engrane poseen dos muelles de acero (fleje) y dos uñas (que actúan de freno) que hacen que las ruedas de engrane giren a la vez con las ruedas trinquete cuando el reloj está funcionando y evita que esto mismo pase cuando se le está dando cuerda a las diferentes partes. Gracias a este sistema de trinquete, flejes y uñas, es posible dar cuerda a las tres partes sin modificar el funcionamiento de estas. La rueda de engrane será la primera en transmitir el movimiento al resto de los engranajes.

### 5.1.2 Remontaje

El remontaje (*Figura 24*) de los tres sistemas diferenciados en el reloj se efectúa de la misma forma, mediante una barra rematada en perfil cuadrado que contiene a cada una de las ruedas imperiales. La manivela (*Figura 25*) se va acoplando al eje del sistema al que se desea dar cuerda, de manera que, girando la manivela en sentido de las agujas del reloj o en sentido contrario dependiendo de cada tambor, se va recogiendo y enrollando la cuerda en su tambor correspondiente.



Figura 25: Remontaje del mecanismo de las horas. Fuente: propia



Figura 24: Manivela para el remontaje desmontada. Fuente: propia

### 5.1.3 Pesas

La pesa es otro elemento que comparten las tres partes de manera similar. Cada mecanismo cuenta con su propia pesa que hará mover a su respectivo tren de engranajes. La función de las pesas es accionar el sistema de engranajes conectados a los diferentes tambores donde se encuentran enrollados los tensores o cuerdas de cada una de las pesas.

Cada una de las pesas son de diferentes tamaños y pesos, puesto que no deben mover la misma cantidad de elementos. Por ejemplo, el sistema de sonería de cuartos debe accionar la campana de cuartos una vez al cuarto de hora, dos veces a la media hora, tres veces a los tres cuartos de hora y a la hora completa debe accionar la campana de los cuartos cuatro veces, de la misma manera que debe transmitir el movimiento a la campana de las horas, de manera que la pesa encargada de accionar la sonería de los cuartos debe ser la de mayor peso.

La campana de las horas, por el contrario, solo debe sonar una vez por hora, con lo que la pesa encargada de dicho sistema debe ser la más ligera. De la misma manera, el sistema de movimiento debe ser capaz de mover el péndulo de manera continua, por lo que la pesa deberá ser mayor que la de la sonería de horas. Este sistema de pesas debe ser bien estudiado, debido a que los pesos tienen que ser suficientes para mantener el correcto funcionamiento de cada una de las tres partes, y a su vez no puede exceder el peso necesario debido a que, de ser así, se aumentarían las cargas que llegan a los engranajes y al escape, haciendo que estas se dañen y tengan un mayor desgaste. El peso de las diferentes pesas no ha sido posible de determinar debido a la imposibilidad de su desmontaje.

En la *Figura 26* podemos apreciar el conjunto de las pesas de los tres sistemas diferentes: cuartos, horas y movimiento, así como la pesa en forma de lenteja del péndulo perteneciente al sistema de movimiento. Esta foto fue tomada desde la escalera de pared de acceso a la torre donde se encuentra instalado el mecanismo del reloj, porque no se pudo tomar una foto más cercana a las pesas.

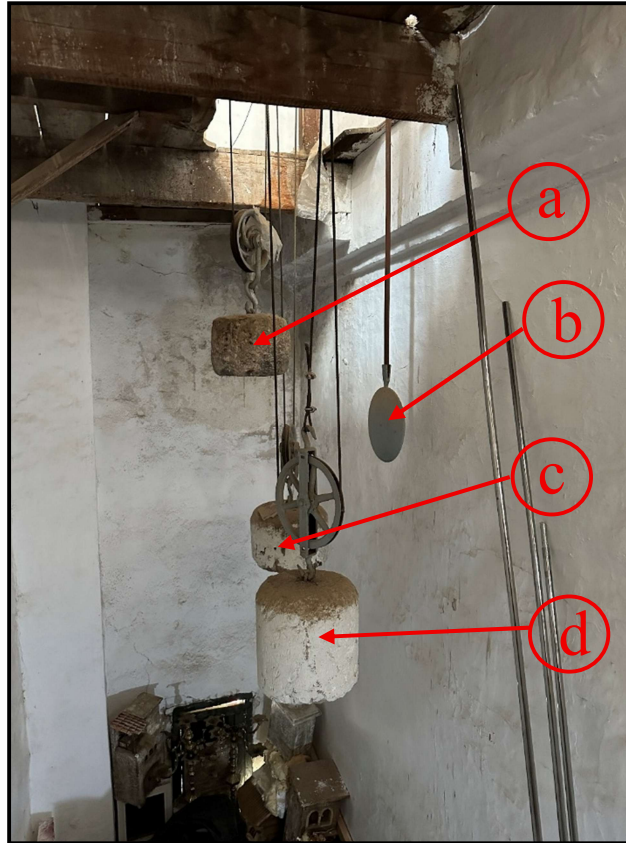


Figura 26: Pesas de los diferentes sistemas del mecanismo del reloj. Fuente: propia

a	Pesa sistema de movimiento
b	Pesa del péndulo
c	Pesa sistema de sonería horas
d	Pesa sistema sonería cuartos

Tabla 3: Pesas de los diferentes sistemas

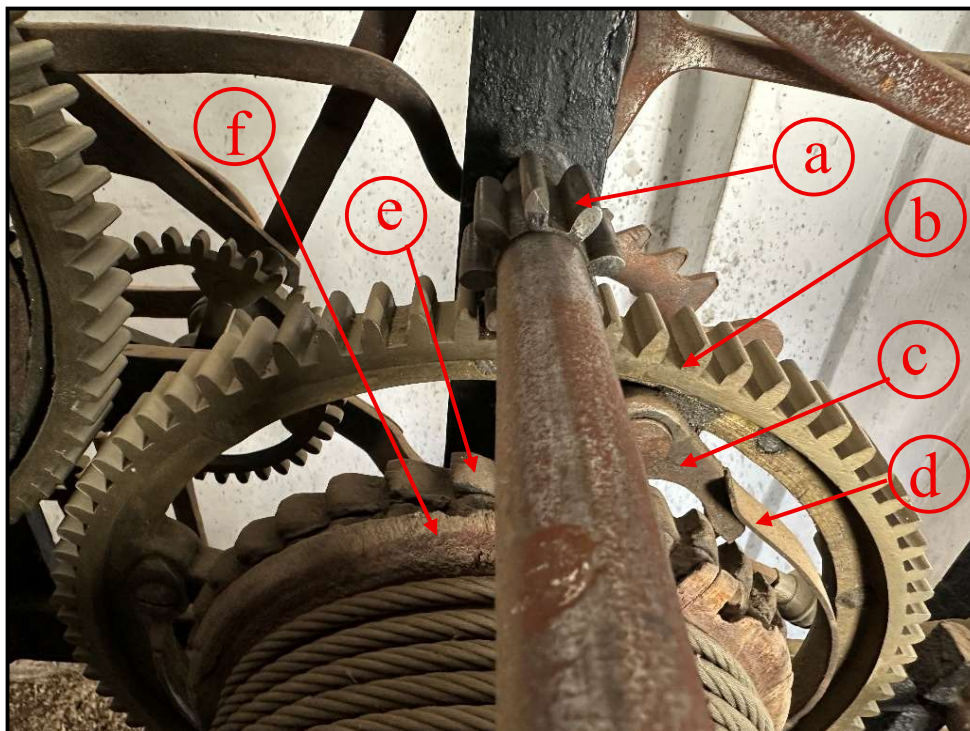
Cada sistema cuenta con una pesa que hará moverse a su respectivo tren de engranajes cada vez que se desbloquee cada parte correspondiente. La fuerza necesaria para mover todos los sistemas no es la misma, con lo cual el peso de las pesas no es el mismo. El mecanismo de sonería deberá activar la campana de dicho sistema una vez al cuarto de hora, dos a la media, tres a los tres cuartos y cuatro a la hora, con lo cual deberá mover la campana diez veces en una hora, con lo cual la pesa respectiva a este sistema será la más pesada. El mecanismo de movimiento deberá mantener en movimiento al péndulo y además transmitir el movimiento al sistema de sonería de cuartos. La pesa correspondiente a este sistema será la siguiente más grande. Por último, la pesa del sistema de sonería de horas es la que menos peso requerirá, pues solo deberá accionar el sonido de las campanas una vez cada hora.

## 5.2 Tren de sonería de cuartos

Este será el primer sistema de sonería que se active y el que active a su vez al sistema de sonería de las horas en el momento oportuno.

### 5.1.2 Rueda primera y rueda de engrane

Esta rueda (*Figura 27*) es la anteriormente mencionada como rueda de engrane que va pegada y síncrona al tambor (cuando no se le está dando cuerda al sistema) gracias a los dos flejes y dos uñas que van acoplados a ella. En el proceso de dar cuerda a este tambor, las dos uñas se deslizan sobre el trinquete a favor del movimiento, con lo que se consigue que el sistema no se mueva a la vez que el tambor. Esto solo ocurre cuando se le da cuerda al sistema, el resto del tiempo, el tambor y la rueda primera funcionan al unísono.



*Figura 27: Rueda primera de la sonería de cuartos. Fuente: propia*

a	Engranaje transmisión movimiento
b	Rueda primera
c	Uña
d	Fleje
e	Rueda trinquete

f	Tambor madera
---	---------------

Tabla 4: Elementos visibles en la Figura 27

Cada fleje sirve como bloqueo de las uñas para evitar que la cuerda se desenrolle de golpe del tambor y permite que la rueda primera gire a la vez que el tambor mientras que la cuerda se va desenrollando poco a poco para dar energía a todo el sistema de sonería de cuartos. Esta rueda de engrane sirve como rueda primera debido a que por la cara exterior se encuentran 10 pivotes equidistantes encajados a ella (Figura 28). Los pivotes serán los encargados de mover los actuadores que llegan a los martillos que golpean la campana de los cuartos. Cada vez que esta rueda primera dé una vuelta completa, habrá pasado una hora. Un pivote para el primer cuarto, dos para la media hora, tres para los tres cuartos y cuatro para la hora completa. De ahí los diez pivotes en su parte trasera.

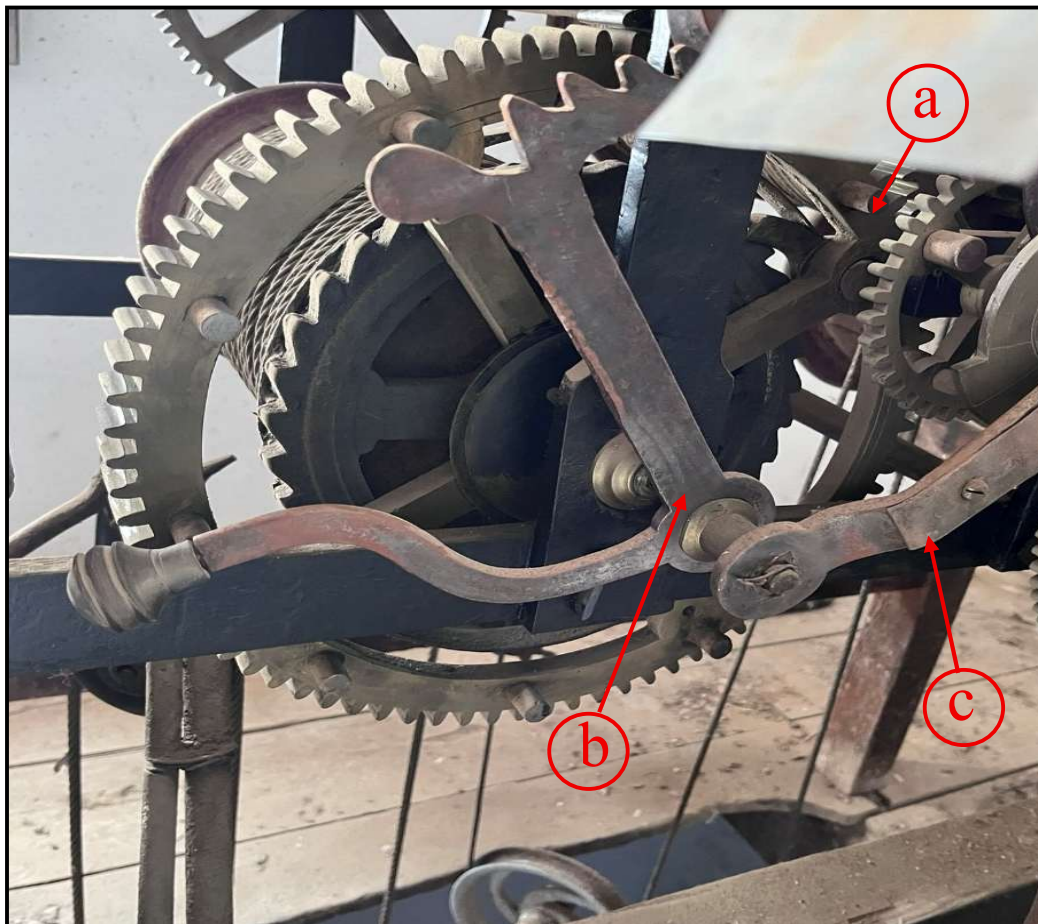


Figura 28: Detalle de la parte trasera de la rueda primera. Fuente: propia

a	Uno de los pivotes de la rueda primera
b	Sierra del sistema de sonería de cuartos

c	Palpador del caracol del sistema de sonería de cuartos
---	---

Tabla 5: Elementos detalle parte trasera rueda primera

### 5.1.3 Rueda segunda

La rueda segunda (*Figura 29*), junto con un par de engranajes pequeños, es la encargada de transmitir el movimiento desde la rueda primera al eje de la rueda segunda cuenta con un pivote que se encargará de bloquear el movimiento del tren de los cuartos cuando el actuador de bloqueo le restrinja el movimiento. Cuando este pivote sea liberado, le permitirá el movimiento al sistema de sonería de cuartos y al venterol conectado al mismo eje.

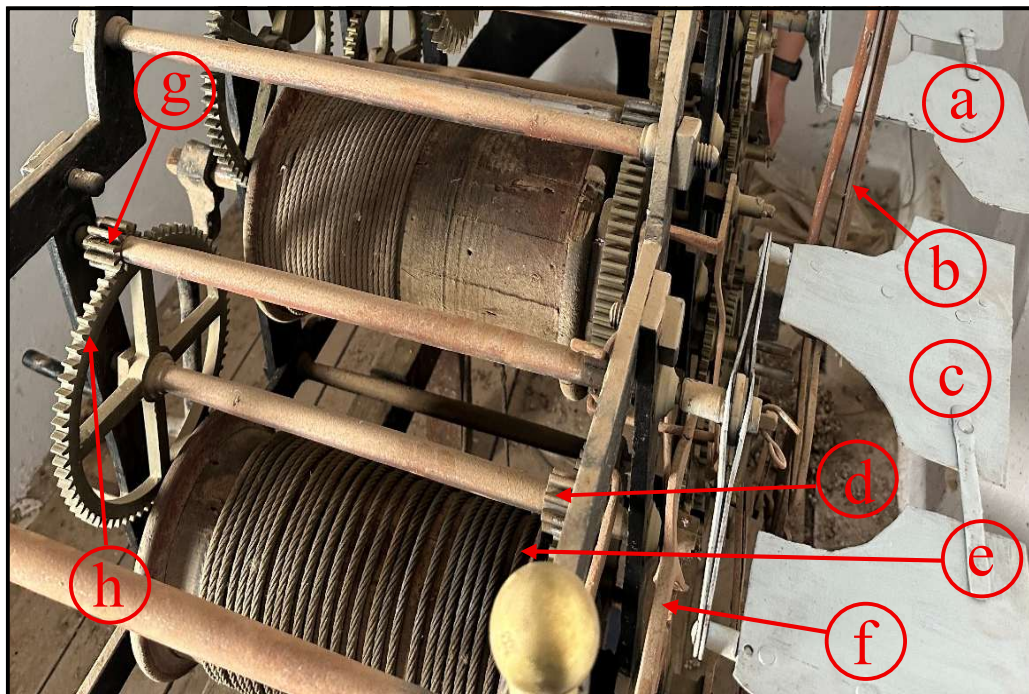


Figura 29: Vista general de la rueda segunda. Fuente: propia

a	Venterol horas
b	Péndulo
c	Venterol cuartos
d	Engranaje transmisión movimiento rueda primera
e	Tambor de madera de cuartos
f	Actuador de bloqueo de cuartos

g	Engranaje transmisión movimiento rueda segunda
h	Rueda segunda

Tabla 6: Elementos en la Figura 29

#### 5.1.4 Caracol de cuartos

En la parte trasera del mecanismo del reloj, encontramos una sucesión de cinco engranajes (*Figura 30*) que se encargan de transmitir el movimiento del minuterero al caracol de los cuartos, una leva con forma de caracol con cuatro escalones (*Figura 31*), cada uno de los cuales determina el tiempo concreto que la sonería estará liberada. Cuanto más alto el escalón, más campanadas se darán, de manera que en el escalón más alto se tocarán cuatro campanadas correspondientes a los cuatro cuartos, y en el escalón más bajo solo se tocará una campanada por el primer cuarto. Así, con dos y tres toques de la campana para la media hora y los tres cuartos respectivamente dependiendo de la altura de su escalón.

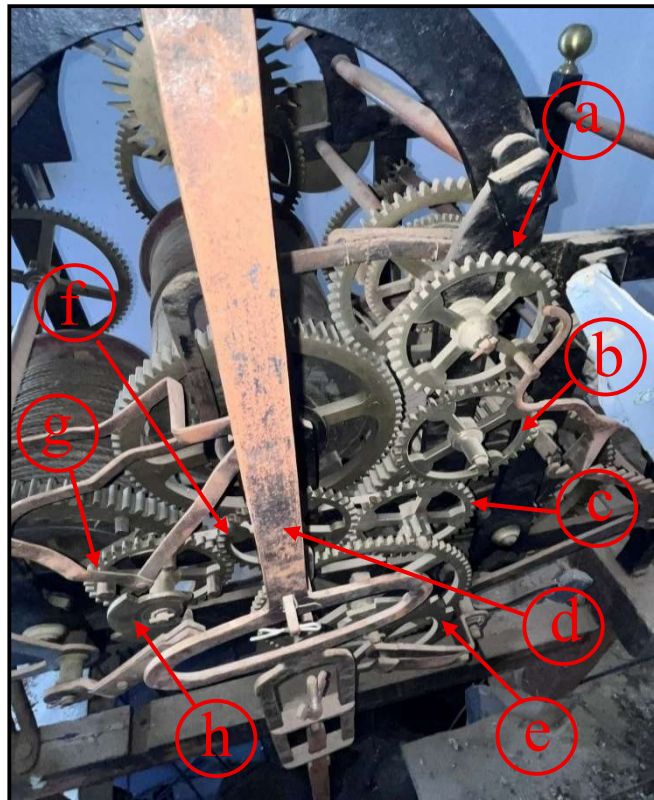


Figura 30: Engranajes que transmiten movimiento del minuterero al caracol de cuartos. Fuente: propia

a	Engranaje atrás 1 con 1 pivote
b	Engranaje atrás 2
c	Engranaje atrás 3

d	Péndulo
e	Caracol horas
f	Engranaje atrás 4
g	Engranaje atrás 5 con 4 pivotes
h	Caracol cuartos

Tabla 7: Engranajes y parte de los elementos de atrás

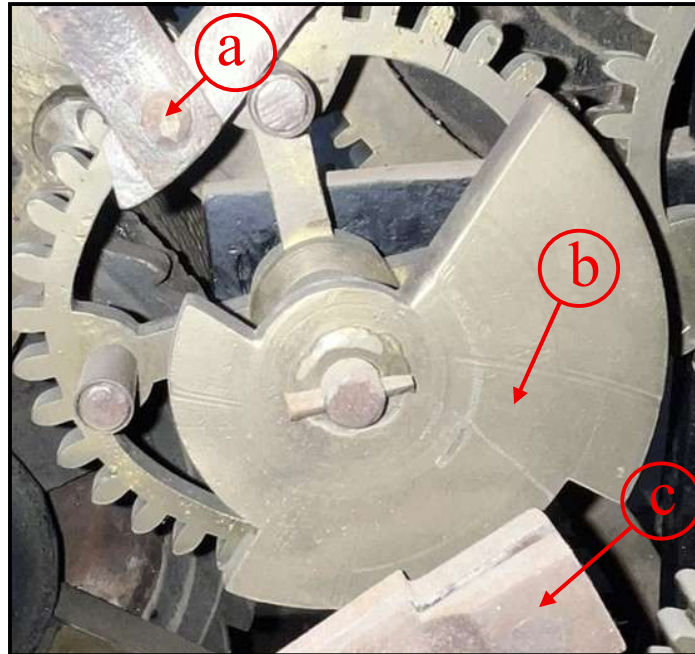


Figura 31: Caracol de la sonería de cuartos y palpador. Fuente: propia

a	Mecanismo liberación actuador bloqueo
b	Caracol de cuartos
c	Palpador del caracol de cuartos

Tabla 8: Piezas junto a caracol cuartos

### 5.1.5 Palpador del caracol de cuartos

Esta pieza (*Figura 32*) es la encargada de determinar cuánto tiempo estará liberado el sistema de sonería de los cuartos. Se encuentra de manera solidaria a la sierra. Cuando el sistema de sonería se libera, el tren de engranajes que sostiene a la sierra y al palpador se desbloquea y el palpador cae por gravedad. Dependiendo a la profundidad del escalón del caracol donde caiga, determina la distancia total que puede caer la sierra. Si el palpador cae en el escalón correspondiente al cuarto, la sierra caerá solo una distancia corta, permitiendo a su vez un único golpe que será emitido por la campana al ser activada por el actuador de sonido, que golpeará un solo pivote, mientras que, si cae en el escalón más profundo correspondiente a los cuatro cuartos, la sierra

caerá más, permitiendo una carrera más larga del tren de la sonería, por lo tanto permitirá que el sistema se encuentre desbloqueado más tiempo de manera que dará más toques porque el actuador de sonido golpeará más pivotes.

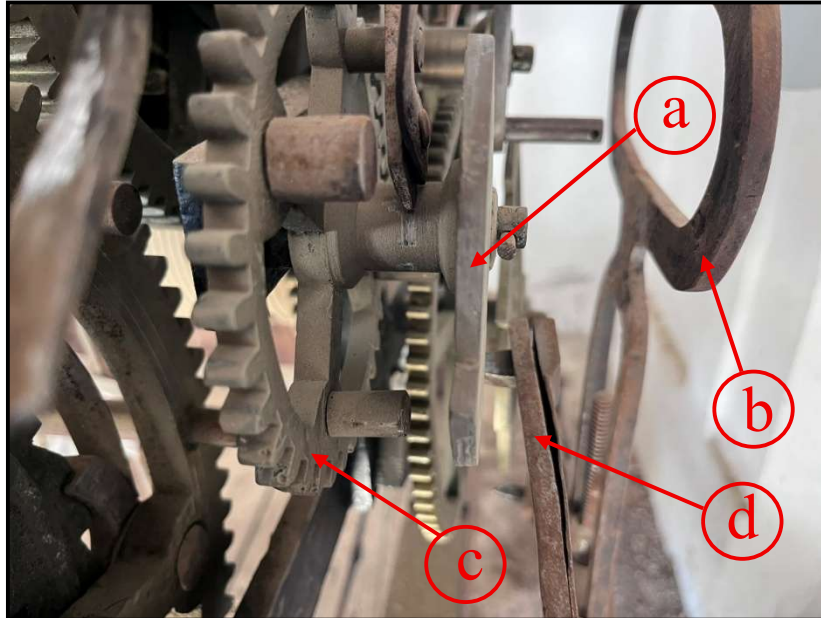


Figura 32: Detalle del palpador del caracol de cuartos. Fuente: propia

a	Caracol de cuartos
b	Péndulo
c	Engranaje de atrás 5 con 4 pivotes
d	Palpador caracol de cuartos

Tabla 9: Elementos detalle palpador caracol de cuartos

### 5.1.6 Sierra o cremallera de los cuartos

Como se ha mencionado anteriormente, esta es una pieza clave en el funcionamiento de la sonería de los cuartos. La sierra (*Figura 33*) cae la distancia determinada por el palpador colocado sobre el caracol y controla la duración de golpeo de la campana de cuartos. Cuanta más distancia caiga, más tiempo estará desbloqueado el tren de sonería y éste dará más toques. Por el contrario, cuanto menos caiga y más cerca esté de la posición de “descanso”, menos tiempo estará el sistema desbloqueado y por lo cual menos toques dará.

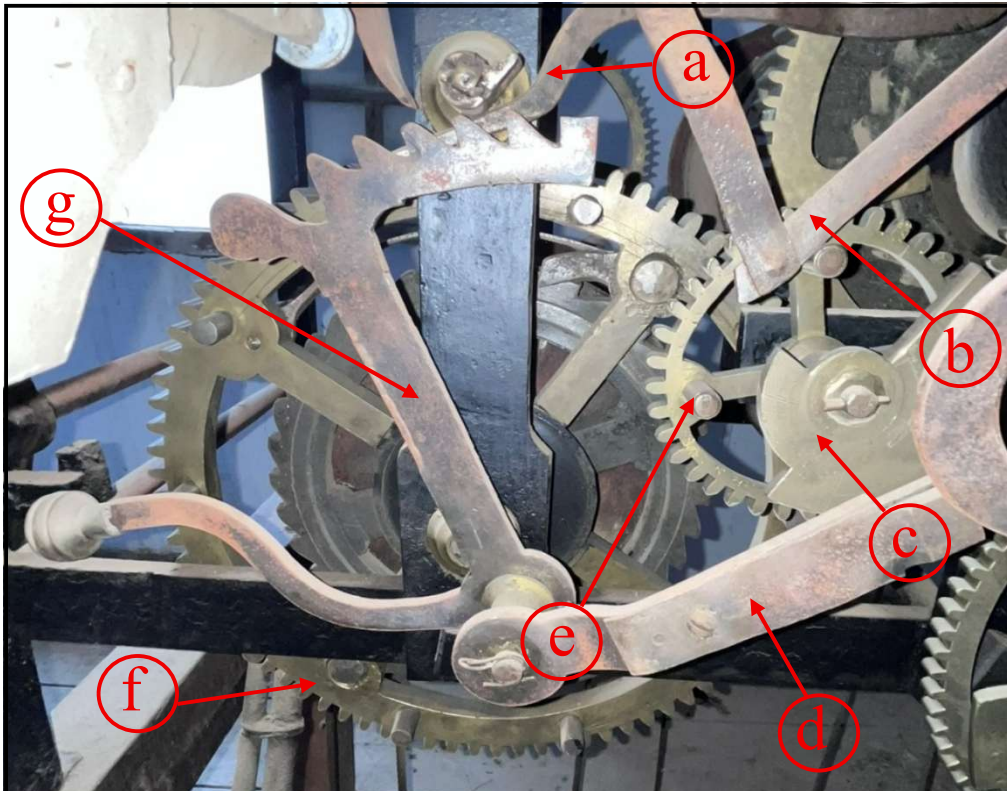


Figura 33: Sierra, palpador y caracol del mecanismo de sonería de los cuartos. Fuente: propia

a	Actuador activador horas
b	Mecanismo liberación actuador bloqueo
c	Caracol de cuartos
d	Palpador del caracol de cuartos
e	Engranaje de atrás 5 con 4 pivotes
f	Rueda primera
g	Sierra de cuartos

Tabla 10: Elementos junto a sierra de cuartos

### 5.1.7 Mecanismo de liberación del actuador de bloqueo

Este actuador se activa mediante la sucesión de engranajes que transmiten el movimiento del eje del minuterero al sistema de sonería. Cuando uno de los cuatro pivotes (uno para cuarto de hora) del último engranaje de este tren levanta el mecanismo de liberación, este a su vez libera el actuador de bloqueo (Figura 34). Este mecanismo de liberación, como su nombre indica, libera al actuador de bloqueo para que la sierra pueda caer a la posición dictada por el palpador sobre el caracol. Sin este mecanismo de liberación, el actuador de bloqueo se encontraría siempre apoyado sobre la sierra, con lo que estaría en todo momento bloqueado el movimiento del tren de

engranajes de la sonería de los cuartos, con lo cual es de vital importancia para mantener la continuidad del movimiento en todo el mecanismo de sonería de los cuartos.

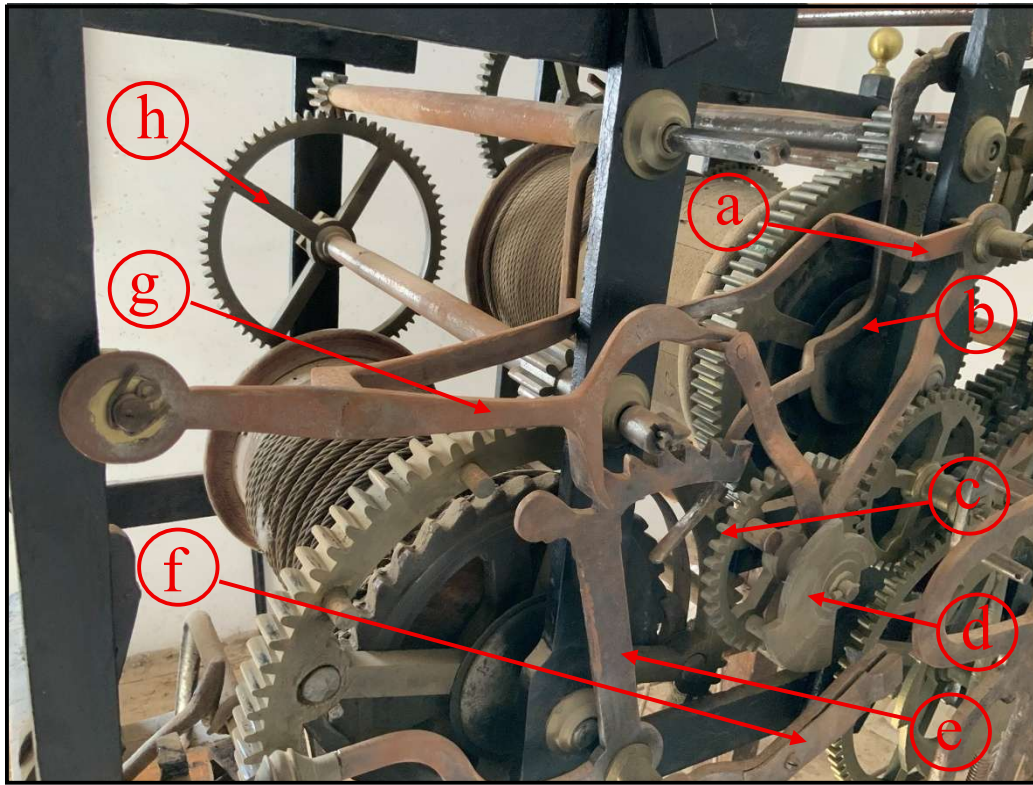


Figura 34: Parte trasera del reloj. Fuente: propia

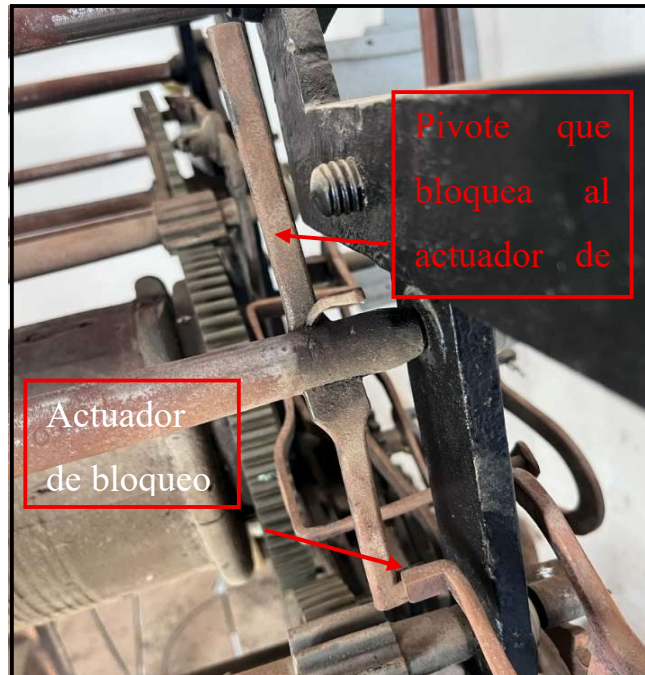
a	Mecanismo liberación actuador bloqueo cuartos
b	Actuador activador horas
c	Engranaje atrás 5 con 4 pivotes
d	Caracol de cuartos
e	Sierra cuartos
f	Palpador del caracol de cuartos
g	Actuador bloqueo cuartos
h	Rueda segunda de cuartos

Tabla 11: Elementos visibles de la sonería de cuartos en la Figura 34

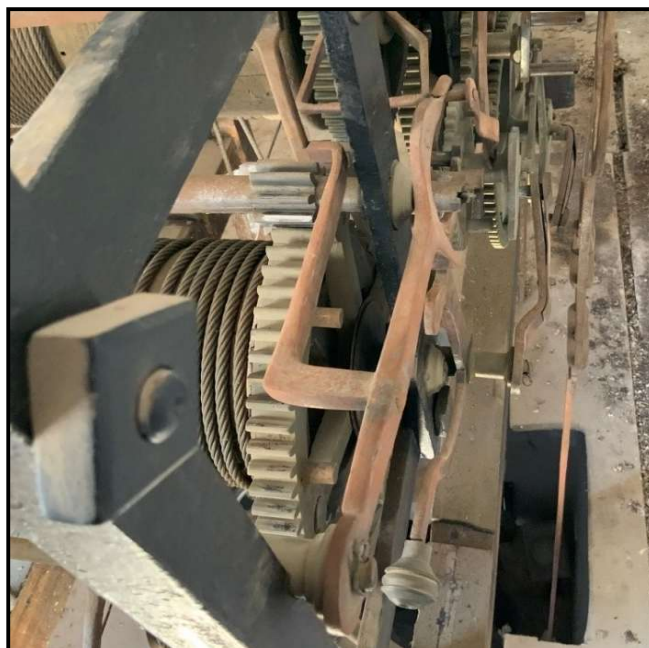
### 5.1.8 Actuador de bloqueo

Este actuador (*Figura 36*) es el encargado de bloquear o permitir el movimiento del mecanismo al que pertenece, el de la sonería de los cuartos. Una vez el mecanismo de liberación de este lo levanta, el tren de sonería de los cuartos quedará liberado hasta que el pivote del eje de la rueda

segunda se bloquee (*Figura 35*) con el actuador de bloqueo. Este actuador va guiado por la sierra, ya que uno de sus salientes va saltando por cada uno de los dientes de la sierra hasta que se para en la posición de descanso, bloqueando así de nuevo el movimiento del tren de sonería de los cuartos. Como se ha mencionado anteriormente, el actuador de bloque va totalmente ligado al mecanismo de liberación de este, y que, de no ser levantado, quedaría restringiendo el movimiento en todo momento.



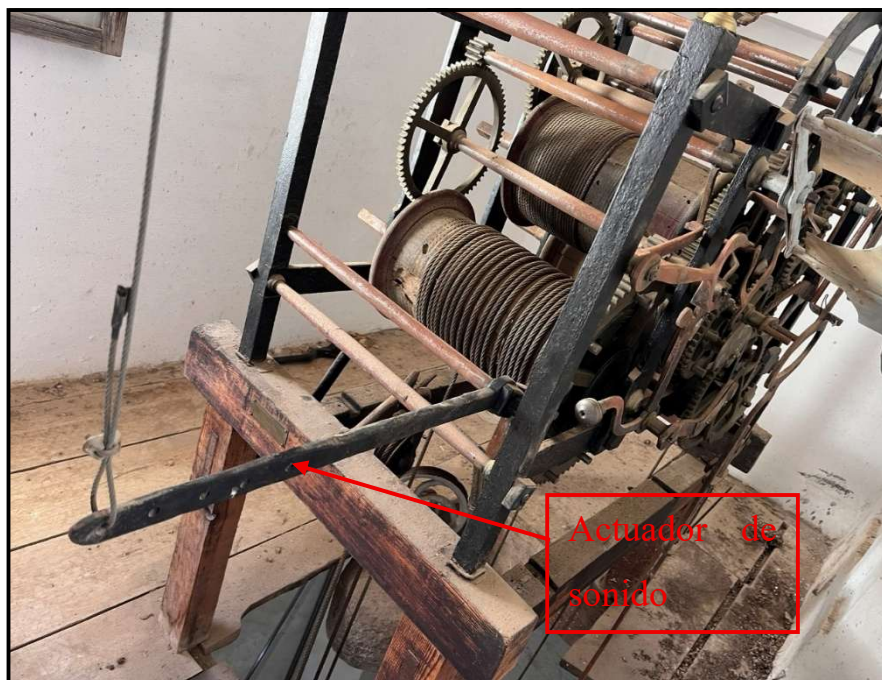
*Figura 35: Pivote del eje de la rueda segunda que bloquea el actuador de bloqueo. Fuente: propia*



*Figura 36: Actuador de bloqueo desde arriba. Fuente: propia*

### 5.1.9 Actuador de sonido de los cuartos

A pesar de que ambos sistemas de los actuadores que conectados a los tensores mueven los martillos que golpean las campanas se encontraba desconectados, podemos determinar el funcionamiento de dichos actuadores. En la [Figura 37](#) se puede ver cómo quedaría el actuador de sonería de los cuartos si estuviera conectado a la campana de los cuartos en posición vertical. Como se ha mencionado anteriormente, la rueda segunda cuenta con 10 pivotes que sobresalen de esta, en los cuales se apoya el actuador de sonido de los cuartos. Cuando la rueda primera se encuentra parada, el actuador que activa el martillo la sonería de las campanas también se encuentra parado, pero una vez se libera el sistema de engranajes de la sonería y la rueda segunda comienza a girar, los diferentes pivotes van golpeando al actuador (dependiendo de la hora que sea, lo golpearán uno, dos, tres o cuatro pivotes), el cual tira de los tensores que llegan al martillo que a su vez golpea la campana de los cuartos.



*Figura 37: Actuador de sonido de los cuartos. Fuente: propia*

En la [Figura 38](#) podemos apreciar el actuador de sonido reposando sobre uno de los pivotes pertenecientes a la parte de atrás de la rueda primera

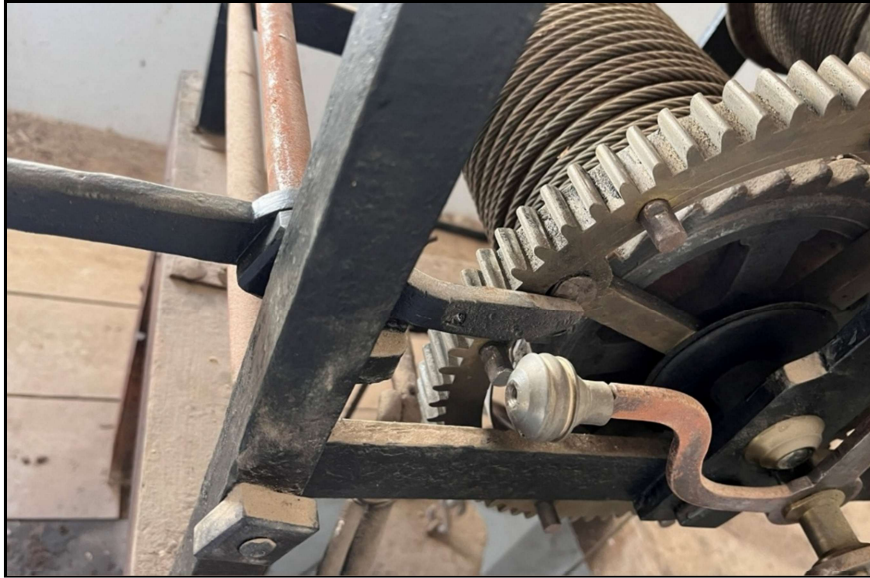


Figura 38: Detalle del actuador sonido de los cuartos. Fuente: propia

#### 5.1.10 Actuador activador del mecanismo de las horas

Este actuador se mueve únicamente cuando han pasado los cuatro cuartos en la parte de la sonería de los cuartos, se activa mediante un pivote situado en la parte trasera de la sierra de los cuartos (Figura 39), esta activa al actuador cuando su recorrido es máximo, con lo que coincide que la sierra libere el mecanismo de bloqueo para tocar los cuatro cuartos.

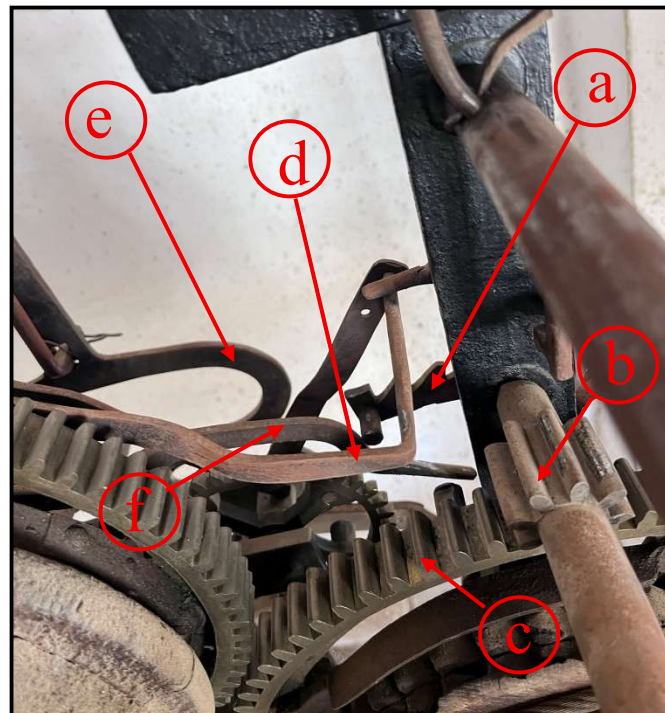


Figura 39: Detalle del actuador activador del mecanismo de las horas. Fuente: propia

a	Sierra de cuartos
b	Engranaje transmisión rueda primera
c	Rueda primera de cuartos
d	Mecanismo liberación actuador bloqueo
e	Péndulo
f	Actuador activador horas

Tabla 12: Elementos en Figura 39

En la *Figura 40*, podemos diferenciar el actuador que se encarga de activar el mecanismo de las horas. Como ya se explicará más adelante, sirve como doble “verificación” para liberar la sonería de las horas, ya que este llega directamente hasta el pivote que se encuentra en el eje del venterol de las horas y se encarga de liberarlo cuando es necesario. Cabe destacar que este actuador se encuentra pivotando en la barra central de la parte trasera de la estructura.

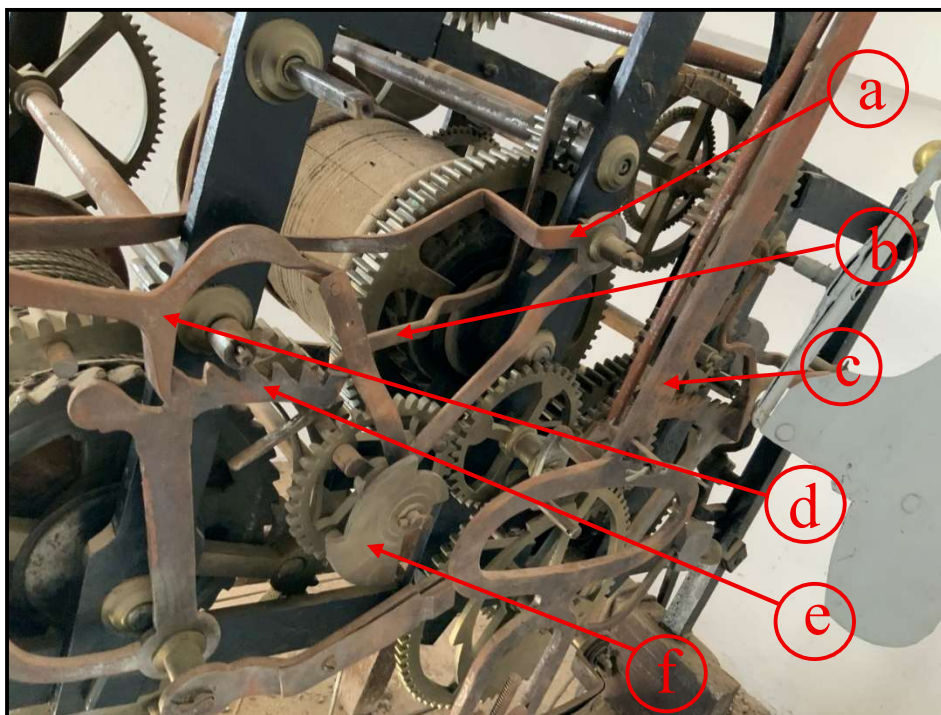


Figura 40: Parte trasera del mecanismo del reloj para mostrar detalle de actuador. Fuente: propia

a	Mecanismo liberación actuador bloqueo
b	Actuador activador horas
c	Péndulo
d	Actuador bloqueo cuartos
e	Sierra cuartos

f	Caracol de cuartos
---	--------------------

Tabla 13: Elementos en la Figura 40

### 5.1.11 Venterol de los cuartos

La *Figura 41* muestra el venterol del sistema de sonería de los cuartos desmontado. Esta pieza se utiliza como volante de inercia para evitar que se acelere demasiado el mecanismo al desbloquear para tocar las campanas y a su vez para que al frenar el mecanismo y volver a bloquearlo no sea de manera brusca.

Se puede apreciar y por motivos que se desconocen, los venteroles pertenecientes a la sonería de los cuartos y a la sonería de las horas poseen diferencias en su geometría. Probablemente se deba a que esta no tiene que ser de unas dimensiones exactas, por lo que se hicieron de una manera un tanto tosca. También se desconoce si son los originales o si en algún mantenimiento que se le dio, se sustituyeron por las actuales. Cabe destacar que el venterol se encuentra al final del eje de la rueda segunda, que es el final del tren de sonería de los cuartos.



Figura 41: Venterol de los cuartos desmontado. Fuente: propia

## 5.2 Resumen del funcionamiento del sistema de sonería de cuartos

Para resumir el funcionamiento del mecanismo de sonería de cuartos, podemos dividir el proceso en varios apartados:

-Primero de todo, a través de la sucesión de los cinco engranajes que se encuentran colocados en la parte trasera del reloj, se transmite el movimiento del minuterero al caracol del sistema, colocado síncrono al último engranaje de estos cinco anteriormente mencionados.

-En segundo lugar, el caracol de este sistema, mediante uno de los cuatro pivotes que tiene en su parte trasera, levanta el mecanismo de liberación del actuador del bloqueo, quedando libre el actuador de bloqueo.

-A continuación, el actuador de bloqueo libera a la sierra del sistema y esta cae la distancia determinada por el palpador del caracol, que dependiendo de la posición donde se encuentre determinará el tiempo que el sistema se encuentre girando libremente. Al estar el sistema liberado, cada uno de los pivotes correspondientes a cada cuarto irá topando con el actuador de sonido y este a su vez moverá al martillo que golpea la campana de cuartos.

-Al transcurrir el tiempo y pasar los cuatro cuartos, la sierra irá cayendo a una posición cada vez más lejana para permitir al sistema estar libre durante más tiempo y tocar más veces las campanas, de manera que el pivote que se encuentra tras la sierra accionará por completo al actuador activador del mecanismo de las horas.

-Por último, tras mover al activador del mecanismo de horas, se repetirá el proceso para la siguiente hora hasta que el reloj se quede sin cuerda, con lo que alguien tendrá que volver a darle cuerda a los tres sistemas.

### 5.3 Tren de sonería de horas

Su funcionamiento es muy parecido al anteriormente descrito de los mecanismos de sonería para los cuartos.

#### 5.3.1 Rueda primera y rueda de engrane

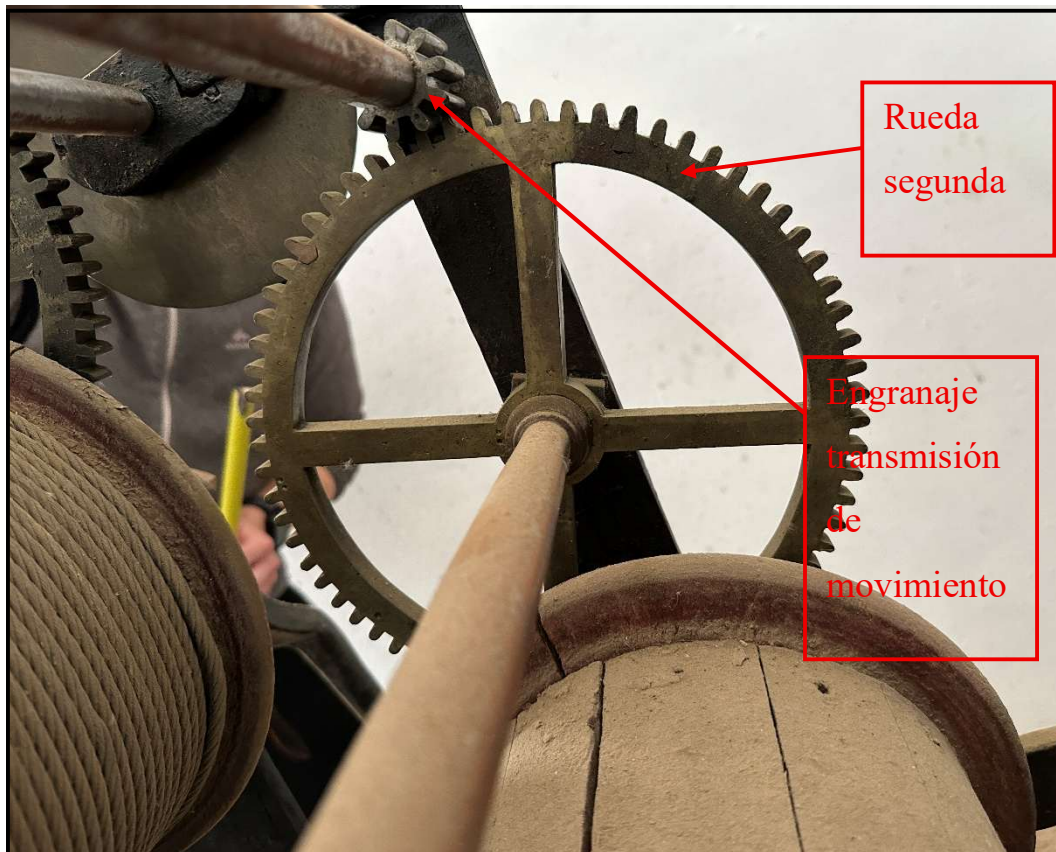
En este caso, la rueda primera de la sonería de las horas (*Figura 42*) es completamente igual a la rueda primera de la sonería de los cuartos. Ésta, también tiene 10 pivotes en su parte trasera que sirven para mover el actuador que tira de los cables enganchado al martillo que golpea la campana de las horas.



*Figura 42: Rueda de engrane del mecanismo de sonería de las horas. Fuente: propia*

### 5.3.2 Rueda segunda

Esta rueda (*Figura 43*) se encarga de transmitir el movimiento de la rueda primera al resto del sistema de sonería de las horas. Al final del eje donde se encuentra el engranaje pequeño se encuentra el venterol del sistema de sonería de las horas, así como el pivote que hace que el actuador de bloqueo detenga el movimiento del sistema completo.



*Figura 43: Rueda segunda del mecanismo de sonería de horas. Fuente: propia*

### 5.3.3 Caracol de las horas

Como podemos observar en la *Figura 44*, el caracol de las horas posee 12 escalones, uno por cada hora. Al igual que en el caso del caracol de los cuartos, el escalón con más altura será el recorrido empleado para tocar las doce campanadas cuando sean las doce, mientras que el escalón más bajo será el que toque una campanada para las una. A diferencia del caracol de los cuartos, el caracol de las horas posee 12 escalones, una para cada hora y luego vuelve a empezar.

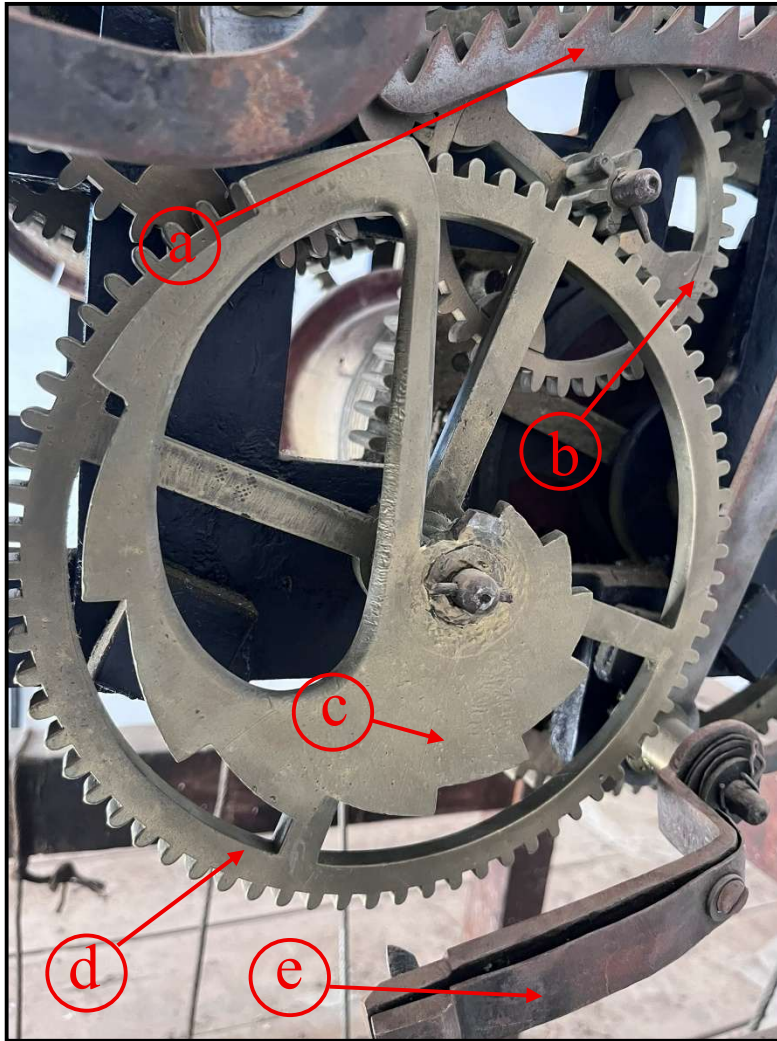


Figura 44: Caracol de las horas y su respectivo palpador. Fuente: propia

a	Sierra horas
b	Engranaje atrás 3
c	Caracol de horas
d	Engranaje transmisión de movimiento
e	Palpador del caracol de horas

Tabla 14: Elementos en la Figura 44

#### 5.3.4 Palpador del caracol de las horas

De la misma manera que el palpador de los cuartos, el palpador del caracol de las horas ([Figura 45](#)) se encargará de determinar el periodo de tiempo que la sonería de horas estará desbloqueada. Se mueve de manera síncrona a la sierra de las horas. Cuando este se apoye sobre el escalón de mayor recorrido, liberará el sistema durante más tiempo (lo que significa que dará las doce horas), mientras que, si se encuentra en el escalón más bajo, desbloqueará el sistema durante menos

tiempo (corresponde a un toque, luego las una). Así, sucesivamente con cada uno de los escalones del caracol de las horas.

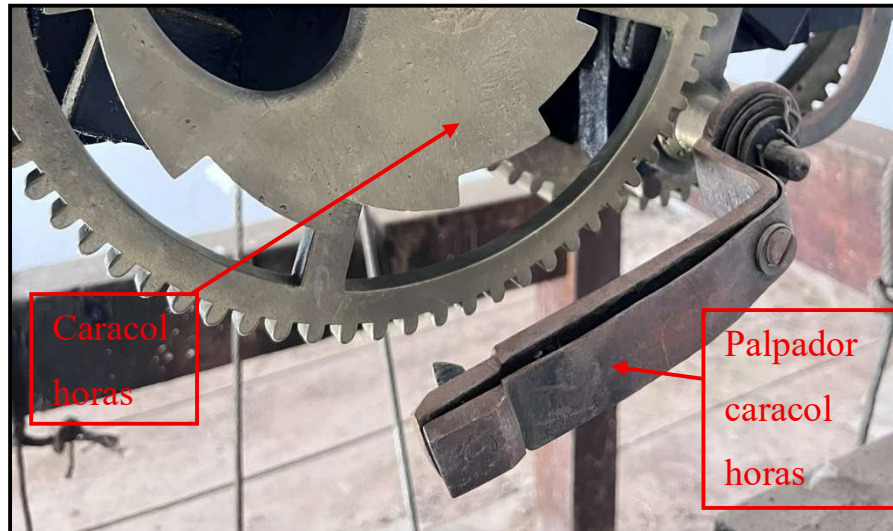


Figura 45: Palpador del caracol de las horas. Fuente: propia

### 5.3.5 Sierra o cremallera de las horas

El funcionamiento es exactamente igual que la sierra del mecanismo de sonería de cuartos. Al ir en sintonía con el palpador, bajará y subirá en proporción a lo que lo haga el palpador colocado sobre el caracol de las horas. A medida que más bajo sea el escalón, menos recorrido hará la sierra y menos tiempo liberará el tren de sonería, con lo que la sierra se encarga de determinar el intervalo de tiempo que el sistema de sonería estará desbloqueado. De la misma manera, cuando el palpador se encuentre en el escalón más alto, la sierra recorrerá más dientes, lo que implica que el tren de sonería de las horas estará más tiempo desbloqueado. Una vez que se termine el recorrido de la sierra, ésta parará en la posición de “descanso” hasta que se vuelva a activar, en este caso, a la siguiente hora. La [Figura 46](#) muestra la sierra de las horas bloqueada esperando a que el sistema se libere y caiga la cantidad necesaria correspondiente al tiempo que marca el caracol.

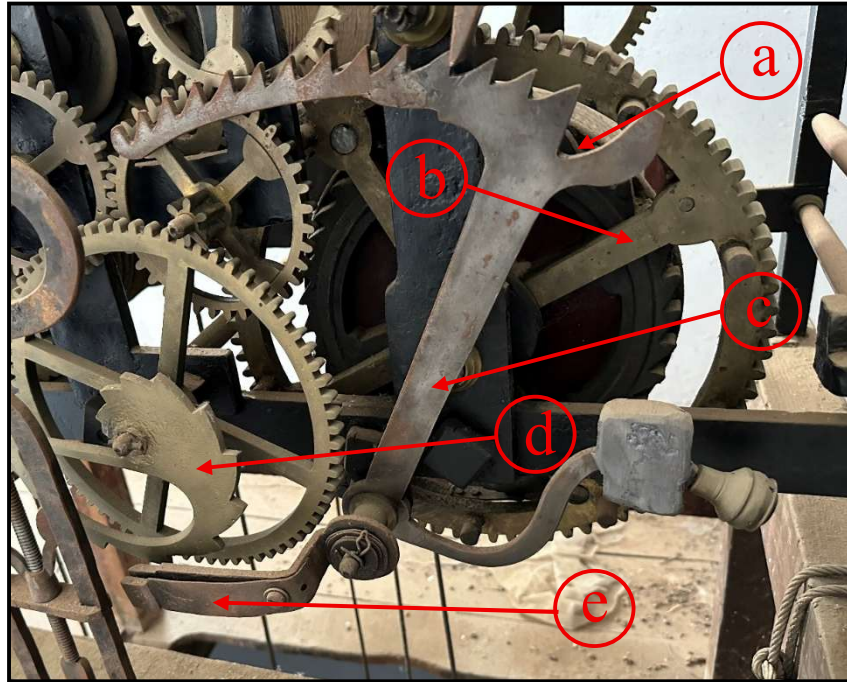


Figura 46: Sierra de las horas. Fuente: propia

a	Posición de “descanso” de la sierra de horas
b	Rueda primera horas
c	Sierra de horas
d	Caracol de horas
e	Palpador del caracol de horas

Tabla 15: Elemento en la Figura 46

### 5.3.6 Actuador de bloqueo

Al igual que el actuador de bloqueo de los cuartos, este es el que permite o impide el movimiento del tren de sonería del sistema correspondiente (*Figura 47*), en este caso el de las horas. Encaja en cada uno de los dientes de la sierra de horas y va saltando por cada uno de ellos hasta llegar a la posición de “descanso”, donde se para y bloquea al pivote del eje de la rueda segunda.

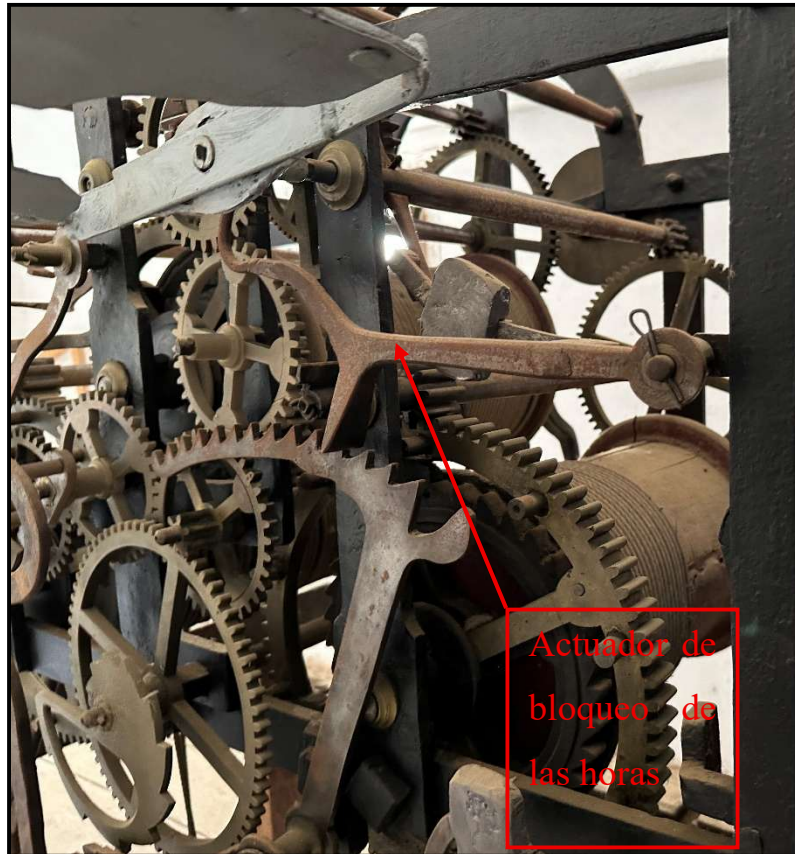


Figura 47: Actuador de bloqueo del sistema de sonería de las horas. Fuente: propia

A diferencia del mecanismo de sonería de los cuartos, el mecanismo de sonería de las horas recibe la activación de dos maneras diferentes. Primero, por el actuador activador del mecanismo de las horas, cuyo movimiento es transmitido por el tren de sonería de los cuartos y el cual libera el pivote del eje de la segunda rueda, conectado al venterol de las horas. Y segundo, directamente del minuterero, a través del primer engranaje de la sucesión de cinco que encontramos en la parte trasera, el cual posee un único pivote que al llegar a la hora en punto levanta por completo el actuador de bloqueo de las horas y libera la sierra y el pivote del eje de la rueda segunda. Como este sistema no posee mecanismo de liberación en sí como lo tenía el sistema de sonería de cuartos, se utiliza un pivote en el primer engranaje para levantar al actuador de bloqueo. En resumen, para desbloquear el sistema de sonería de las horas es necesario una “doble verificación”. Por un lado, el pivote del engranaje guiado por el minuterero para levantar el actuador de bloqueo de la sierra, y por otro, el actuador activador del sistema de sonería de las horas proveniente del sistema de sonería de los cuartos. De esta manera, el sistema de sonería de las horas debe recibir las dos “señales” para liberar el sistema y comenzar a tocar las campanas de las horas.

### 5.3.7 Actuador de sonido de las horas

Al igual que el perteneciente a la sonería de los cuartos, éste se encontraba desconectado del martillo que golpea la campana de las horas. En circunstancias normales, el actuador se debería encontrar en posición casi vertical, de manera que reposase sobre uno de los pivotes de la rueda primera de la sonería de horas. Al no haber tensión. Se encuentra descolgado y no trasmite el movimiento hasta su martillo correspondiente (*Figura 48*).

Para conseguir una foto de cómo estaría el actuador de sonido de las horas, en el caso de estar conectado al martillo que golpea la campana de las horas, se mantuvo este en una posición de manera que reposase sobre uno de los pivotes la rueda primera y así simular su correcto funcionamiento como podemos apreciar en la *Figura 49*.



*Figura 48: Actuador de sonido de las campanas de las horas desconectado. Fuente: propia*

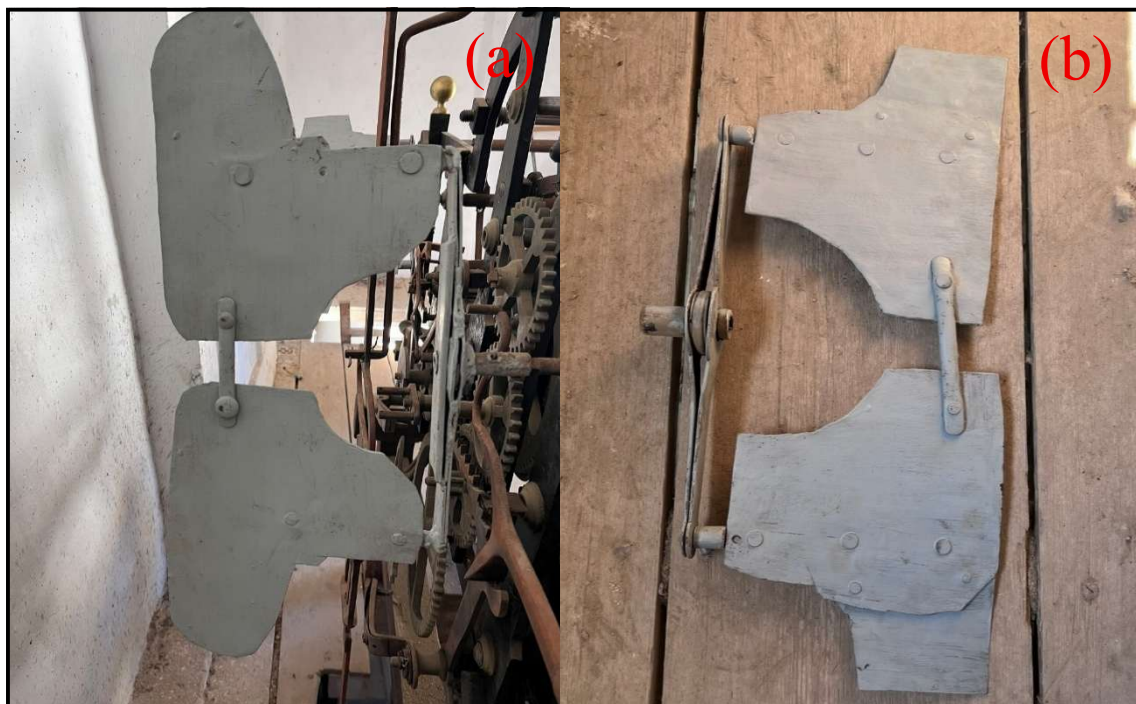


*Figura 49: Actuador de sonido de las horas en su correcta posición. Fuente: propia*

### 5.3.8 Venterol de las horas

Como se menciona anteriormente, sirve para evitar la sobreaceleración del mecanismo y también para evitar que el mismo frene bruscamente. Como se puede apreciar al comparar la *Figura 50a* y la *Figura 50b*, ambos venteroles poseen geometrías diferentes. Se deduce que no son los venteroles originales y que al parecer han sido modificados para aumentar su superficie, pues se observa que se le ha acoplado otro pedazo de chapa y se han pintado.

En la *Figura 50b*, mostrada anteriormente en el apartado relativo al sistema de sonería de cuartos, se puede diferenciar las modificaciones que ha sufrido la geometría de esta y las diferencias que existen entre ambos venteroles. Se supone que no representa un peligro para el correcto funcionamiento del reloj y que sirven igualmente para desarrollar su función como si fueran ambos iguales. Lo normal en los relojes de torre es que ambos venteroles sean iguales en tamaño y geometría para mantener una estética más cuidada, pero se desconoce si genera pequeñas desigualdades que lo hicieran pararse.



*Figura 50: Comparativa de venteroles de los sistemas de sonería de cuartos y horas respectivamente*

La verdadera razón por la cual ambos venteroles son diferentes se desconoce, pues no queda constancia de que en algunas de las reparaciones se cambiaran estos elementos. No obstante, se deduce que fueron modificados por alguien para aumentar su superficie, para lo cual se le añadió una plancha metálica con diferentes geometrías en todos los casos y realizada de manera muy bruta. Cabe destacar que se cree que cumple con su función, aunque no sea la manera más estética y profesional de modificar los venteroles.

### 5.3.9 Resumen del funcionamiento del mecanismo de sonería de horas

Al igual que se ha realizado al final del apartado del sistema de sonería de cuartos, para el sistema de sonería de horas también se resume el funcionamiento de este en diferentes apartados:

-Primero, al sistema de sonería de horas, mediante el actuador de activación del mecanismo de horas le llega la “señal” del mecanismo de sonería de cuartos de que se puede liberar el sistema.

-Al mecanismo, por otro lado, le llega otra “señal” por parte del pivote que se encuentra en el primer engranaje de la sucesión de los cinco que se encuentran en la parte trasera del reloj, que levanta al actuador de bloqueo y libera a la sierra.

-La sierra, una vez liberada, cae la distancia dictada por el palpador del caracol y el mecanismo se encuentra liberado hasta que se llegue a la posición de “descanso” de la sierra y se bloquee el sistema de nuevo.

-Mientras que el sistema está liberado, cada uno de los pivotes de la rueda primera del mecanismo va topando contra el actuador de sonido, haciendo este que el martillo golpee a la campana de las horas tantas veces como pivotes topen con el actuador dependiendo de la hora a tocar.

-Por último, tras sonar las campanas correspondientes a la hora a indicar, se volverá a bloquear el sistema y se repetirá todo el proceso primero de los cuatro cuartos y luego de la hora hasta que el mecanismo de sonería de horas se quede sin cuerda y se le tenga que volver a dar mediante la manivela.

## 5.4 Tren de movimiento

Esta parte del reloj puede considerarse la más importante, ya que es la en la que se encuentran las partes principales del reloj como son el péndulo, el áncora o el minuterero.

### 5.4.1 Péndulo

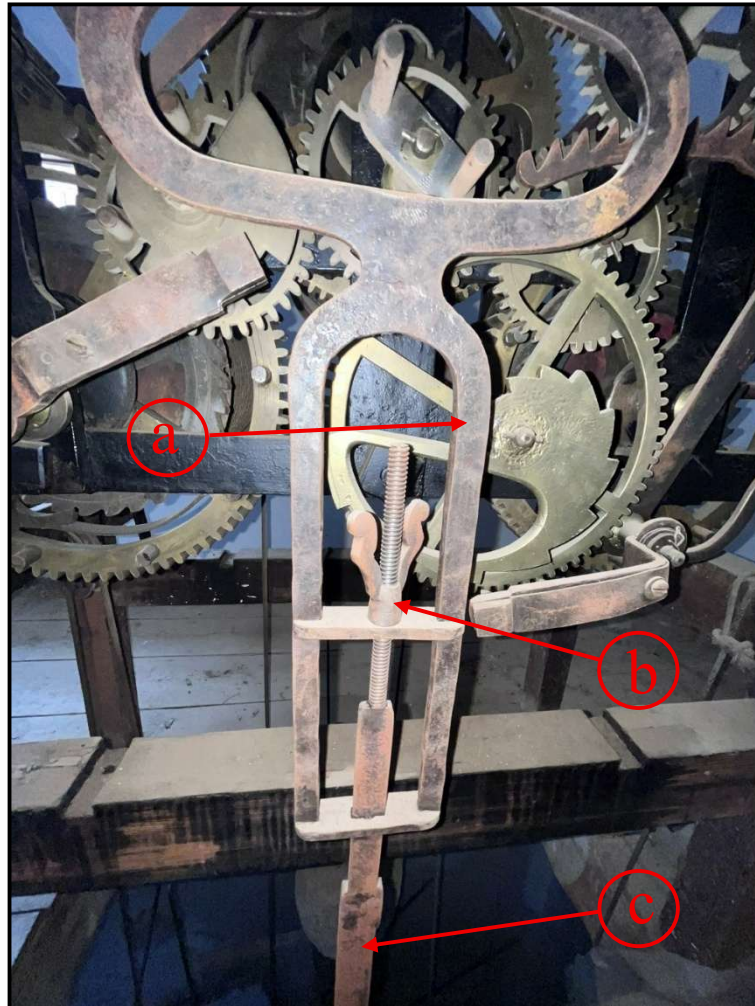
La pesa (*Figura 51*), que junto conectada a las varillas de acero hacen que el centro de gravedad del péndulo se encuentre a la distancia adecuada. La pesa del péndulo tiene forma de lenteja, muy habitual en los relojes de esta época, lo que hace pensar que se ha mantenido la original

Este a su vez está compuesto de tres partes: la pesa, las varillas y el tenedor.



*Figura 51: Pesa en forma de lenteja. Fuente: propia*

La pesa se encuentra unida a una varilla vertical larga. Ésta va unida a la varilla que se une a la lámina flexible gracias a una palometa que a su vez se encarga de regular la velocidad del péndulo, alargando (para frenar) y acortándolo (para acelerar) en función del movimiento de este (*Figura 52*).



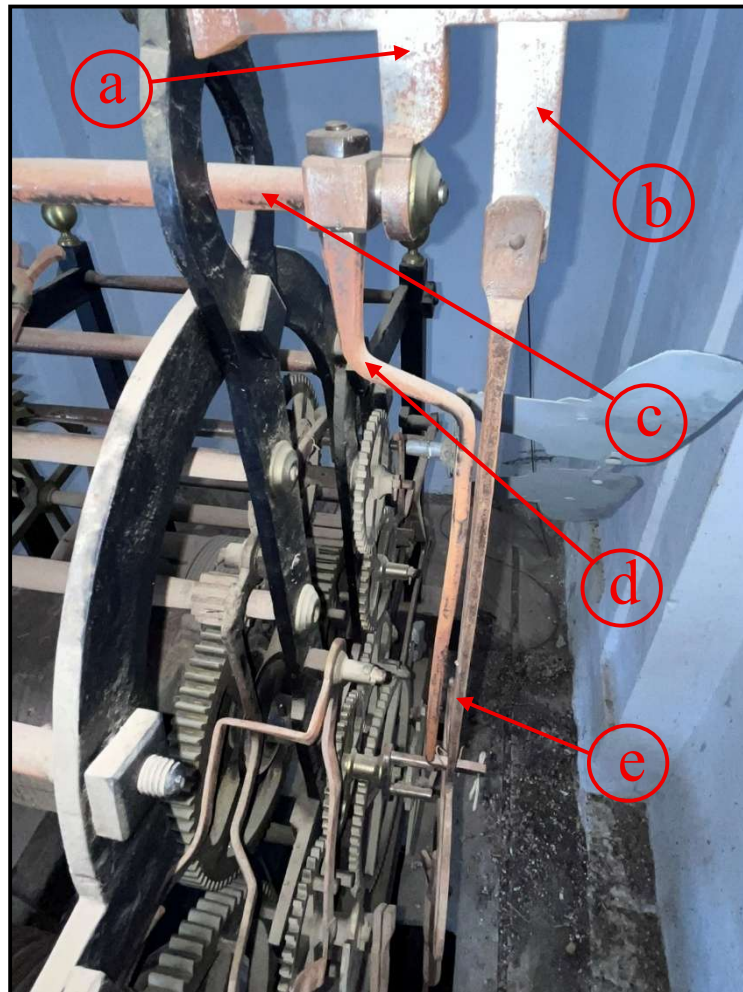
*Figura 52: Conjunto del péndulo. Fuente: propia*

a	Varilla que conecta al amarre
b	Palometa que conecta ambas varillas
c	Varilla que sostiene al péndulo

*Tabla 16: Elementos relativos al péndulo de la Figura 52*

Por otro lado, el tenedor (*Figura 53*) es el encargado de unir las varillas al eje del áncora, transmitiendo así el movimiento oscilatorio del eje del áncora al péndulo.

Además, la varilla conjunta al péndulo se amarra a la estructura con una lámina flexible (*Figura 53*) que ya se ha mencionado anteriormente para permitir las oscilaciones del péndulo pero resistente para soportar sin romperse.



*Figura 53: Imagen del conjunto del péndulo. Fuente: propia*

a	Amarre
b	Pletina flexible
c	Eje del áncora
d	Tenedor
e	Varilla que conecta al amarre

*Tabla 17: Elementos péndulo y amarre en la Figura 53*

### 5.4.2 Rueda de escape

Esta rueda se distingue entre las demás por la forma característica de sus dientes como podemos apreciar en la *Figura 54a*. Su forma es así debido a la función tan importante que debe cumplir. Una cara de los dientes es completamente lisa (cara de “bloqueo”), mientras que la otra posee una ligera curva (cara de “impulso”), teniendo esta segunda esa geometría para darle el impulso al péndulo. Dicha rueda tiene 30 dientes. Se observa que se ha sustituido la original debido al desgaste que se crea en dichos elementos ya que también nos encontramos con la rueda de escape original aún conservada en una de las paredes de la torre del reloj (*Figura 54b*).



*Figura 54: Rueda de escape nueva y la original de izquierda a derecha. Fuente: propia*

### 5.4.3 Áncora

Ésta es uno de los elementos más importantes para el funcionamiento y movimiento del reloj (*Figura 55*). Es la encargada de bloquear el movimiento de la rueda de escape, no permitiendo que se acelere el reloj de manera excesiva. Además, también se asegura de que los intervalos de tiempo a los que la aguja avanza sean isócronos. La *Figura 55a* es la parte mediante la cual el áncora se mantiene en el eje correspondiente. Por otro lado, la *Figura 55b* es una palometa que permite que las paletas se fijen al arco y que, en el momento adecuado, puedan reemplazarse las paletas en caso de desgaste. La *Figura 55c* muestra una de las dos paletas del áncora, usadas para

bloquear el movimiento de esta y darle un pequeño “impulso” a esta cuando tocan la cara de impulso de uno de los dientes de la rueda de escape.

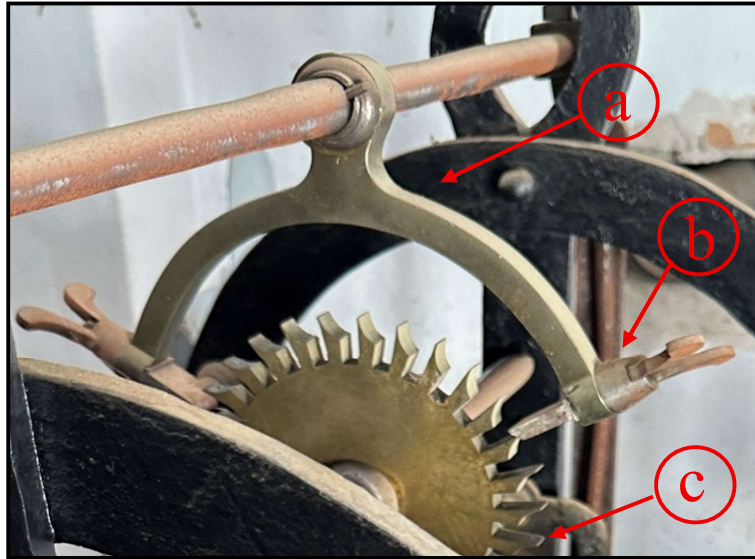


Figura 55: Áncora del escape Graham del mecanismo del reloj. Fuente: propia

a	Arco del áncora
b	Palometa unión de paleta a arco del áncora
c	Paleta del áncora

Tabla 18: Elementos del áncora

Cabe destacar que el escape ante el que nos encontramos es un escape de “retroceso bloqueado” o de tipo Graham. Este tipo de escape fue la evolución del escape de áncora original, ya que solían tener varias desventajas como podía ser la inexactitud debida al impulso hacia atrás. La geometría del áncora vendrá dada por el número de dientes de la rueda de escape como podemos apreciar en la [Figura 56](#).

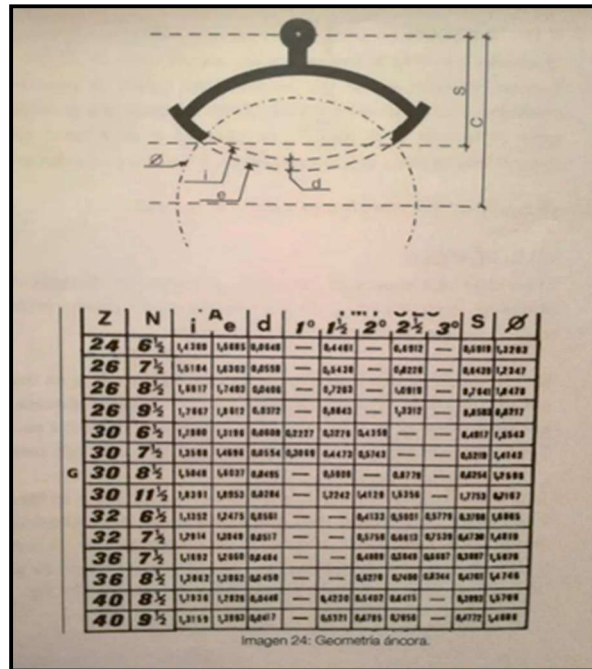


Figura 56: Geometría de un áncora [19]

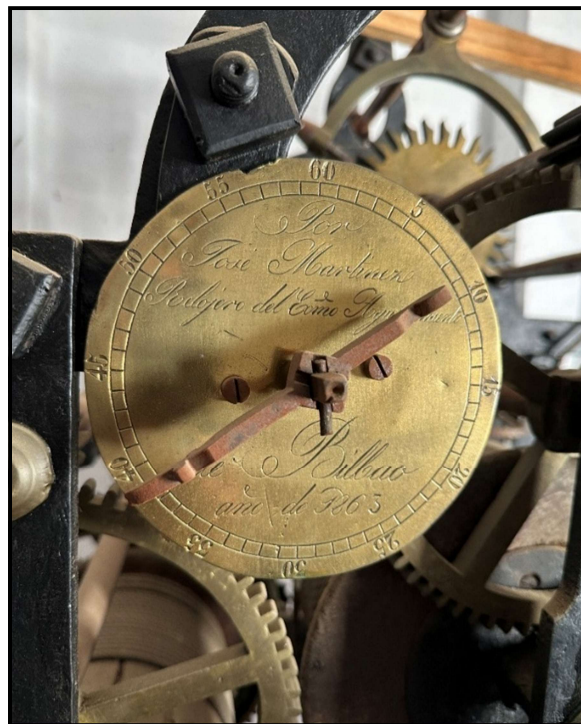
#### 5.4.4 Rueda minuterá

Esta rueda tiene 60 dientes, uno por cada minuto, con lo que esta debe dar una vuelta/hora. También consta de un sistema de embrague (*Figura 57*) conectado a otro engranaje, el cual conecta con la rueda primera del tambor de movimiento. Este segundo engranaje que se encuentra pegado a la rueda minuterá engrana con la rueda primera del mecanismo de movimiento. Al desembragar el muelle que encontramos en la rueda minuterá, ambos engranajes dejan de moverse en sincronía y permite que avance o retroceda el tiempo sin interferir en el movimiento del sistema de movimiento. De esta manera si que podemos afectar al sistema de sonería de cuartos directamente ya que justo en el mismo eje que la rueda minuterá encontramos el primer engranaje de la parte de atrás que llega hasta el caracol del sistema de sonería de cuartos.

Al final del eje que sostiene dichas ruedas, se encuentra sujeta a la estructura del reloj una placa de forma circular (*Figura 58*) donde se encuentra la aguja que permite avanzar o retroceder la hora mediante los minutos marcados en ella. Además, en esta placa se lee la firma del relojero y la fecha de fabricación. Para poder avanzar o retroceder los minutos, es necesario desembragar la rueda minuterá a la vez que se gira la aguja situada en la placa.



*Figura 57: Rueda minuterá junto con sistema de embrague y rueda que engrana con sistema de movimiento. Fuente: propia*



*Figura 58: Aguja donde se marcan los minutos y donde firma el relojero. Fuente: propia*

## 5.5 Estructura

En la estructura del reloj podemos diferenciar dos partes. Por un lado, encontramos la base, que sujeta y mantiene alejado del suelo al reloj. Y, por otro lado, encontramos el bastidor, cuyo propósito es estructural.

### 5.5.1 Base de madera

La base del reloj está formada por cuatro trozos de listón de madera donde reposa la estructura, junto con cuatro patas también de madera que la mantienen en alto (*Figura 59*). Las patas poseen unas hendiduras donde se encajan los listones más largos de manera que la base queda “engarzada”.



*Figura 59: Base de madera donde reposa el reloj. Fuente: propia*

### 5.5.2 Bancada

La bancada está formada por cuatro barras de hierro de sección cuadrada que forman los cuatro postes que sujetan al resto de las barras (*Figura 60*). Éstas, están unidas por chapas de sección rectangular que permiten acoplar los diferentes ejes de los trenes, así como los que sirven para unir la parte delantera de la trasera. Caben destacar las chapas que forman un arco tanto en la parte de delante como en la de atrás, así como el pequeño “ojal” formado para que pase a través de él el eje del áncora.

Por lo que podríamos resumir que el bastidor está formado de dos partes principales, el “arco” de delante y el “arco” de atrás, quedando ambos unidos por unas barras y por los ejes de los diferentes trenes del mecanismo.



*Figura 60: Estructura del reloj desde el lateral derecho. Fuente: propia*

## 5.6 Cálculos del periodo de oscilación y de la longitud del péndulo

Comenzaremos calculando la velocidad teórica del péndulo. Para ello es necesario obtener la velocidad teórica de la rueda minuterá. En circunstancias normales y si el funcionamiento del mecanismo del reloj es eso correcto, la rueda minuterá debería dar una vuelta por cada hora luego:

$$\omega_{\text{minuterá}} = 1 \text{ vuelta/hora} \quad (1)$$

Sabiendo esto y aplicando la fórmula que relaciona la velocidad angular con el número de dientes de las ruedas:

$$\omega_1 * Z_1 = \omega_2 * Z_2 \quad (2)$$

Esta ecuación la trasladamos a las ruedas que engranan entre sí que son la rueda minuterá y la rueda primera del sistema de movimiento:

$$\omega_{\text{minuterá}} * Z_{\text{minuterá}} = \omega_1 * Z_1 \rightarrow 1 \text{ vuelta/hora} * 60 = \omega_1 * 80 \rightarrow \omega_1 = \mathbf{0,75 \text{ vueltas/hora}} \quad (3)$$

Calculamos ahora la relación transmisión entre la primera y la segunda rueda:

$$i = \frac{Z_{\text{conductoras}}}{Z_{\text{conducidas}}} = \frac{Z_1 * Z_2}{Z_1' * Z_2'} = \frac{80 * 70}{10 * 10} = \mathbf{56} \quad (4)$$

Siendo  $z_1'$  y  $z_2'$  los engranajes pequeños que acompañan a cada una de las ruedas primera y segunda respectivamente y transmiten el movimiento de estas.

Una vez obtenemos la relación de transmisión ( $i$ ) podemos calcular la velocidad de la rueda de escape:

$$\omega_{\text{escape}} = \omega_1 * i = 0,75 \text{ vuelta/h} * 56 = \mathbf{42 \text{ vueltas/h}} \quad (5)$$

A cada diente de la rueda de escape le corresponde una oscilación del péndulo, luego:

$$n_{\text{péndulo}} = \omega_{\text{escape}} * Z_{\text{escape}} = 42 \text{ vuelta/h} * 30 \text{ dientes/vuelta} = 1260 \text{ dientes/h} = 1260 \text{ oscilaciones/h} = \mathbf{0,35 \text{ oscilaciones/s}} \quad (6)$$

Una vez obtenido el número de oscilaciones ( $n_{\text{péndulo}}$ ), calculamos el periodo:

$$T = 1 / n_{\text{péndulo}} = 1 / 0,35 = \mathbf{2,8571 \text{ s}} \quad (7)$$

La longitud del péndulo se relaciona directamente con el periodo del mismo mediante la siguiente fórmula:

$$T = 2 * \pi * \sqrt{\frac{L}{g}} \quad (8)$$

Despejamos  $L$  de la ecuación  $\rightarrow L = \mathbf{2,0305 \text{ m}}$  (Siendo  $g$  la aceleración de la gravedad  $9,82 \text{ m/s}^2$ ).

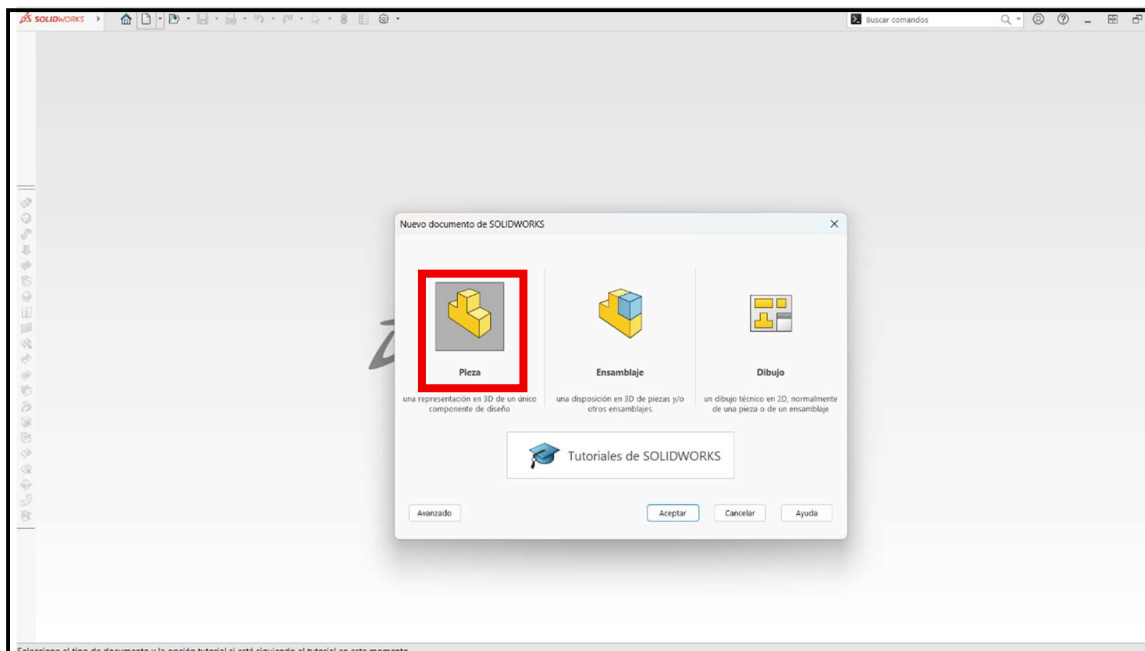
## 6 RESULTADOS

### 6.1 Modelado de las piezas

#### 6.1.1 Explicación del desarrollo del modelado de una pieza

Se realizará una guía de los pasos realizados para diseñar las piezas en el programa SolidWorks. En este caso comenzaremos por la estructura del reloj, ya que fue la primera pieza a realizar como toma de contacto con el programa tras pasar la fase de la toma de medidas de las piezas reales.

**-Paso 1:** nada más abrir el programa en el ordenador, nos aparece una ventana con tres opciones diferentes, de la que seleccionamos la opción “Pieza” para empezar con la construcción de un nuevo elemento, como podemos ver en la *Figura 61*.



*Figura 61: Paso 1 del proceso de modelado en SolidWorks. Fuente: propia*

**-Paso 2:** En la *Figura 62* podemos apreciar el espacio de trabajo del que disponemos en el programa. Para poder continuar y realizar un croquis, seleccionamos el plano de trabajo con el que vamos a trabajar disponible en la lista que encontramos a la izquierda de la interfaz como podemos comprobar en la *Figura 63*.

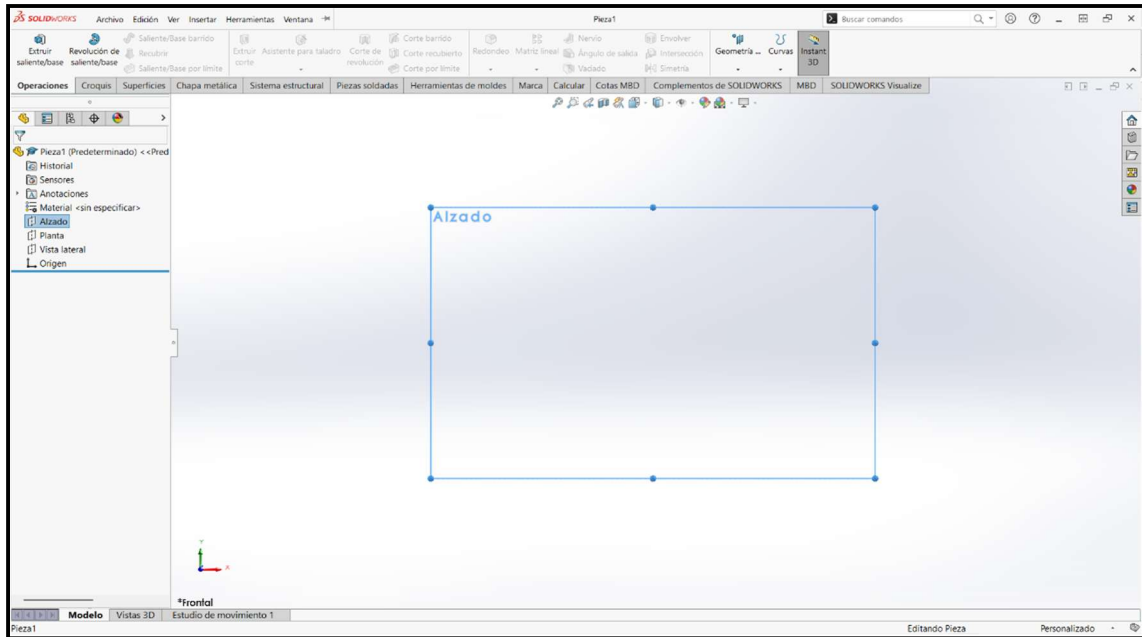


Figura 63: Paso 2 del proceso de modelado en SolidWorks. Fuente: propia

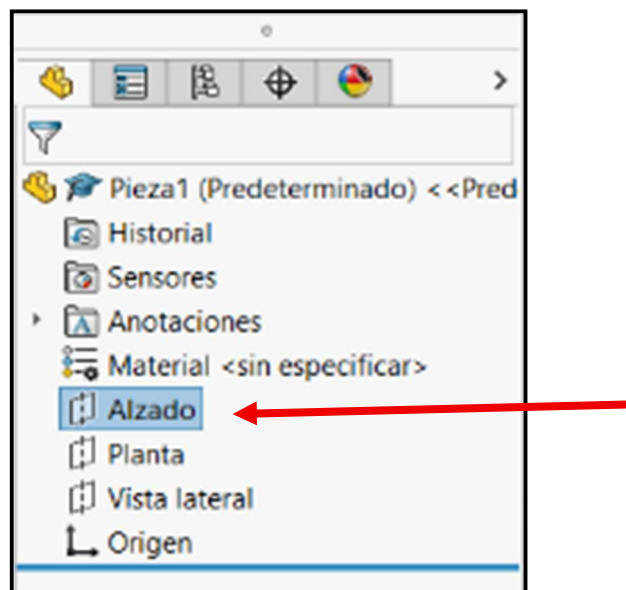


Figura 62: Paso 2 del proceso de modelado en SolidWorks. Fuente: propia

**-Paso 3:** Para poder comenzar el dibujo, hacemos click en la opción “Croquis” disponible en la pestaña “Croquis” de la interfaz, como podemos apreciar en la [Figura 64](#).

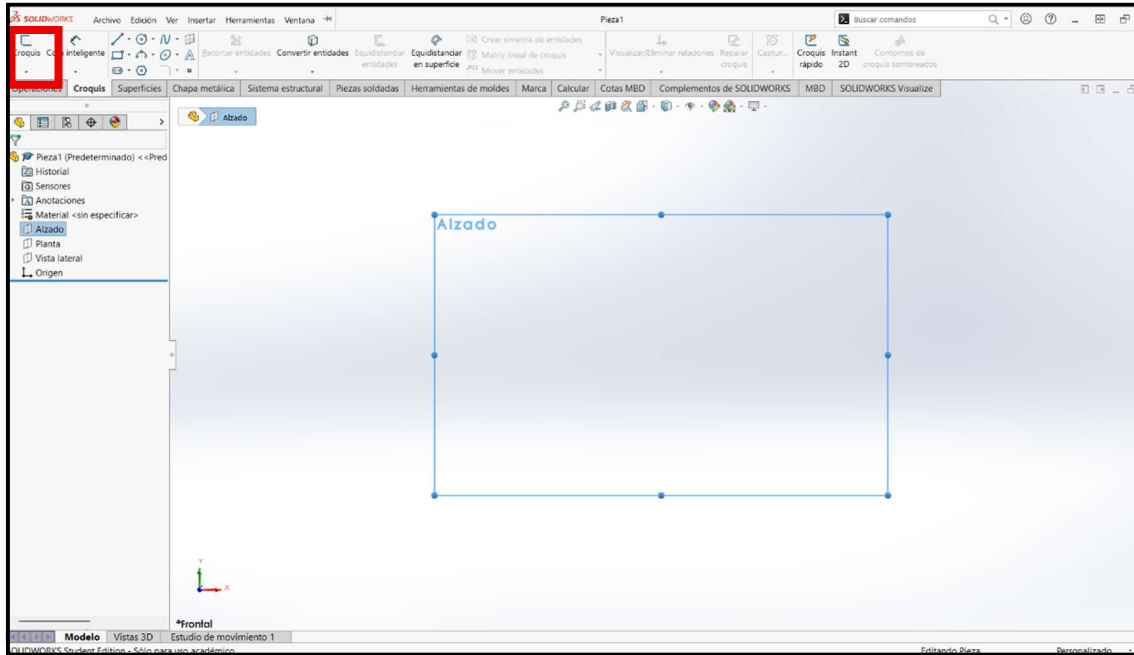


Figura 64: Paso 3 del proceso de modelado en SolidWorks. Fuente: propia

Tras seleccionar la opción “Croquis”, pulsamos sobre el comando “Rectángulo de esquina” (Figura 65) para hacer un rectángulo cuya esquina se encuentre en el origen de coordenadas para facilitar el desarrollo de la pieza.

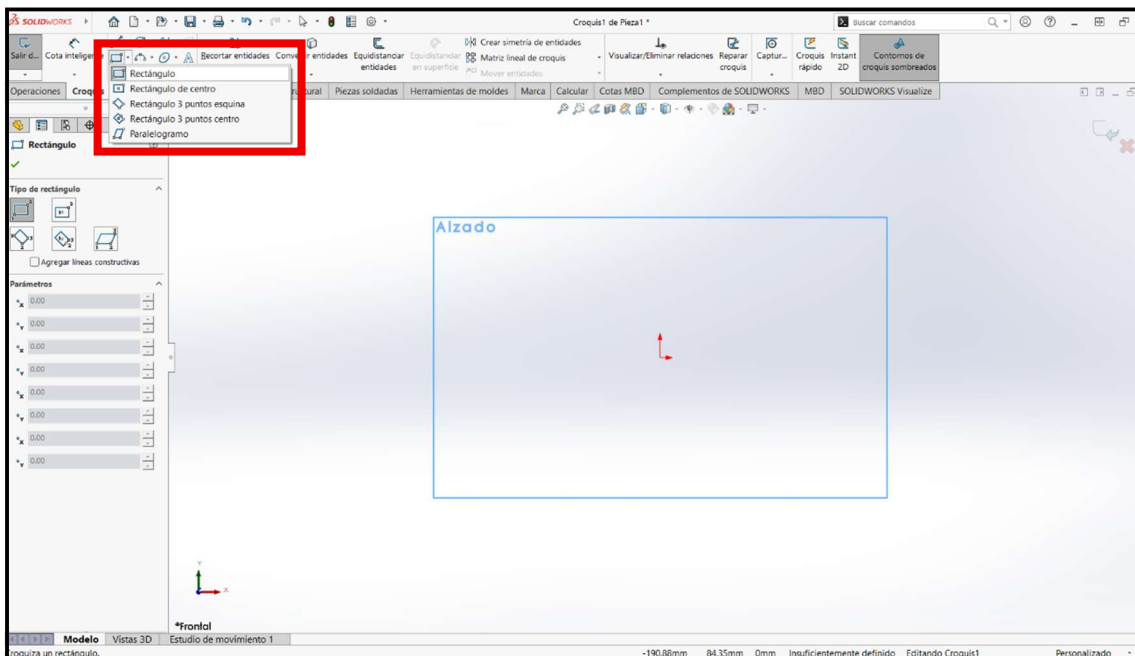


Figura 65: Continuación del paso 3 del proceso de modelado en SolidWorks. Fuente: propia

**-Paso 4:** una vez realizado el croquis del rectángulo, procedemos a darle las dimensiones deseadas mediante la opción “Cota inteligente” (Figura 66). A partir de esta función, podremos editar las diferentes cotas del boceto realizado y podrá ser modificadas en el futuro

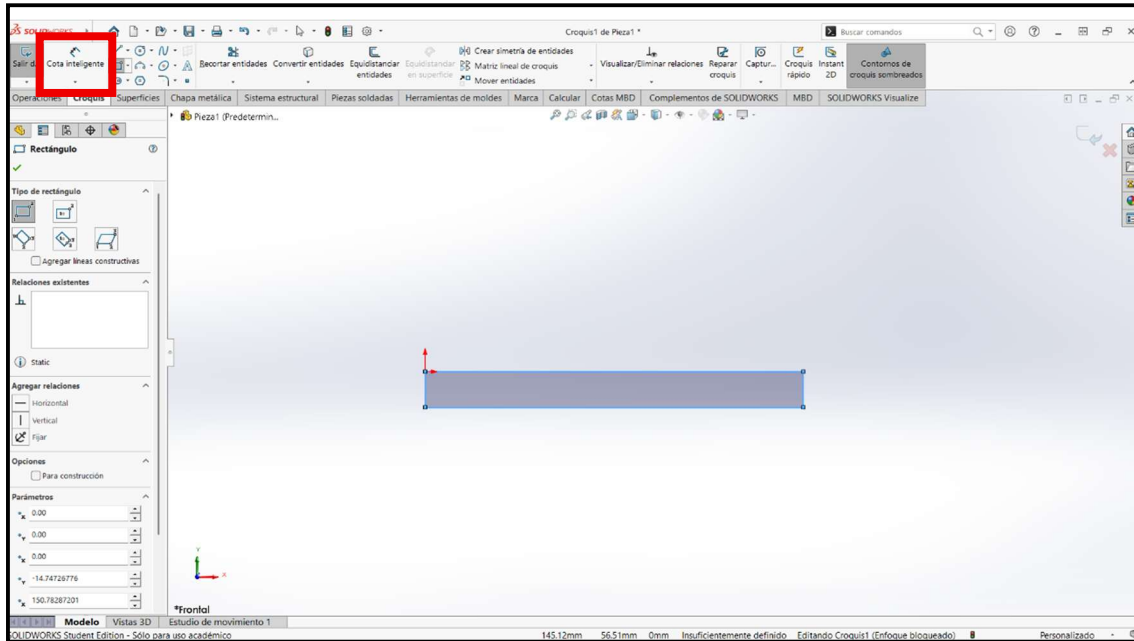


Figura 66: Paso 4 del proceso de modelado en SolidWorks. Fuente: propia

Haciendo sobre click sobre la cota que se desea modificar, se abrirá una pequeña ventana en la que podremos editar la medida (Figura 67)

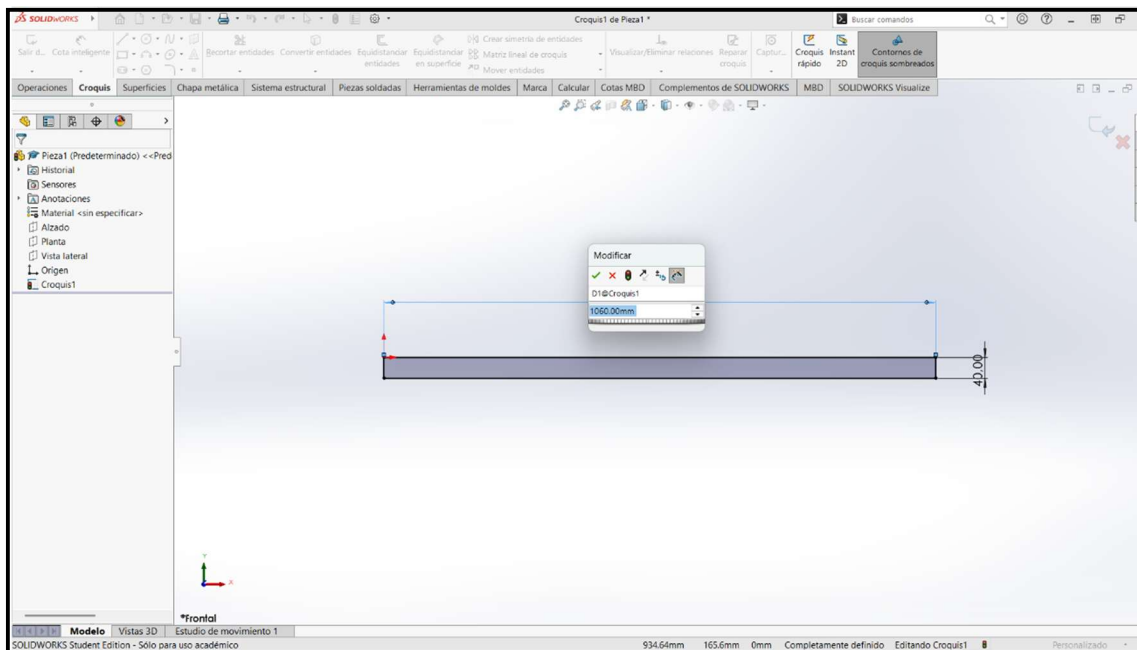


Figura 67: Continuación del paso 4 del proceso de modelado en SolidWorks. Fuente: propia

**-Paso 5:** una vez terminado el proceso de edición de las cotas deseadas, se finaliza el croquis en 2D (Figura 68).

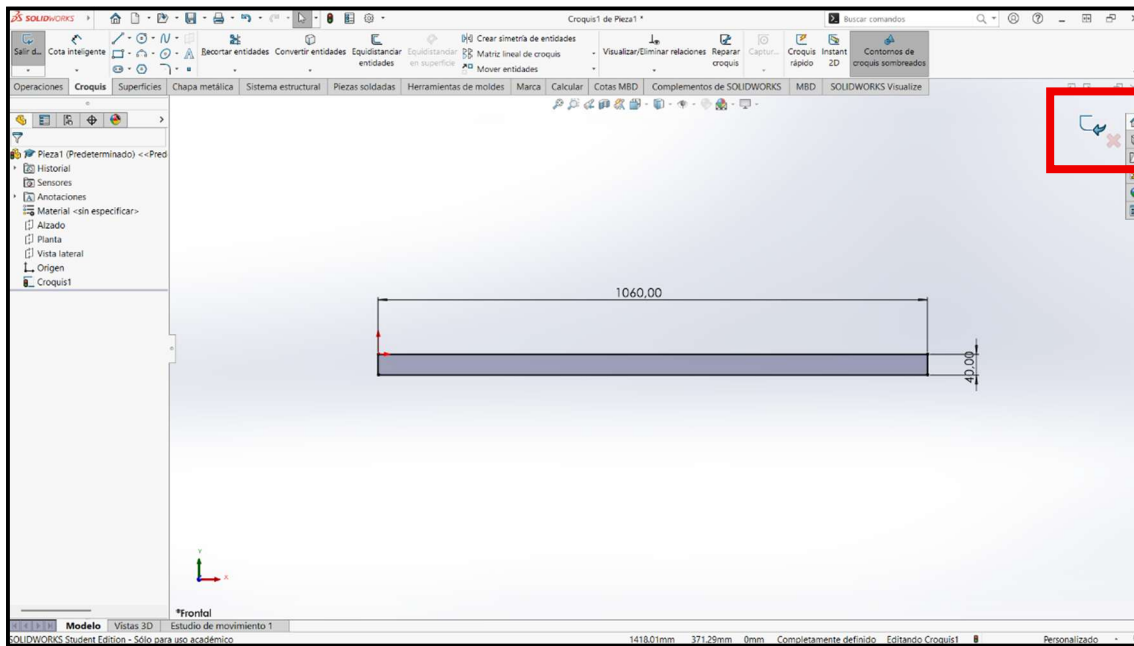


Figura 68: Paso 5 del proceso de modelado en SolidWorks. Fuente: propia

-Paso 6: Como podemos apreciar en la [Figura 69](#), una vez finalizado el croquis 2D, seleccionamos la pestaña “Operaciones” para hacer el modelo 3D del boceto. Después seleccionamos “Extruir saliente/base”.

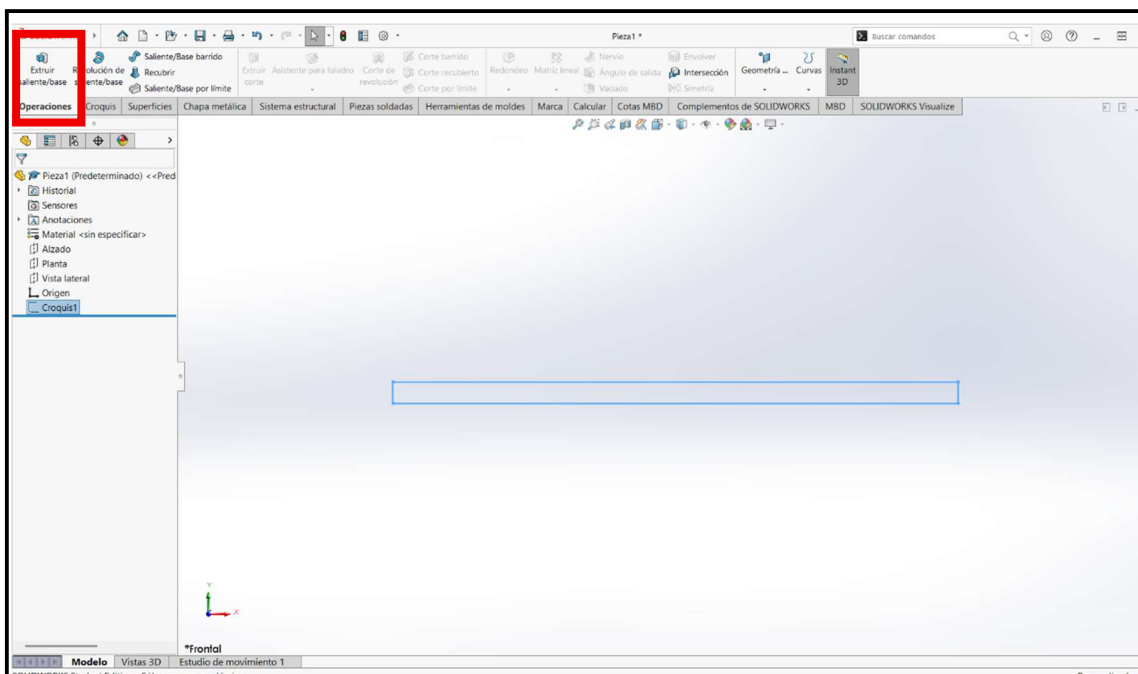


Figura 69: Paso 6 del proceso de modelado en SolidWorks. Fuente: propia

Nada más apretar la opción de “Extruir saliente/base” nos aparece una ventana desplegable ([Figura 70](#)) donde rellenaremos los diferentes parámetros según el resultado que busquemos

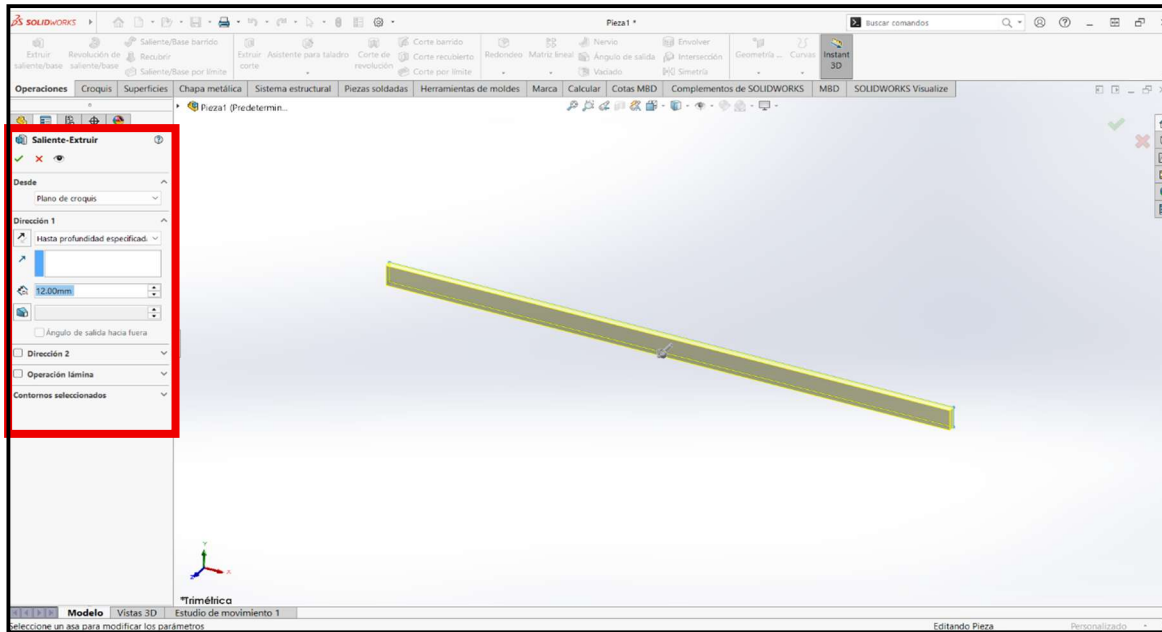


Figura 70: Continuación del paso 6 del proceso de modelado en SolidWorks. Fuente: propia

En este caso se realizará la extrusión desde el plano de croquis a una distancia de 12mm. Estos parámetros se podrán editar más adelante en caso de que fuera necesario. Una vez terminado de editar todos los parámetros deseados, se pulsa el Botón verde “Aceptar” y se obtiene el resultado buscado de la [Figura 71](#).

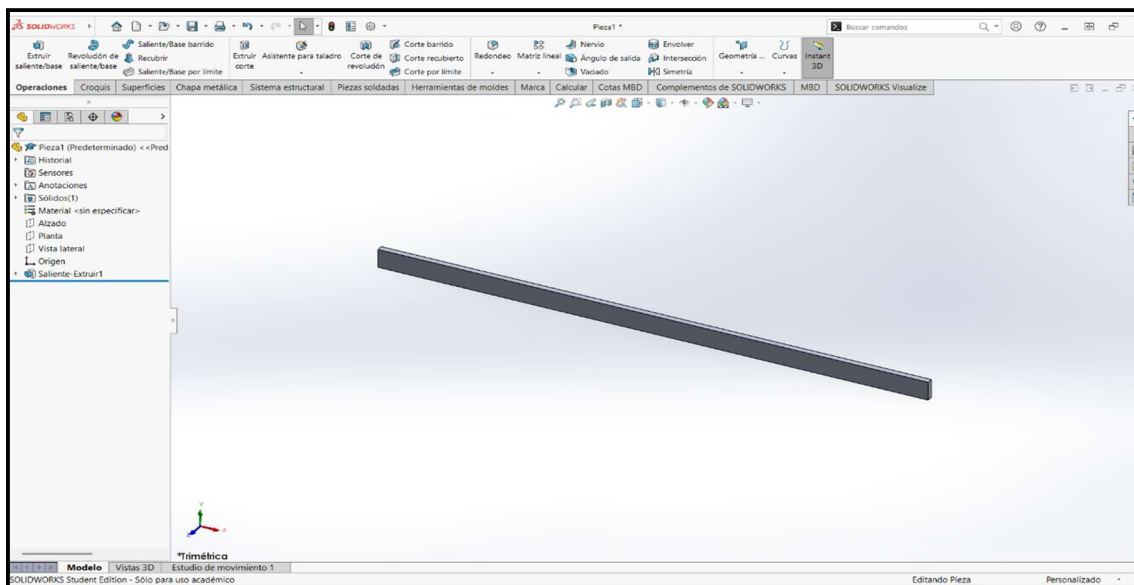


Figura 71: Resultado del paso 6 del proceso del modelado en SolidWorks. Fuente: propia

**-Paso 7:** Para crear los diferentes taladros necesarios en la pieza, utilizaremos la opción “Asistente para taladro” como podemos observar en la [Figura 72](#)

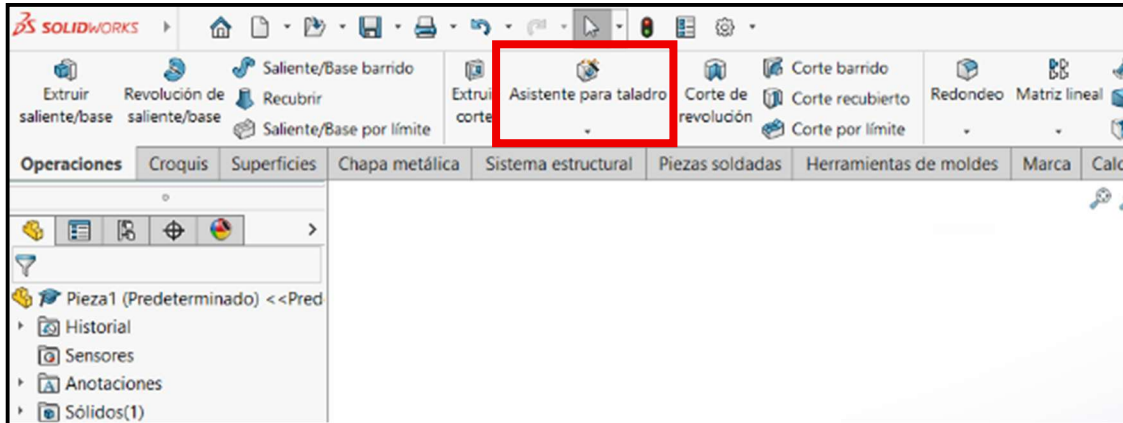


Figura 72: Paso 7 del proceso de modelado en SolidWorks. Fuente: propia

Como podemos comprobar en la [Figura 73](#) aparece un desplegable donde seleccionaremos el diámetro de los taladros a realizar.

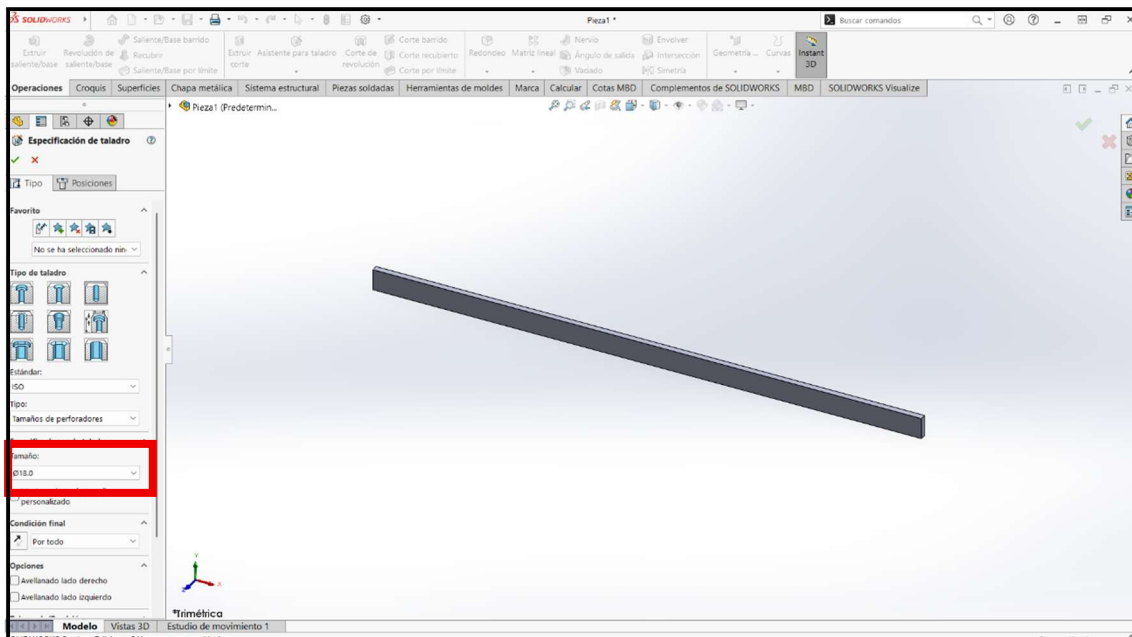


Figura 73: Continuación del paso 7 del proceso de modelado en SolidWorks. Fuente: propia

A continuación, haremos click en la pestaña “Posiciones” y marcaremos la cara donde deseamos hacer los taladros. Seguidamente colocaremos los taladros en una posición aproximada. Para posicionar los taladros de forma exacta, seleccionaremos la opción “Cota inteligente” mientras nos encontramos dentro de la ventana “Posiciones”. Una vez editadas las cotas como vemos en la [Figura 74](#), podemos “Aceptar” la operación y salir de esa ventana.

Cabe destacar que esta operación de hacer taladros también es posible mediante el comando “Extruir corte” pero por facilidad se utilizó la opción considerada más rápida.

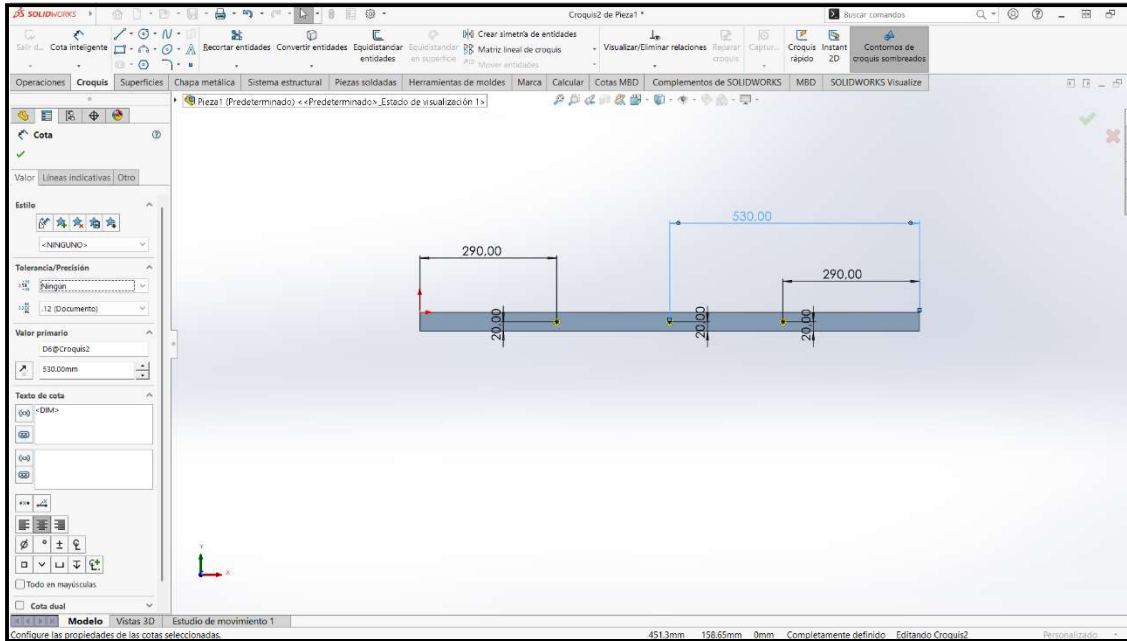


Figura 74: Continuación del paso 7 del proceso de modelado en SolidWorks. Fuente: propia

-Paso 8: Con la sucesión de estos sencillos pasos vamos creando las diferentes piezas que conforman la estructura de metal que soporta al resto de piezas.

De la misma manera se fueron realizando bocetos, extrusiones y taladros para conseguir obtener el resultado deseado (Figura 75).

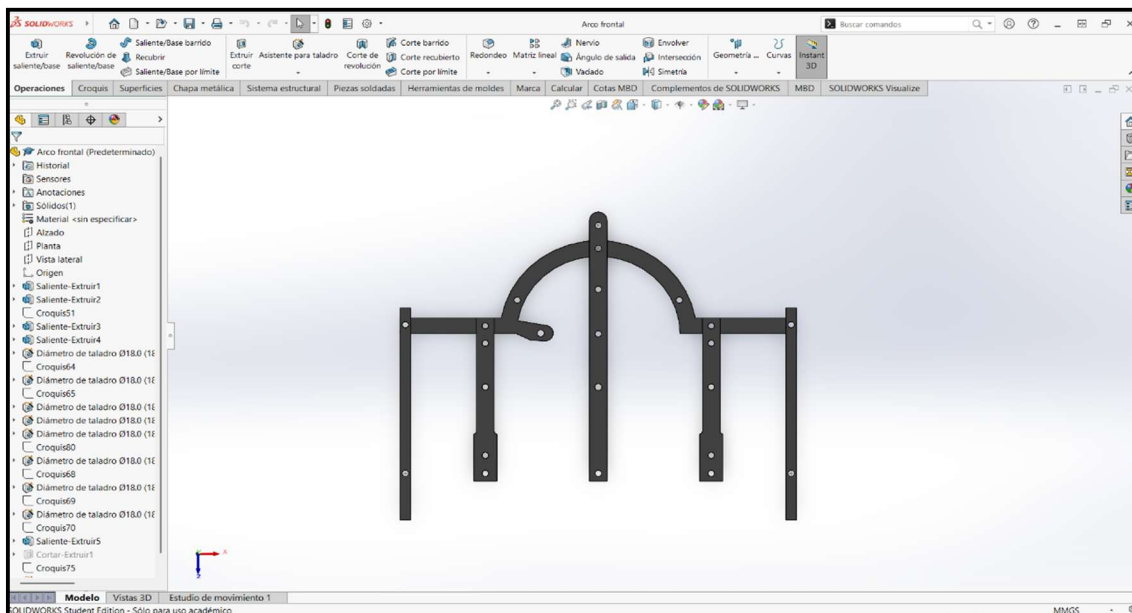
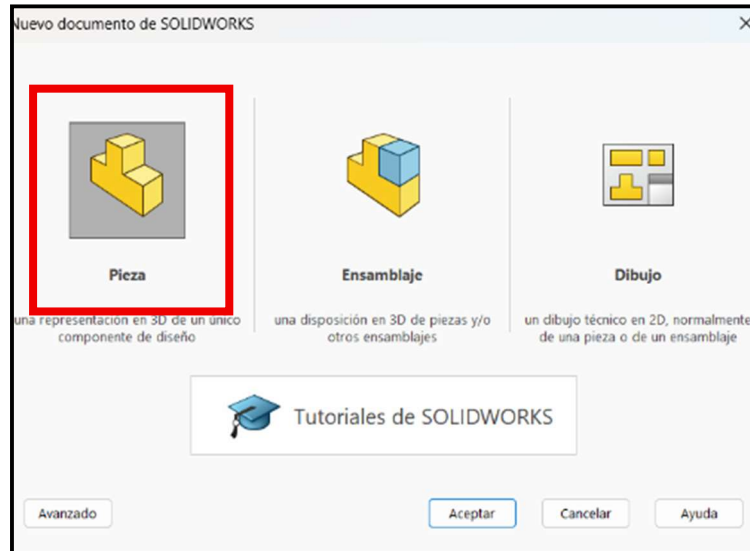


Figura 75: Paso 8 del proceso de modelado en SolidWorks. Fuente: propia

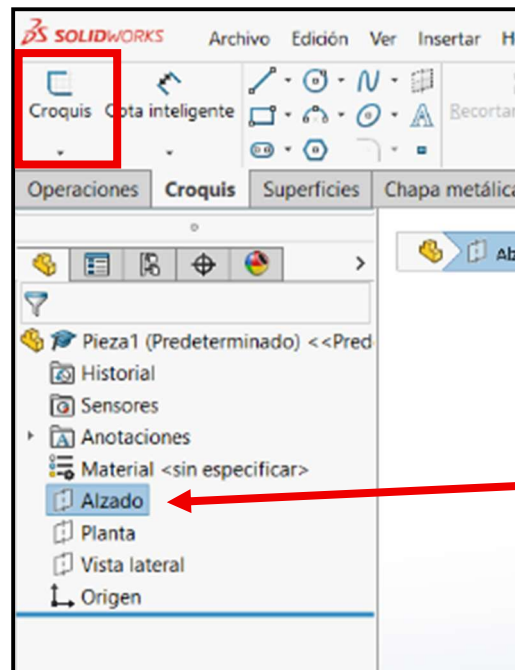
A continuación, se mostrará el proceso necesario para la creación de piezas más complejas.

**-Paso 1:** abrimos un nuevo proyecto y volvemos a seleccionar “Pieza” (*Figura 76*)



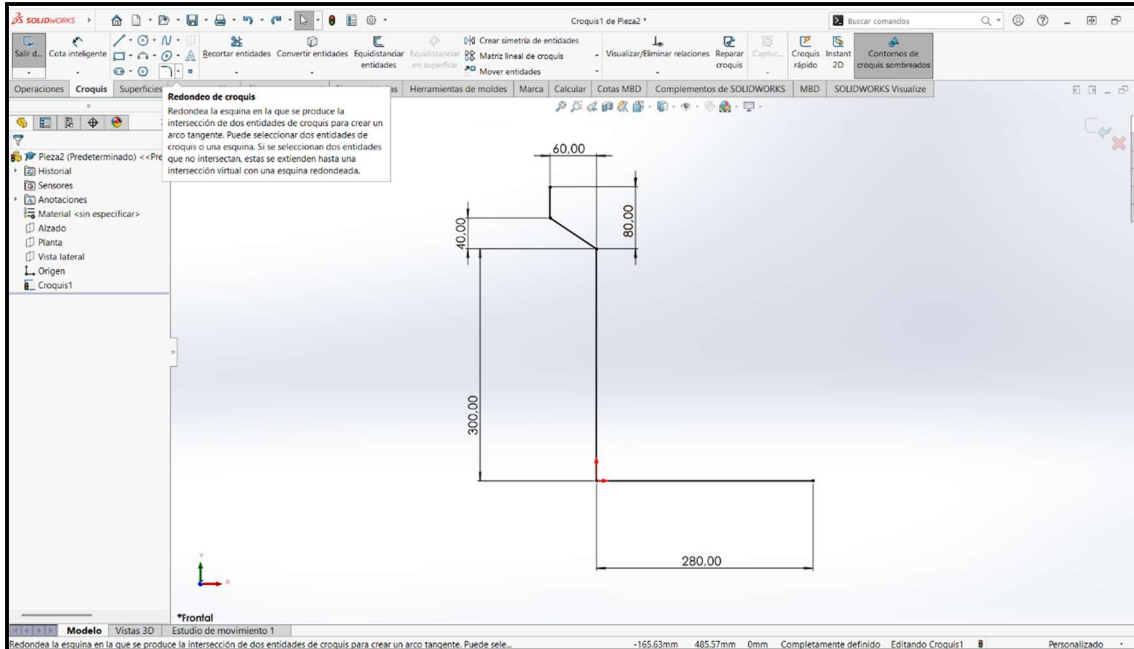
*Figura 76: Paso 1 del modelado en SolidWorks. Fuente: propia*

**-Paso 2:** volvemos a seleccionar la opción “Croquis” dentro de la pestaña con el mismo nombre y marcamos el plano donde queremos realizar el boceto (*Figura 77*).



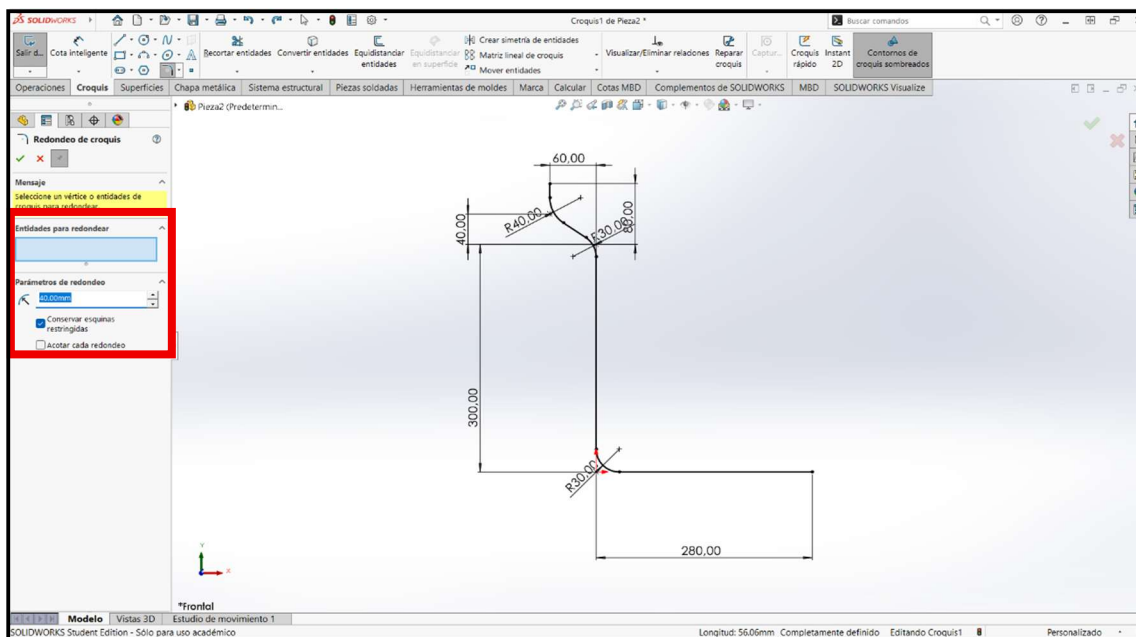
*Figura 77: Paso 2 del modelado en SolidWorks. Fuente: propia*

-Paso 3: realizamos el boceto y con la opción “Cota inteligente” le damos las dimensiones requeridas (*Figura 78*).



*Figura 78: Paso 3 del modelado en SolidWorks. Fuente: propia*

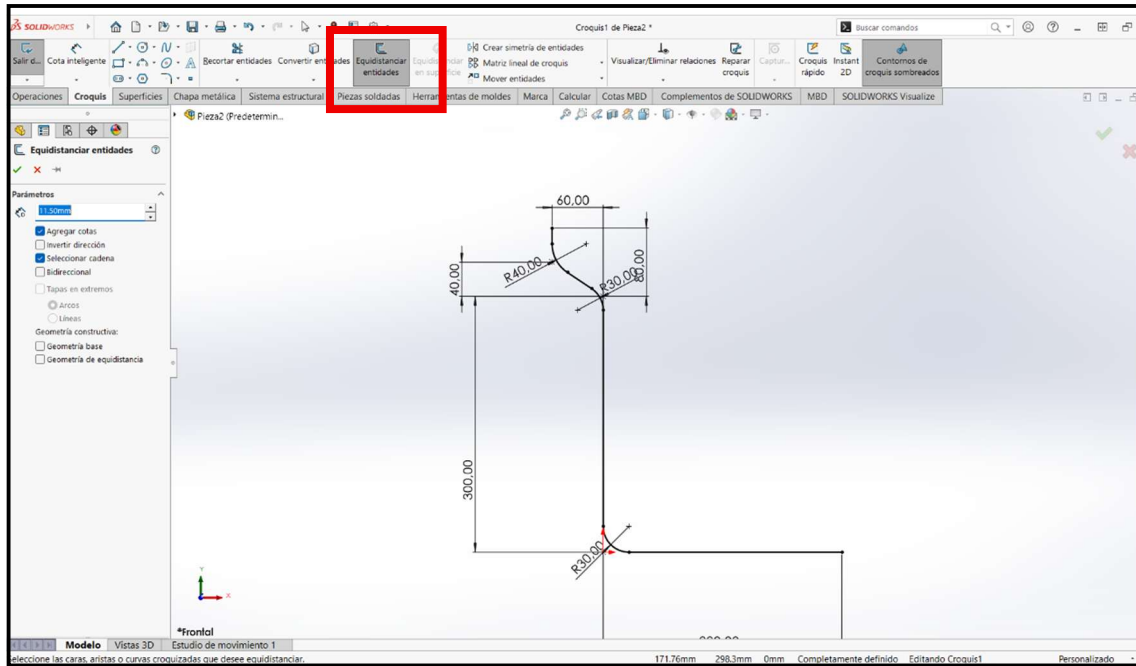
Sin terminar el boceto, seleccionamos la opción “Redondeo de croquis” para redondear las esquinas. Mediante la pestaña desplegable que aparece a la izquierda, editamos el radio que queremos que tenga el redondeo en el croquis (*Figura 79*), así como las entidades que queremos redondear.



*Figura 79: Continuación del paso 3 del modelado en SolidWorks. Fuente: propia*

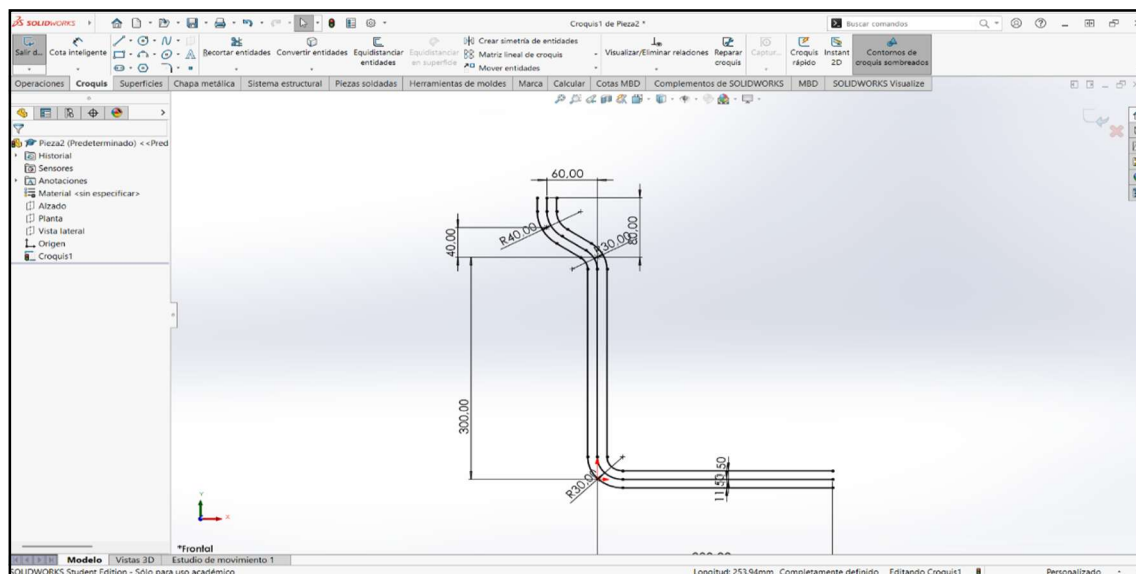
**-Paso 4:** una vez hechos los redondeos deseados, procedemos a “Equidistanciar entidades”. Como podemos observar en la *Figura 80*.

En la pestaña desplegable se selecciona la distancia que se desea equidistanciar y se elige con el ratón las partes que se quieren equidistanciar, así como la dirección



*Figura 80: Paso 4 del modelado en SolidWorks. Fuente: propia*

Una vez equidistanciado a ambos lados la misma cantidad, se obtiene un resultado como el de la *Figura 81*.



*Figura 81: Continuación del paso 4 del modelado en SolidWorks. Fuente: propia*

-**Paso 5:** se procede a crear planos en los lugares necesarios mediante la opción “Geometría” e inmediatamente después en el desplegable que aparece seleccionamos “Plano”. Este paso es necesario para hacer bocetos que luego utilizaremos en las operaciones de “Saliente/ Base barrido” o “Recubrir” según el tipo de perfil. Para ello se selecciona una línea a que el plano será perpendicular y un punto por el que pasará el nuevo plano (*Figura 82 y Figura 83*)

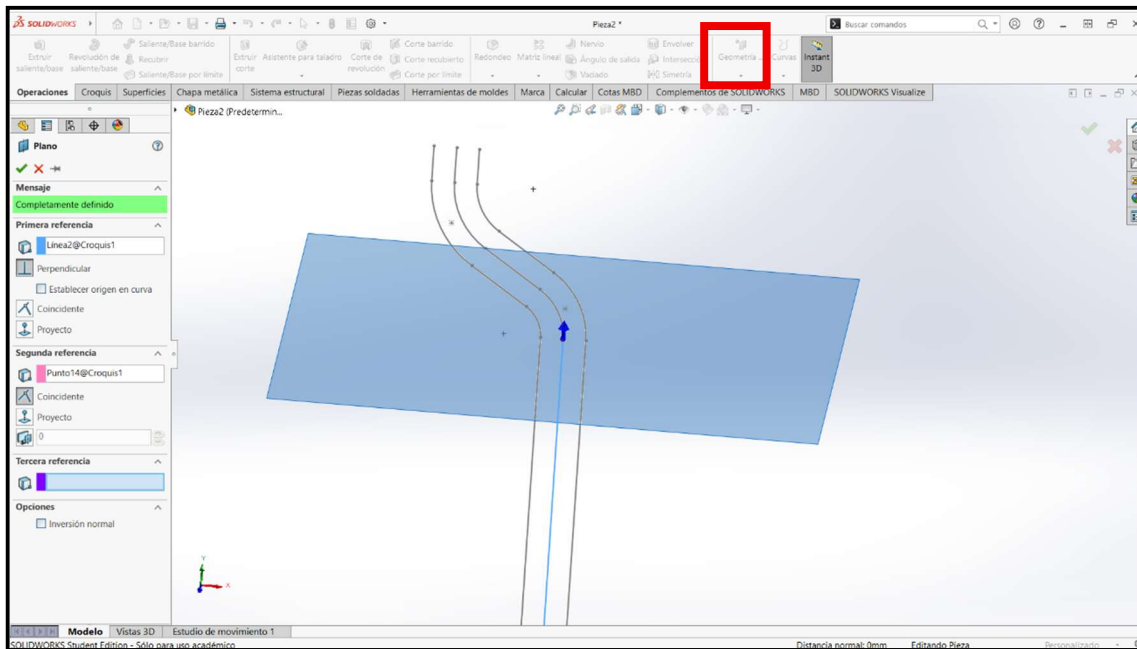


Figura 82: Paso 5 del modelado en SolidWorks. Fuente: propia

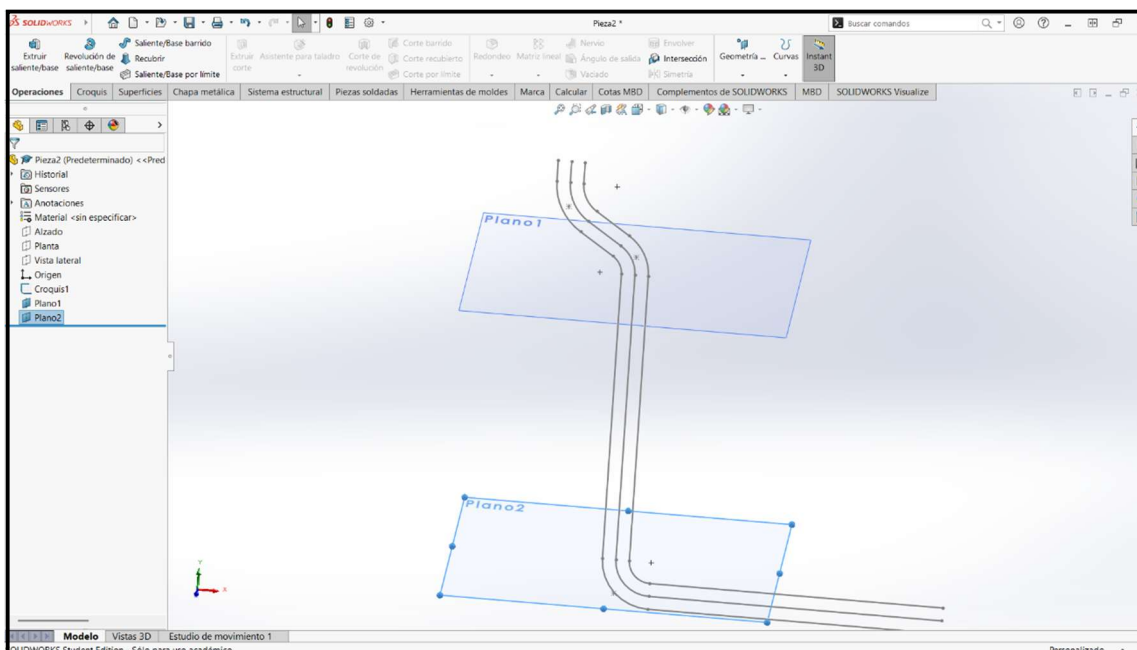
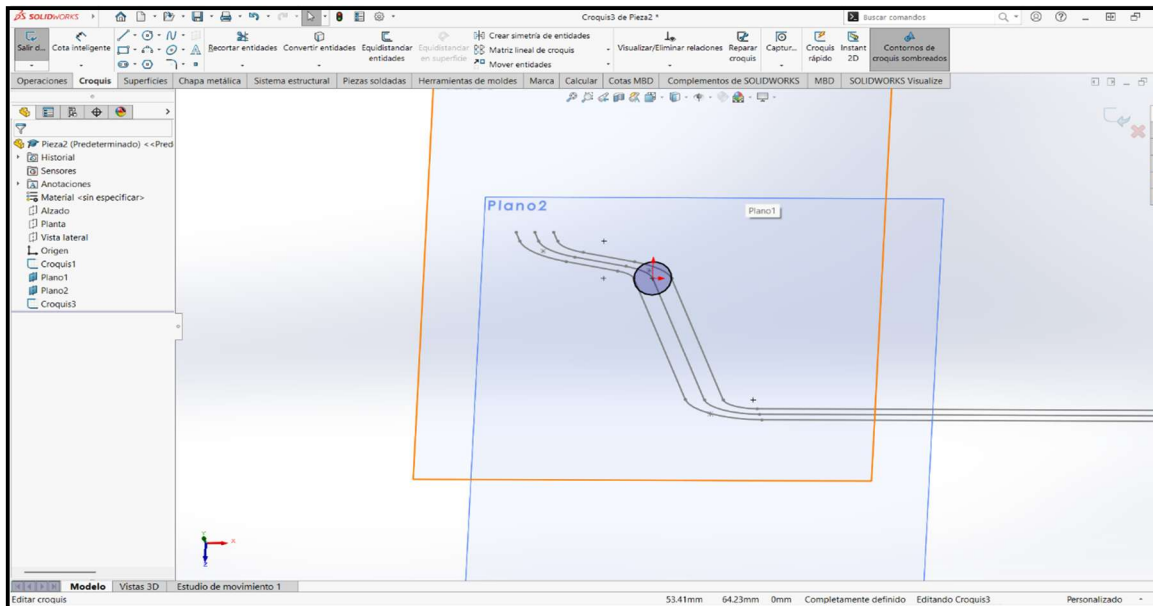
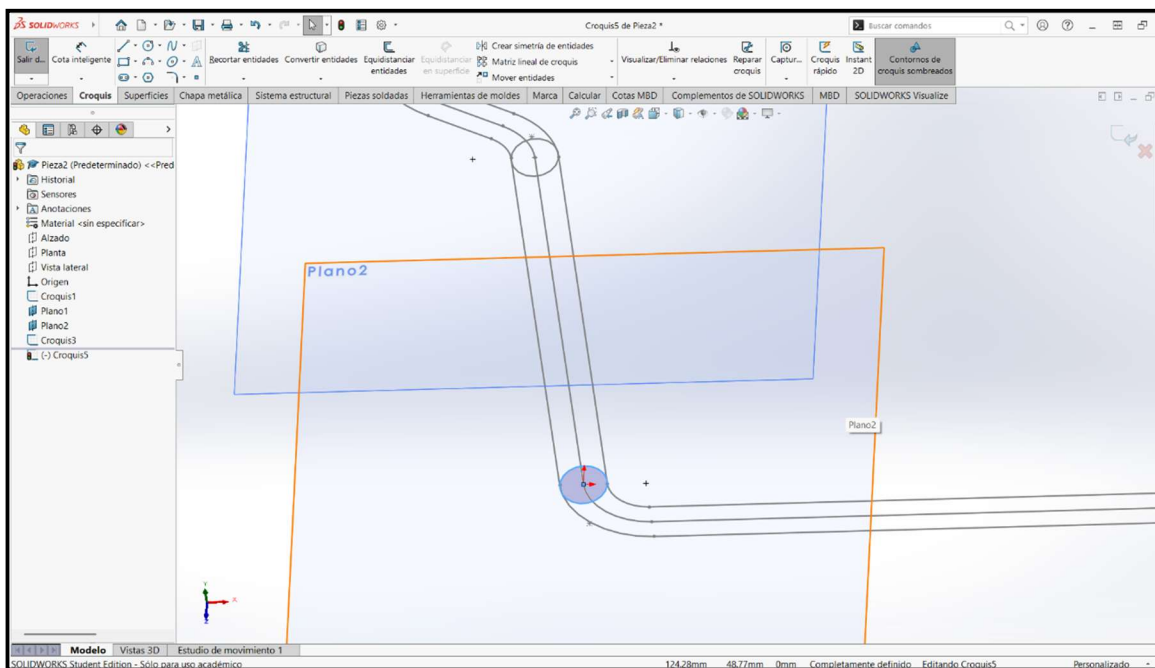


Figura 83: Continuación del paso 5 del modelado en SolidWorks. Fuente: propia

**Paso 6:** se crean bocetos en ambos planos nuevos (*Figura 84 y Figura 85*).



*Figura 84: Paso 6 del modelado en SolidWorks. Fuente: propia*



*Figura 85: Continuación del paso 6 del modelado en SolidWorks. Fuente: propia*

**-Paso 7:** Como se ve en la *Figura 86* se elige el comando “Saliente/Base barrido”, perteneciente a la pestaña “Operaciones”. Para ello, el comando pide tener un perfil de croquis que no varíe y una línea guía que vaya a seguir el perfil a través del recorrido seleccionado. Es importante diferenciar el comando “Saliente/Base barrido” del comando “Recubrir”. En este caso también

podíamos haber usado el comando “Recubrir”, pero hubiera sido más complejo, pues para ese comando es necesario seleccionar dos perfiles y en vez de seleccionar el recorrido que estos perfiles van a realizar, hay que seleccionar las curvas guías que determinan la forma en que se va a transicionar entre ambos perfiles, que es tes caso sería recta, pues no cambian los perfiles. Por ello, se realiza la operación “Saliente/Base barrido” en vez de “Recubrir”. En el paso siguiente se mostrará el uso de este segundo comando, pues se precisa para hacer la transición entre dos secciones diferentes.

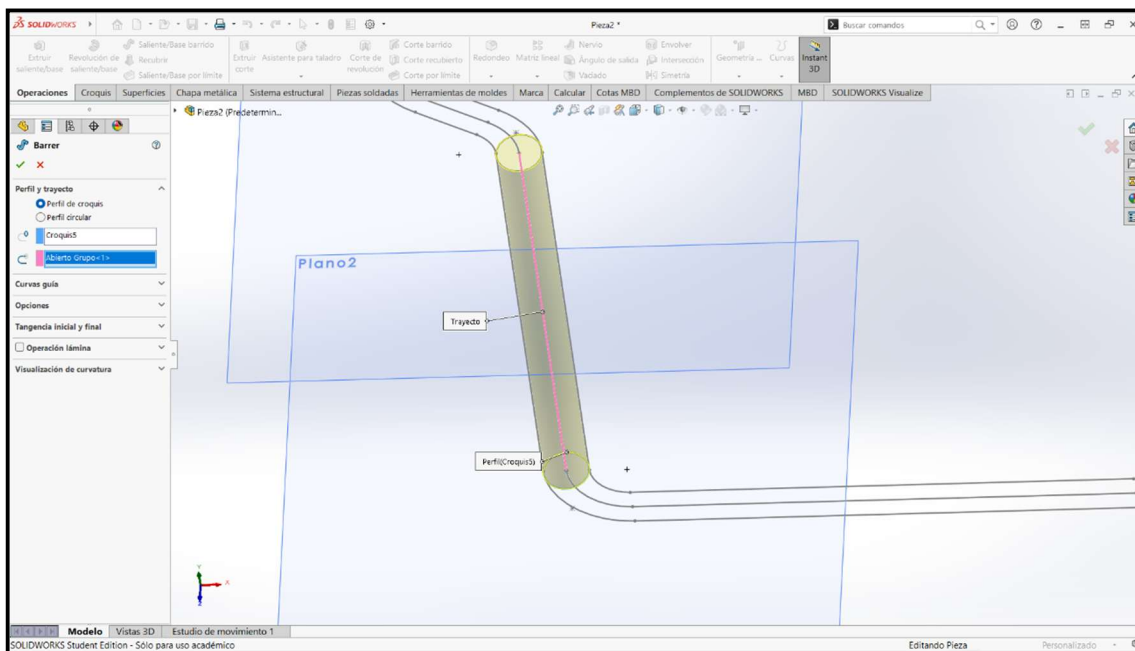


Figura 86: Paso 7 del modelado en SolidWorks. Fuente: propia

**-Paso 8:** Continuamos haciendo planos nuevos en los lugares pertinentes donde debamos colocar nuevos bocetos de la misma manera que se realizó en los pasos 5 y 6. En este caso, el perfil tendrá forma de cuadrado, por lo que la operación a realizar no podrá ser un “Barrido”, sino que tendrá que ser “Recubrir” (Figura 87) como mencionamos en el paso anterior.

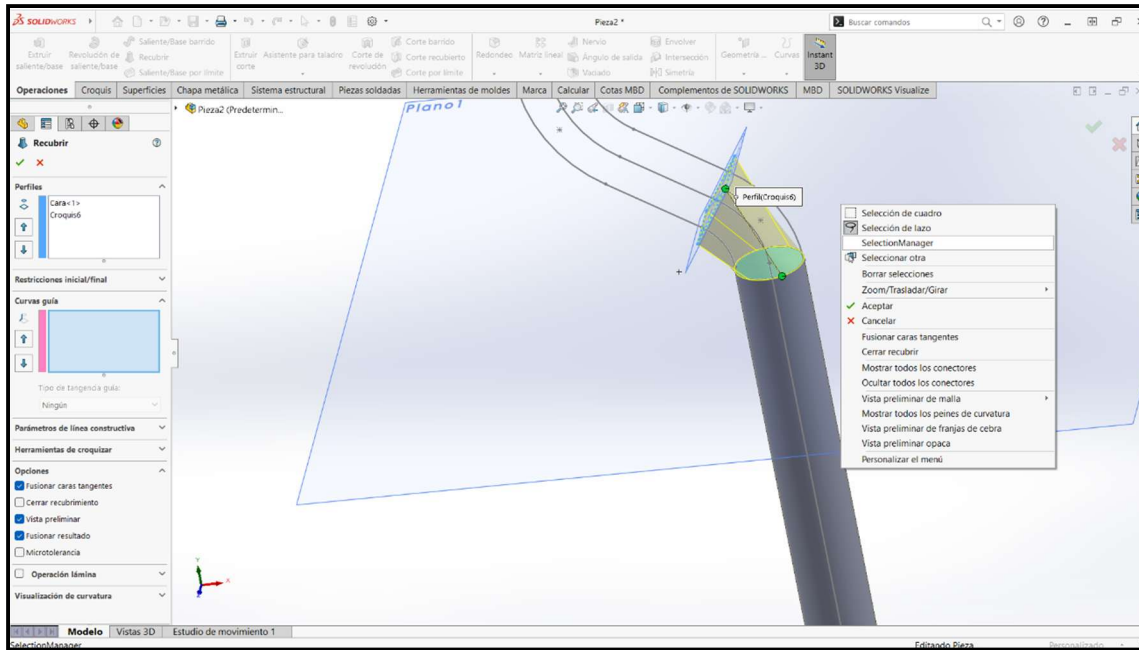


Figura 87: Paso 8 del modelado en SolidWorks. Fuente: propia

Para ello seleccionamos los dos perfiles, el inicio y el fin, y las curvas guías necesarias que van seguir los dos perfiles al crear una superficie de transición entre ambos. Para seleccionar un grupo de líneas es necesario la utilización de Selection Manager, como podemos apreciar en la [Figura 88](#).

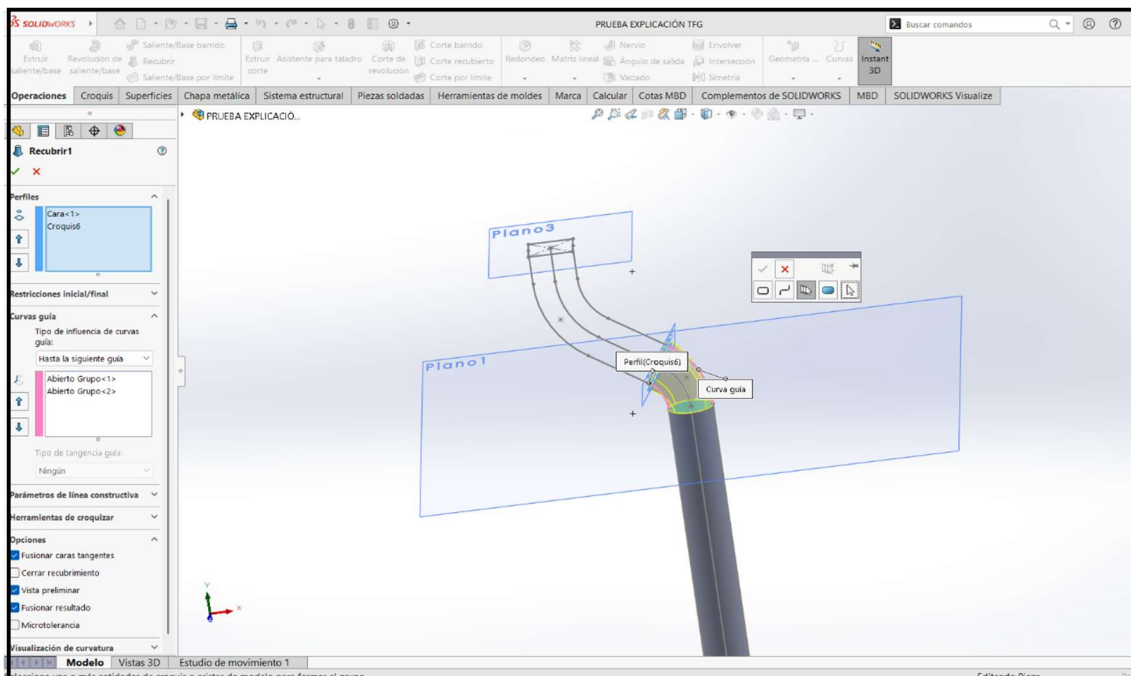
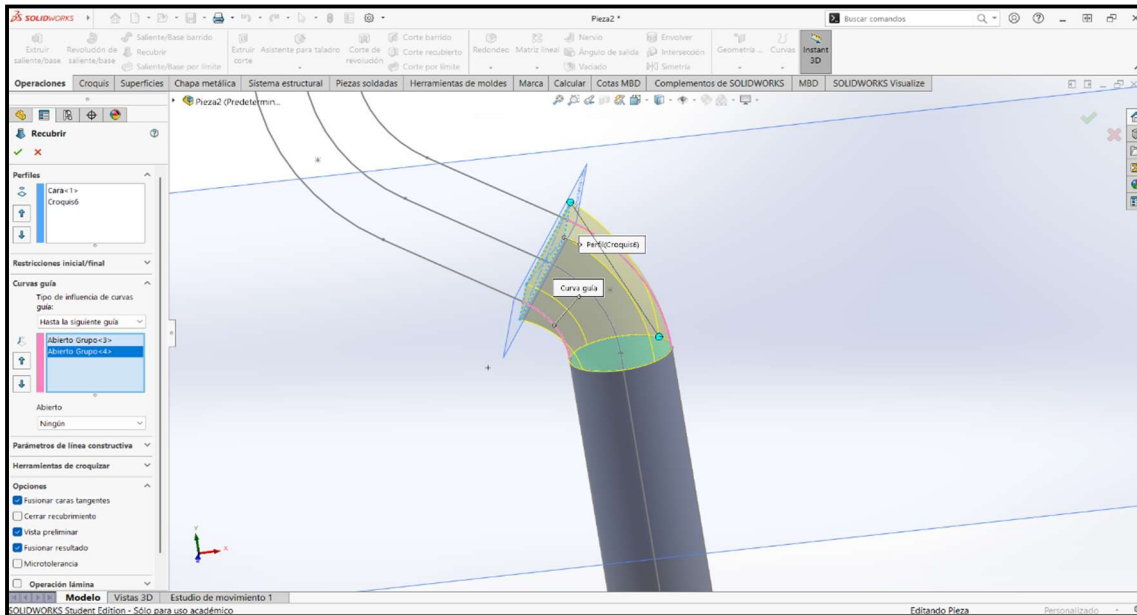


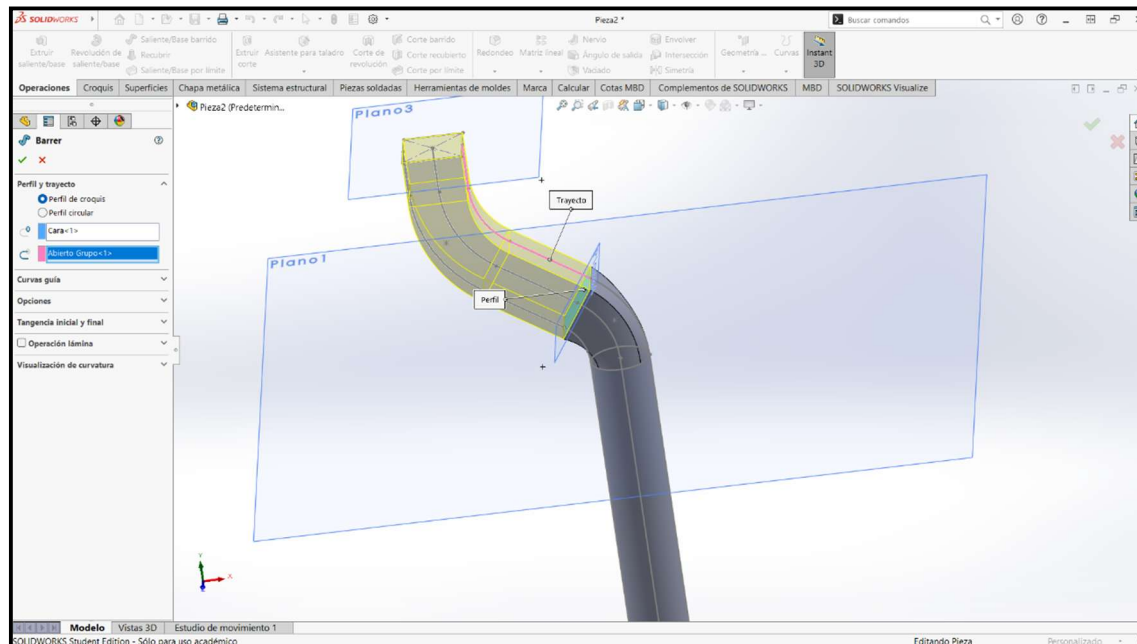
Figura 88: Continuación del paso 8 del modelado en SolidWorks. Fuente: propia

Una vez rellenos estos parámetros como vemos en la *Figura 89*, solo falta clicar en “Aceptar” para confirmar la operación.



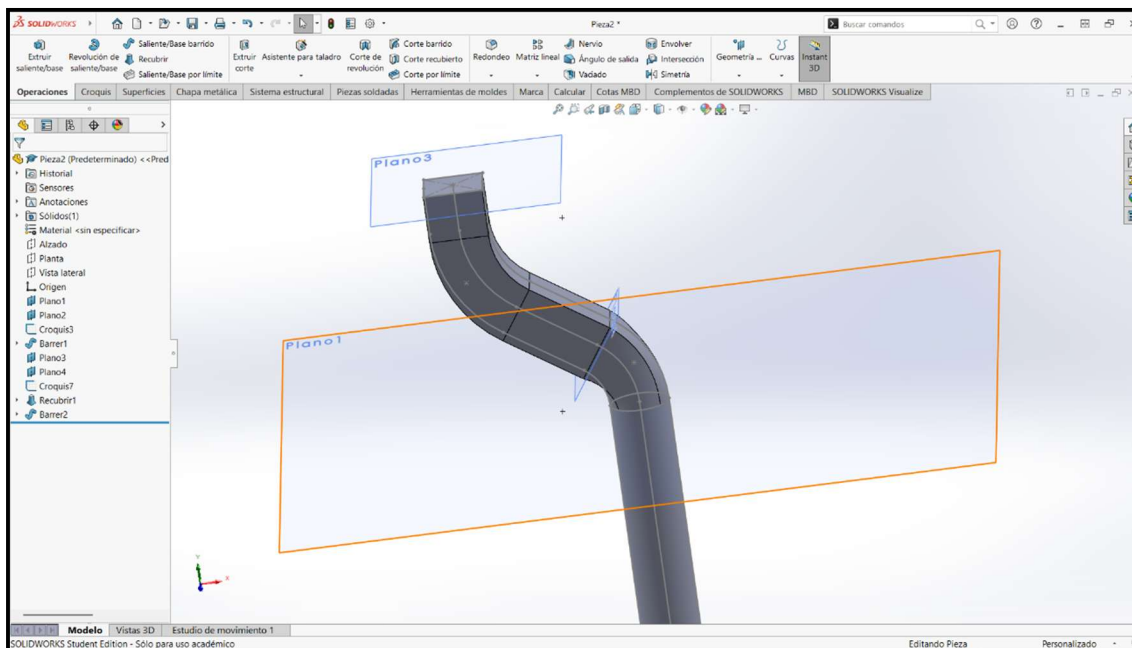
*Figura 89: Continuación del paso 8 del modelado en SolidWorks. Fuente: propia*

**-Paso 9:** Repetimos la operación “Saliente/Base barrido” y terminamos de hacer la parte superior con el mismo perfil ya que es este caso es todo cuadrado (*Figura 90*).



*Figura 90: Paso 9 del modelado en SolidWorks. Fuente: propia*

Finalizamos la operación y el resultado de esto es la *Figura 91* de abajo.



*Figura 91: Continuación del paso 9 del modelado en SolidWorks. Fuente: propia*

**-Paso 10:** volvemos a crear dos planos nuevos para poder situar los bocetos y así hacer el cambio de sección y creamos en ellos los bocetos con forma de cuadrado.

Primero, creamos el boceto en el primer plano creado, como podemos se ha realizado en ocasiones anteriores. Esta vez, para crear el segundo boceto vamos a utilizar el comando “Convertir entidades” una vez nos encontremos dentro de “Croquis” del segundo plano. En la pestaña desplegable que aparece al hacer click en el comando, seleccionamos las entidades que deseamos convertir, en este caso las cuatro líneas que componen el cuadrado (*Figura 92*) que es el boceto creado justo antes.

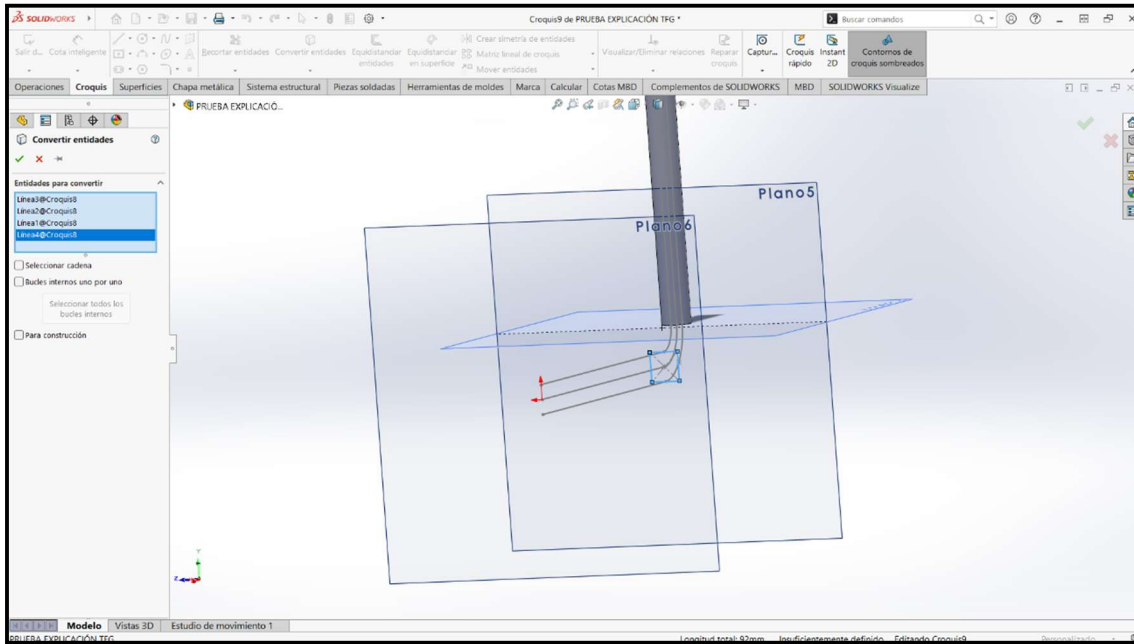


Figura 92: Paso 10 del modelado en SolidWorks. Fuente: propia

De esta manera y por ser dichas secciones totalmente perpendiculares, obtenemos el mismo boceto en ambos planos gracias a este comando en lugar de volver a dibujar el cuadrado en el nuevo plano (Figura 93).

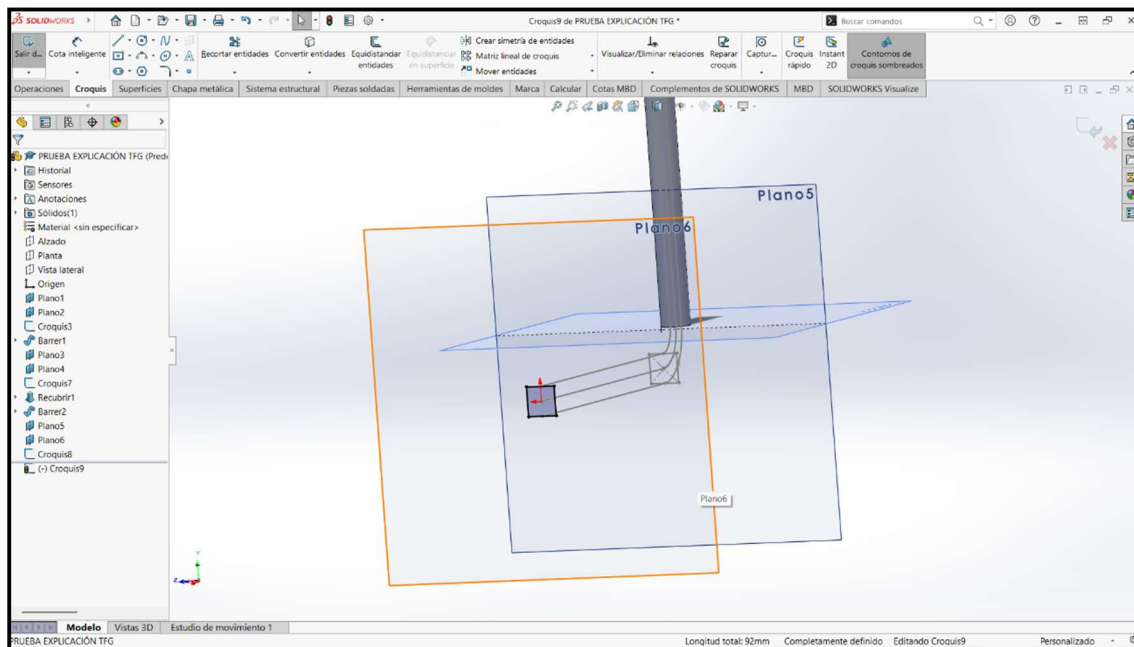
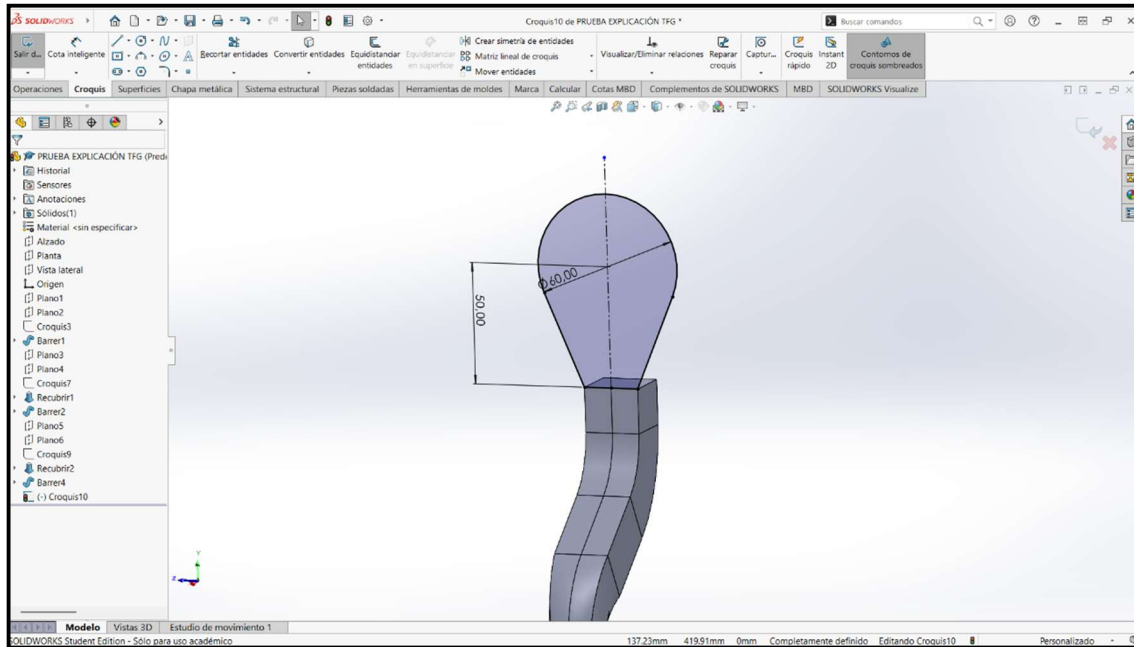


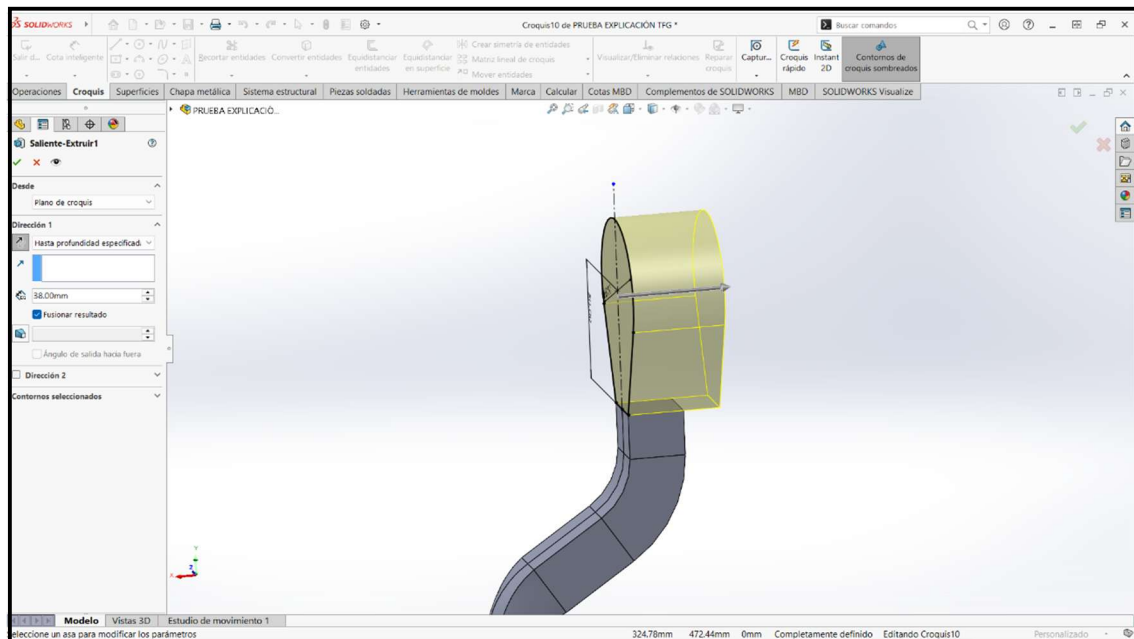
Figura 93: Continuación del paso 10 del modelado en SolidWorks. Fuente: propia

**-Paso 11:** Como podemos ver en la *Figura 94* seleccionamos una cara ya existente de la pieza para comenzar a bocetar en ella y utilizarla como plano para el boceto. Utilizamos la cara delantera como plano para luego extruir el boceto hacia atrás.



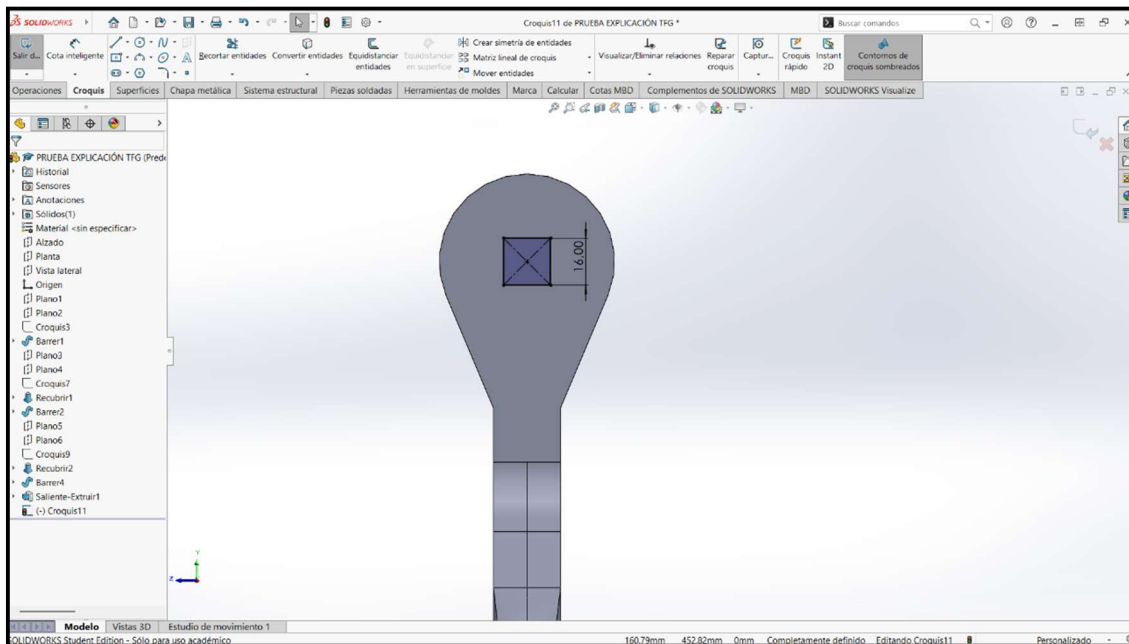
*Figura 94: Paso 11 del modelado en Solidworks. Fuente: propia*

Una vez realizado el boceto, dentro de la pestaña “Operaciones” pinchamos en “Extruir saliente/base” mientras que el boceto se encuentra seleccionado. Extruímos con el comando “Extruir saliente/base” el boceto hacia atrás en este caso 38mm (*Figura 95*).

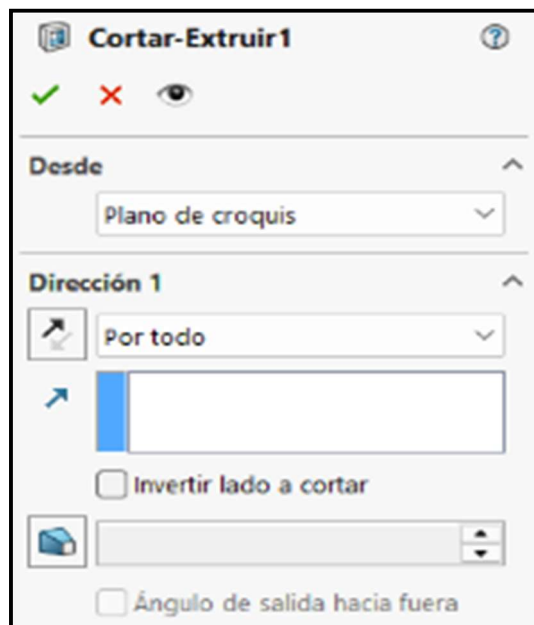


*Figura 95: Continuación del paso 11 del modelado en SolidWorks. Fuente: propia*

**-Paso 12:** seleccionamos la cara de delante de la última extrusión y en la pestaña “Operaciones” seleccionamos la opción de “Extruir corte”. Para ello nos llevará al bocetado de dicho corte (*Figura 96*). En la *Figura 97* podemos apreciar el desplegable con las diferentes opciones del comando. En este caso seleccionaremos en Desde “Plano de croquis” y en Dirección 1 “Por todo” (*Figura 98*).



*Figura 96: Paso 12 del modelado en SolidWorks. Fuente: propia*



*Figura 97: Continuación del paso 12 del modelado en SolidWorks. Fuente: propia*

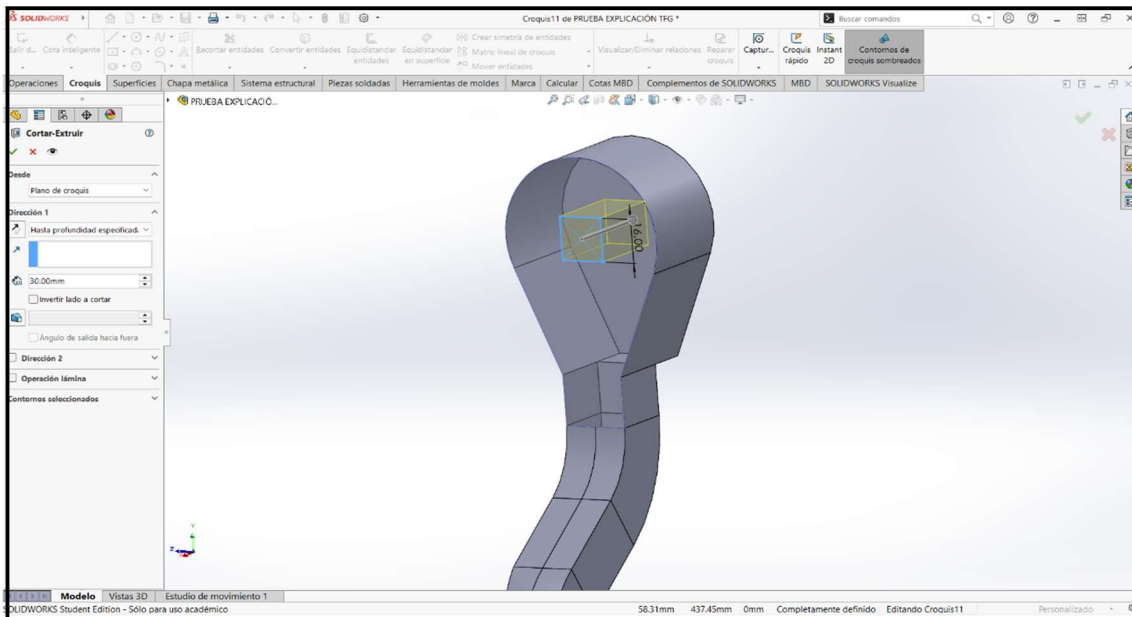


Figura 98: Zoom de la continuación del paso 12 del modelado en SolidWorks. Fuente: propia

**-Paso 13:** A continuación, creamos un nuevo “Extruir corte” en una cara lateral plana y creamos el boceto del corte que vamos a crear. Esta vez, para asegurarnos de que el corte se realiza completamente, en la Dirección 1 seleccionamos del desplegable “Por todo: a ambos” (Figura 99).

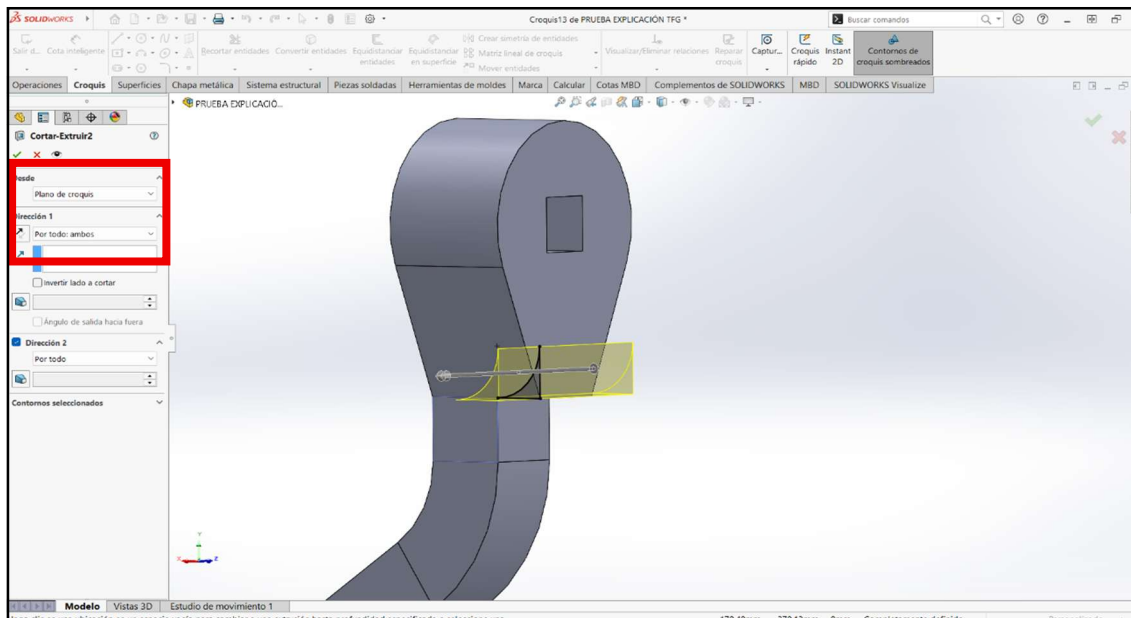


Figura 99: Paso 13 del modelado en SolidWorks. Fuente: propia

**-Paso 14:** Por último, seleccionamos la figura y haciendo click derecho sobre ella (Figura 100), seleccionamos “Apariencia” y justo después “Body”. Buscamos la opción de “Metal” y dentro de este “Hierro”. Seleccionamos la opción de “Hierro fundido” (Figura 101).

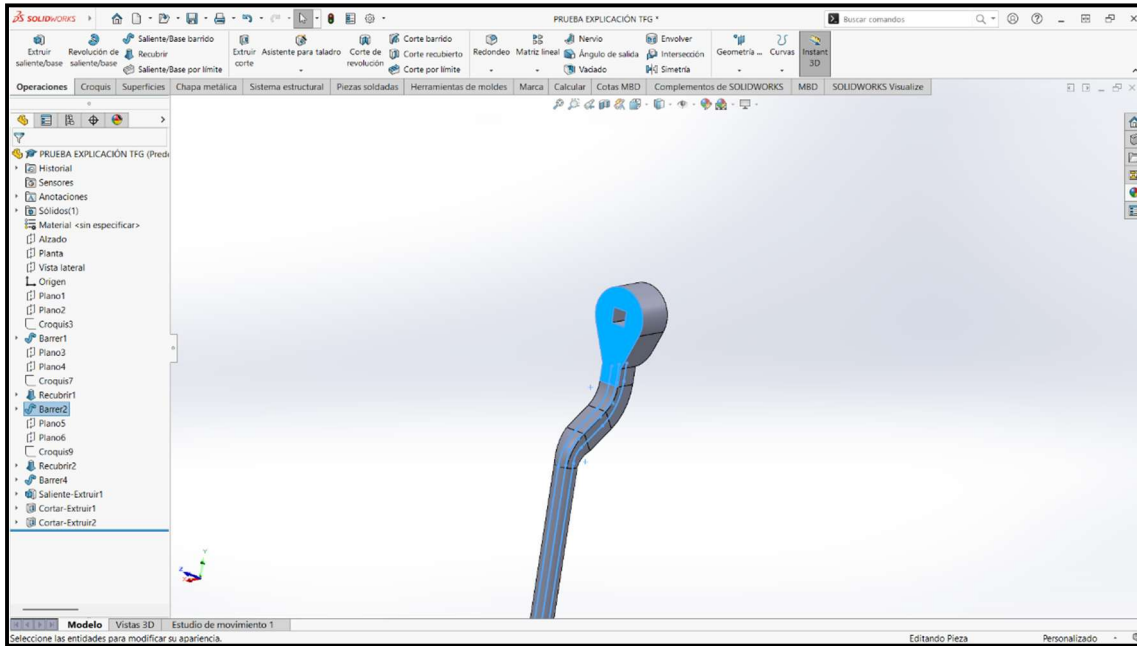


Figura 101: Paso 14 del modelado en SolidWorks. Fuente: propia

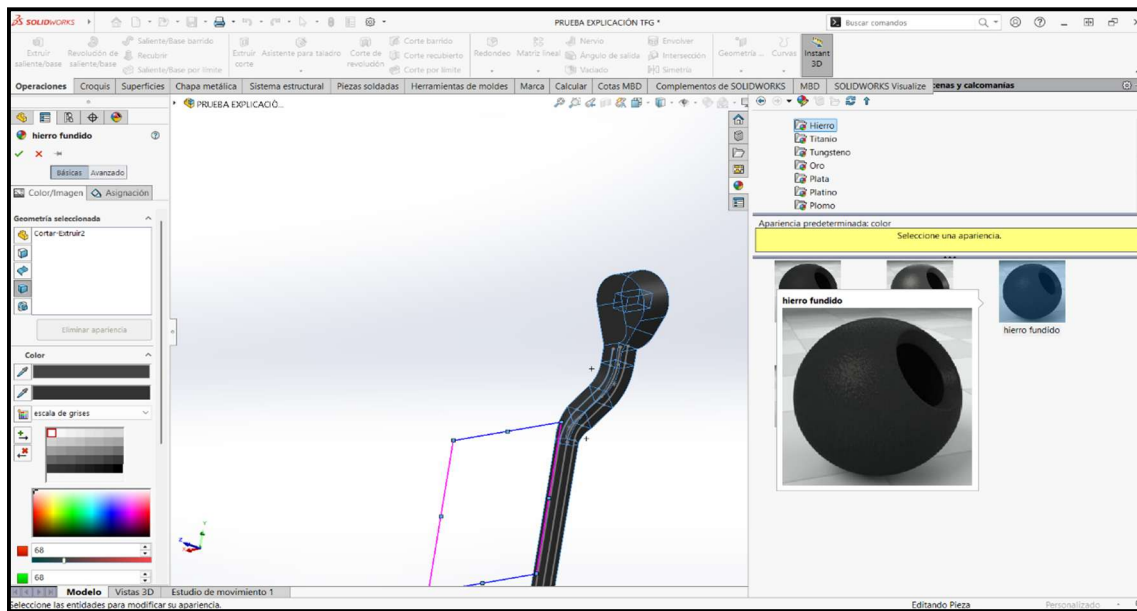
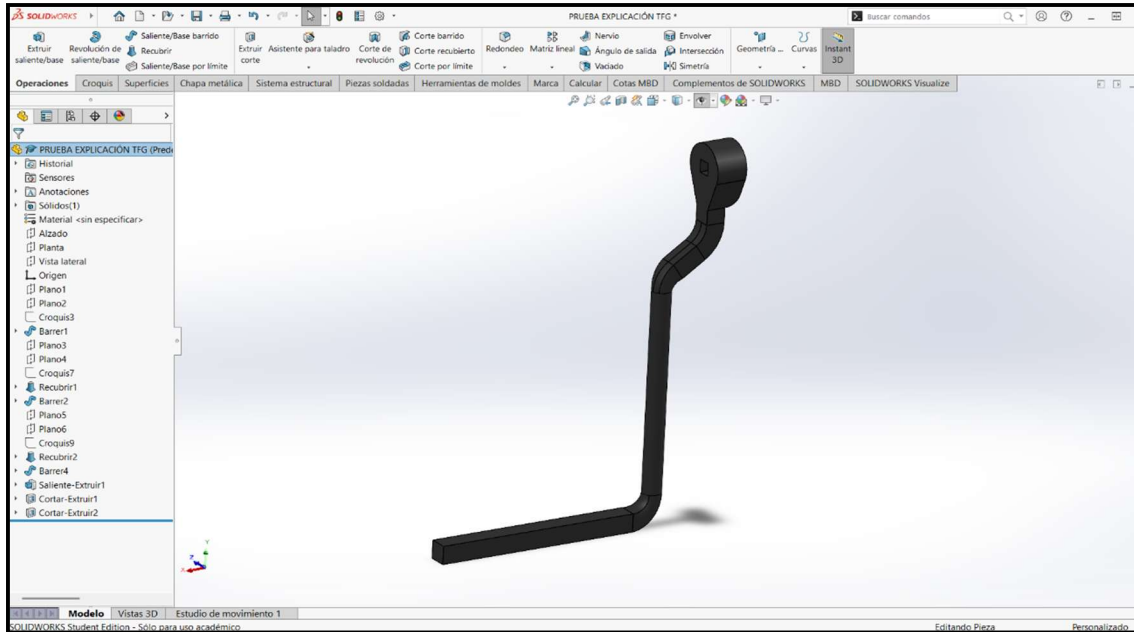


Figura 100: Continuación del paso 14 del modelado en SolidWorks. Fuente: propia

Y así es como obtenemos una pieza como la mostrada en la *Figura 102*.



*Figura 102: Resultado del modelado en SolidWorks. Fuente: propia*

## 6.2 Recreación virtual

### 6.2.1 Tren de sonería de cuartos

#### 6.2.1.1 Rueda imperial

En la *Figura 103*, podemos apreciar la recreación del tambor de madera perteneciente al mecanismo de sonería de cuartos. Este tambor será idéntico para cada uno de los tres mecanismos y girará en torno a una barra que permitirá que se sostenga a la estructura a la vez que gira, por eso podemos distinguir un agujero en el centro. También se puede destacar que posee cuatro taladros, realizados para poder ensamblar una tapa o tope que permite que todo se mantenga en su lugar junto con otra que tiene en la parte trasera.



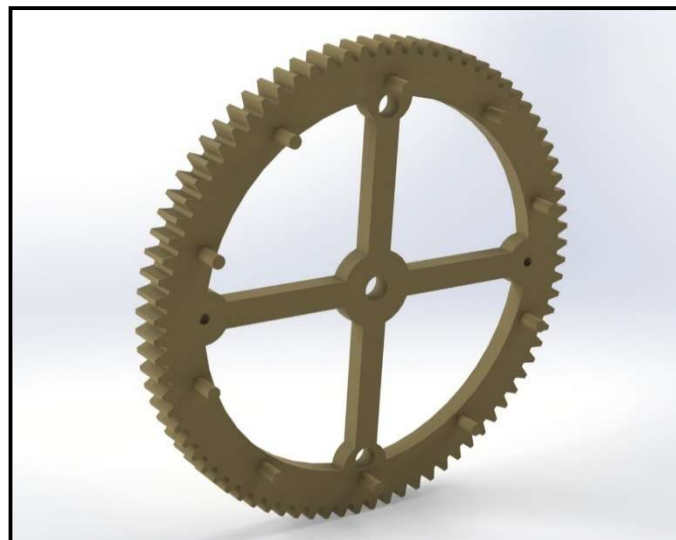
*Figura 103: Recreación del tambor de madera de cuartos. Fuente: propia*

En esta imagen (*Figura 104*) podemos ver la recreación del trinquete perteneciente al mecanismo de sonería de cuartos. Este es idéntico al trinquete que posee el mecanismo de sonería de horas. Los dientes tienen esa forma característica para permitir que la uña deslice sobre ellos en una dirección y permita dar cuerda al sistema, mientras que bloquea a la uña cuando se mueve en el sentido contrario.



*Figura 105: Recreación del trinquete del mecanismo de sonería de cuartos. Fuente: propia*

Ahora nos encontramos frente a la recreación de la rueda primera o rueda de engrane del mecanismo de sonería de cuartos (*Figura 105*). Esta es igual a la del mecanismo de sonería de horas. Como se ha mencionado en apartados anteriores, esta rueda posee 10 pivotes en su parte trasera que sirven para desplazar el actuador de sonido y hacer que la campana de cuartos suene. Dichos pivotes tienen todos la misma longitud y el mismo diámetro y se encuentran encajados en la rueda. La rueda, además, tiene cuatro pequeños agujeros, dos de igual diámetro y los otros dos de otro diámetro. Estos son para poder acoplar las dos uñas y los dos flejes a la rueda de manera que mantengan su posición en todo momento.



*Figura 104: Recreación de la rueda primera o rueda de engrane. Fuente: propia*

En la *Figura 106* podemos apreciar la recreación de una de las uñas del sistema de sonería de cuartos. Cada sistema posee dos uñas que evitan que la rueda se desenrolle a la vez que hacen que

la rueda primera gire de manera síncrona al tambor y al trinquete del sistema. En resumen, sirve de embrague junto con los dos flejes.



*Figura 106: Recreación de la uña. Fuente: propia*

La [Figura 107](#) muestra la recreación de uno de los dos flejes del sistema de sonería de cuartos. Como se ha mencionado anteriormente, el fleje, junto con la uña, sirve de embrague para el sistema. Evita que la cuerda se desenrolle del tambor de madera a la vez que mantiene a la rueda primera girando a la vez que el tambor y el trinquete. El fleje sirve como muelle y tensión para mantener ambas uñas siempre en contacto con el trinquete.



*Figura 107: Recreación del fleje. Fuente: propia*

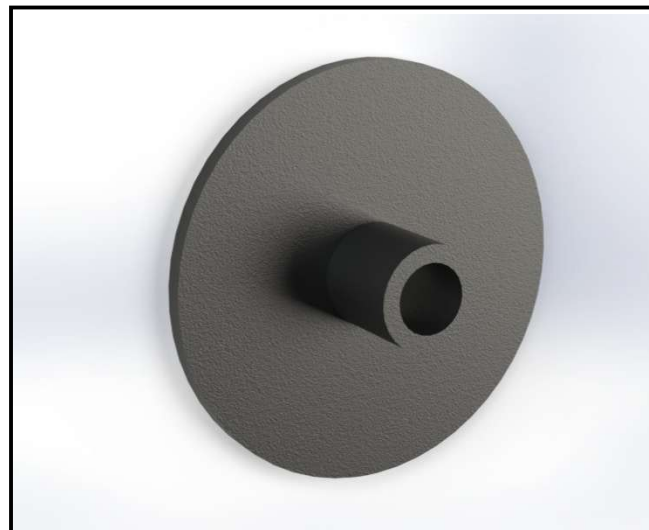
En la [Figura 108](#) distinguimos la recreación del tope delantero del sistema de sonería de las horas. Éste, como ya hemos mencionado anteriormente, tiene cuatro taladros que permiten atornillarlo al tambor de madera para mantener todo el sistema unido. Se puede destacar que, aunque el

agujero del centro tiene sección circular, el tope tiene una forma de cuadrado, cosa que no sucede con el tope de la parte trasera del tambor.



*Figura 108: Recreación del tope delantero del tambor de madera. Fuente: propia*

En la imagen de arriba (*Figura 109*) podemos apreciar la recreación del tope de la parte trasera del tambor de madera del mecanismo de sonería de cuartos. Éste no posee cuatro taladros en él, con lo que se supone que se mantiene en su lugar simplemente por la escasez de holgura en la barra, con lo que quedan todos los elementos comprimidos e incapaces de desplazarse por el eje.



*Figura 109: Recreación del tope trasero del tambor de madera. Fuente: propia*

Por último, en la *Figura 110*, podemos ver la recreación del eje que sostiene a la rueda imperial del sistema de sonería de cuartos. Uniendo los anteriores elementos, el tambor de madera, el trinquete, la rueda primera, dos uñas, dos flejes y ambos topes, junto con su respectivo eje formamos la rueda imperial correspondiente al tren de sonería de los cuartos que podemos apreciar en la *Figura 111* y *Figura 112*.



*Figura 110: Recreación del eje de la rueda imperial. Fuente: propia*

En la *Figura 111* y la *Figura 112* podemos apreciar el resultado de ensamblar las diferentes recreaciones de las partes de la rueda imperial del mecanismo de sonería de cuartos. La *Figura 111* muestra la parte delantera del sistema visto desde donde se le da cuerda, mientras que la *Figura 112* muestra la parte trasera del sistema, donde se pueden apreciar los pivotes de la rueda primera. Para contrastar el resultado de la recreación con el mecanismo real podemos comparar ambas imágenes con la *Figura 113*, que muestra el perfil izquierdo de la rueda imperial del sistema de sonería de cuartos.



*Figura 111: Recreación de la rueda imperial junto a el eje que la sostiene a la estructura. Fuente: propia*

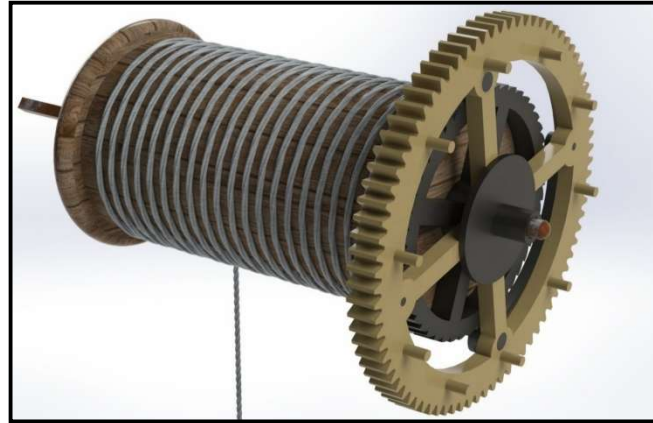


Figura 112: Recreación de la rueda imperial junto a el eje que la sostiene a la estructura. Fuente: propia

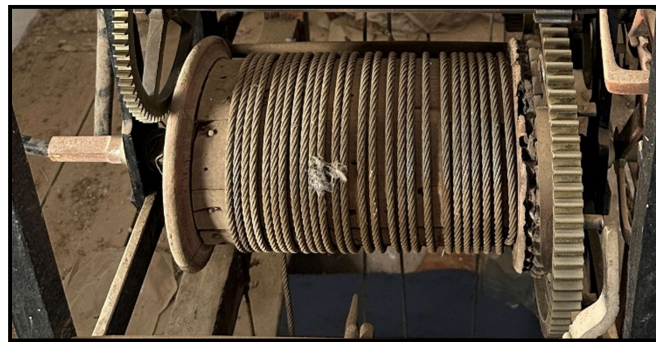


Figura 113: Rueda imperial real del sistema de sonería de cuartos

#### 6.2.1.2 Rueda segunda

La [Figura 114](#) muestra la recreación de la rueda segunda del sistema de sonería de cuartos. Como podremos apreciar en las recreaciones siguientes, la rueda segunda es exactamente igual en los tres sistemas, ya que es una pieza que sirve para conducir el movimiento de la rueda primera al resto del sistema junto con un engranaje pequeño utilizado para transmitir el movimiento entre ejes y no tiene ninguna función más allá de esa.

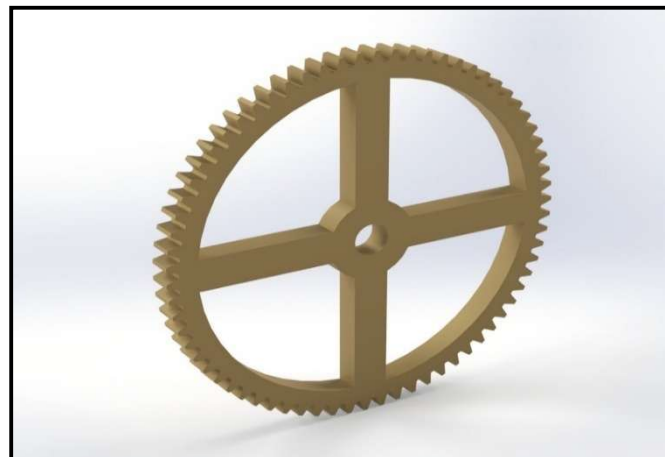


Figura 114: Recreación de la rueda segunda. Fuente: propia

En la *Figura 115* podemos apreciar la rueda segunda real del sistema de sonería de cuartos, a su vez podemos distinguir el engranaje pequeño cuya función es transmitir el movimiento desde el eje de la rueda segunda al eje del venterol, permitiendo así cambiar de eje. De la misma manera, la diferencia de tamaños entre ambas ruedas permite multiplicar la velocidad, pues se respeta la relación siguiente:

$$\omega_1 * Z_1 = \omega_2 * Z_2$$

Siendo:

$\omega_1$ : velocidad angular de la rueda 1

$\omega_2$ : velocidad angular de la rueda 2

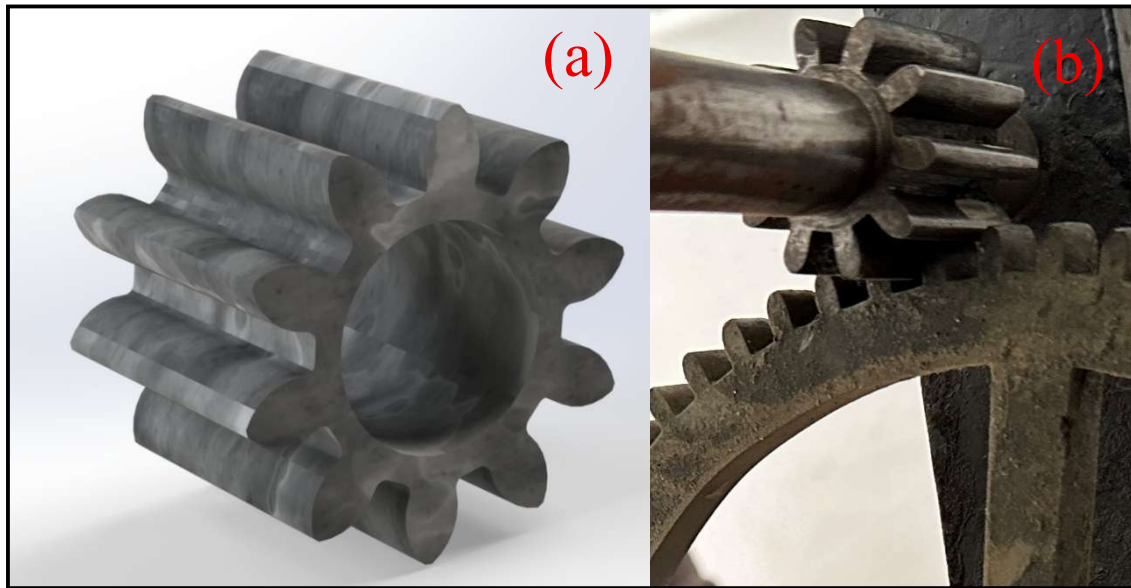
$Z_1$ : número de dientes de la rueda 1

$Z_2$ : número de dientes de la rueda 2



*Figura 115: Rueda segunda del mecanismo de sonería de cuartos real. Fuente: propia*

En la *Figura 116a* podemos ver la comparación entre la recreación del engranaje de transmisión de l movimiento y el engranaje real (*Figura 116b*).

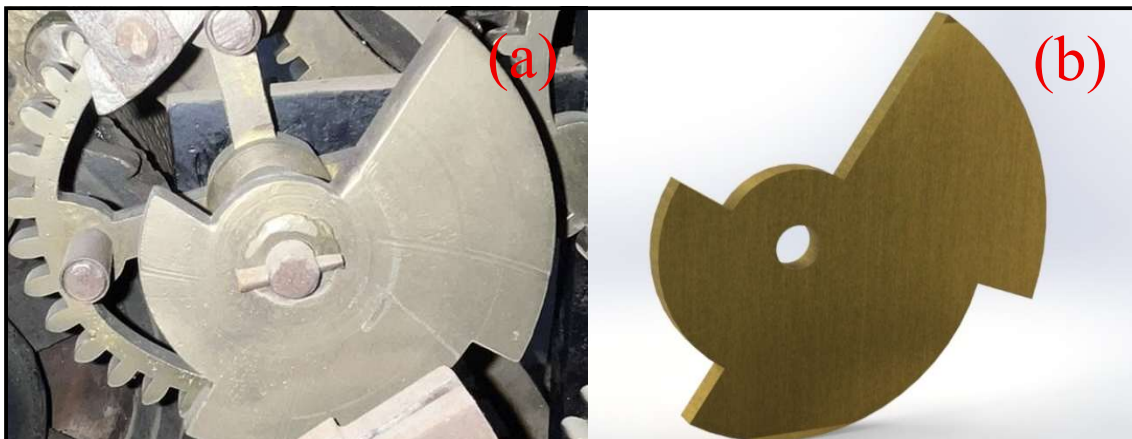


*Figura 116: Recreación del engranaje que acompaña a la rueda segunda (izquierda) y engranaje que acompaña a la rueda segunda real (derecha). Fuente: propia*

#### 6.2.1.3 Caracol de cuartos

La [Figura 117a](#) muestra el caracol del sistema de sonería de cuartos real. Se puede apreciar que el palpador se encuentra en el segundo escalón, lo que hace pensar que cuando se libere el sistema de sonería de cuartos, el actuador de sonido toque dos veces la campana de cuartos, para indicar la media hora

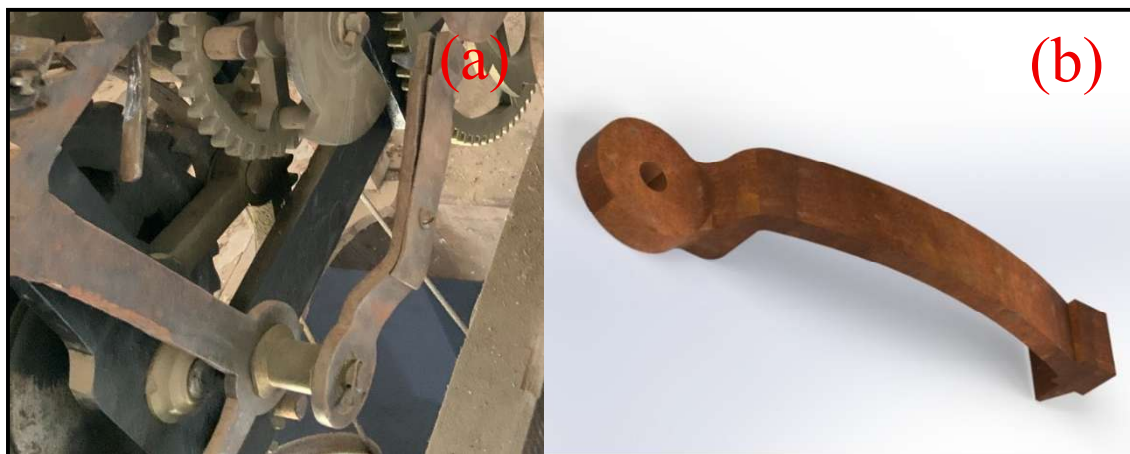
En la [Figura 117b](#) que podemos observar arriba, encontramos la recreación del caracol del sistema de sonería de cuartos. Dicho caracol posee 3 escalones para marcar los cuartos. Como ya se ha mencionado en el apartado correspondiente, tiene solo 3 escalones, uno por cada cuarto y el último cuarto se da mediante el escalón más alto, de manera que mientras más recorrido haga, más tiempo se encontrará desbloqueado el sistema.



*Figura 117: Pieza real y recreación del caracol de la sonería de los cuartos. Fuente: propia*

#### 6.2.1.4 Palpador del caracol de los cuartos

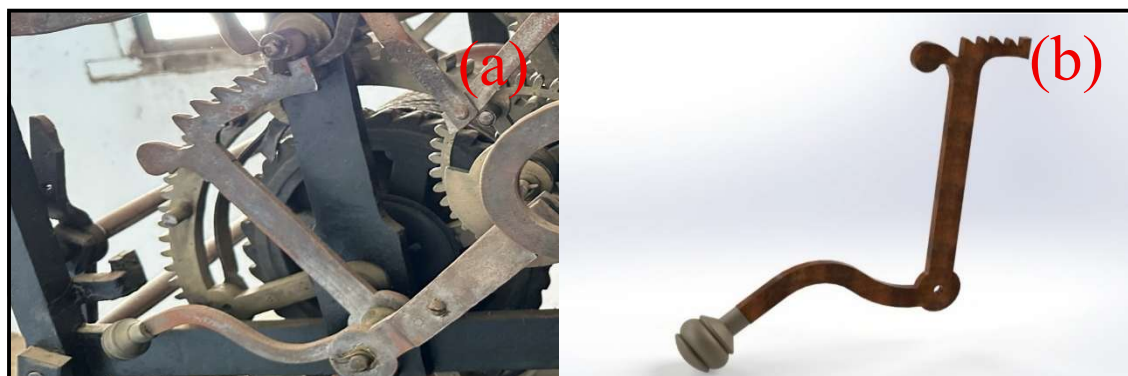
En la [Figura 118a](#) y en la [Figura 118b](#) podemos apreciar la recreación del palpador del caracol del sistema de sonería de cuartos y el palpador del caracol del sistema de sonería cuartos real respectivamente. Dependiendo de la posición del caracol donde caiga, determinará a la sierra cuánto tiempo va a estar el sistema desbloqueado y será el que comunique desde el caracol al resto del sistema. Si el palpador cae en el escalón del primer cuarto, tendrá menos recorrido que si por el contrario cae en el último cuarto, que tendrá el recorrido máximo para ser capaz de dar los cuatro cuartos.



*Figura 118: Pieza real y recreación del palpador del caracol de la sonería de cuartos. Fuente: propia*

#### 6.2.1.5 Sierra de los cuartos

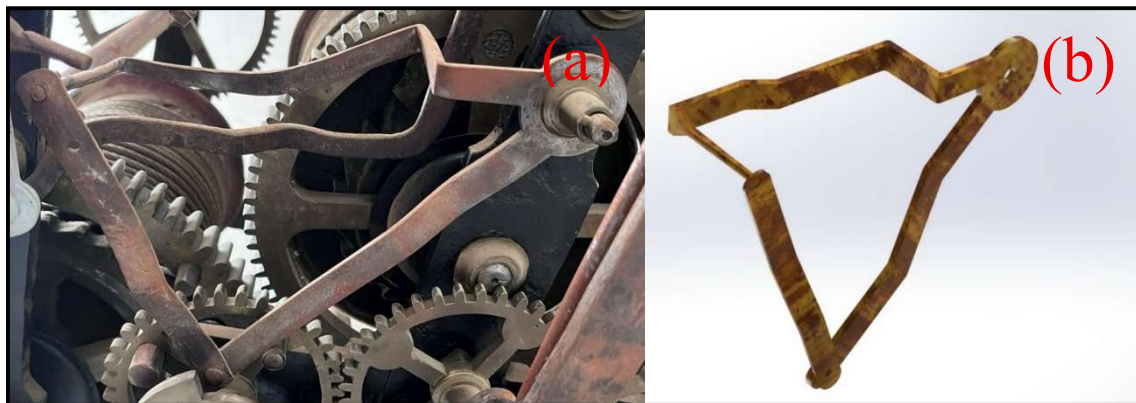
En la [Figura 119a](#) y en la [Figura 119b](#) podemos apreciar la comparación entre la recreación y la pieza real de la sierra del sistema de sonería de cuartos. Como se puede apreciar en ambas figuras, la sierra tiene 5 huecos pequeños y otro más grande que representa la posición de “reposo”. Ahí es el lugar donde se para la sierra cuando ha terminado de tocar las campanas correspondientes determinadas por el caracol. También podemos observar que tiene una maneta, se deduce para manipular la sierra en caso de desincronización.



*Figura 119: Sierra del mecanismo de sonería de cuartos y su recreación. Fuente: propia*

#### 6.2.1.6 Mecanismo liberación del actuador de bloqueo

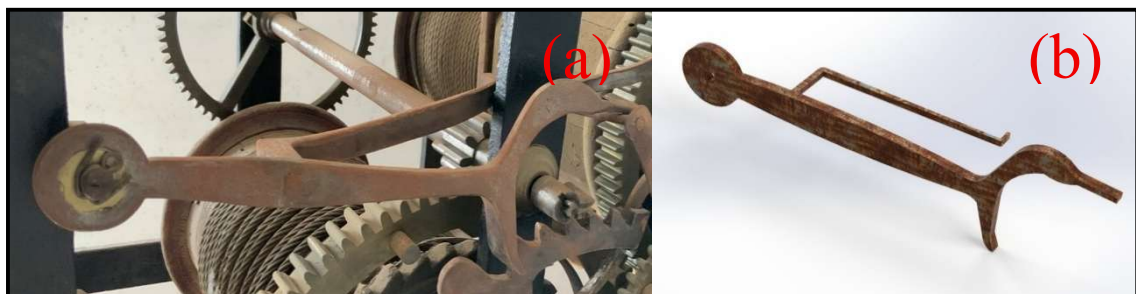
En la [Figura 120a](#) vemos la pieza real del mecanismo de liberación del actuador de bloqueo de la sonería de cuartos. A su derecha, podremos ver su recreación en la [Figura 120b](#). Dicha pieza se encuentra anclada en la barra central de la estructura de la parte de atrás, de forma que oscila en torno a un eje. La pieza reposa sobre uno de los cuatro pivotes del último engranaje de la sucesión de los cinco engranajes iguales que se encuentran en la parte trasera del reloj, de manera que cuando este engranaje se mueve, levanta al mecanismo de liberación del actuador del bloqueo, haciendo que este último se levante a su vez y deje libre al sistema.



*Figura 120: Mecanismo de liberación del actuador de bloqueo real y recreación. Fuente: propia*

#### 6.2.1.7 Actuador de bloqueo de los cuartos

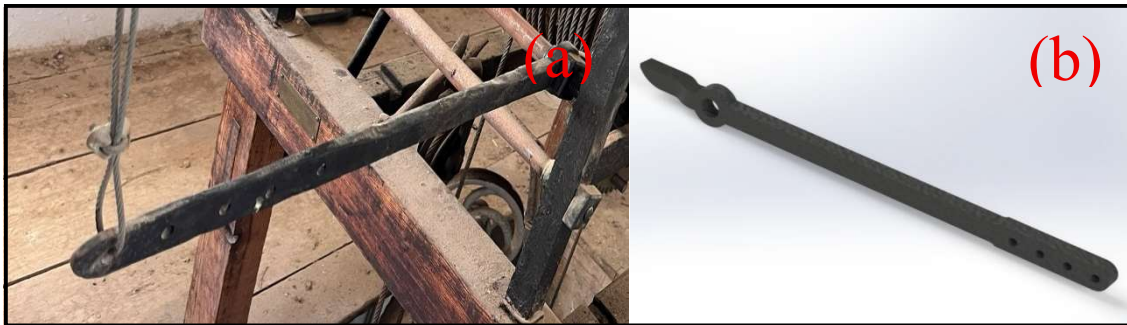
Al comparar la [Figura 121a](#) con la [Figura 121b](#), podremos observar que ambas representan a la misma pieza. La primera se trata de la recreación, mientras que la segunda es una imagen del actuador de bloqueo del sistema de sonería de las horas real. Esta pieza es la encargada de bloquear el sistema mientras que no sea la hora adecuada para tocar ningún cuarto. Se libera mediante el mecanismo de liberación mencionado en el apartado anterior al levantar este al actuado de bloqueo, permite que la sierra caiga la distancia adecuada y el mecanismo quede desbloqueado el tiempo pertinente marcado por el caracol del sistema.



*Figura 121: Actuador de bloqueo de la sonería de los cuartos y recreación. Fuente: propia*

#### 6.2.1.8 Actuador de sonido de los cuartos

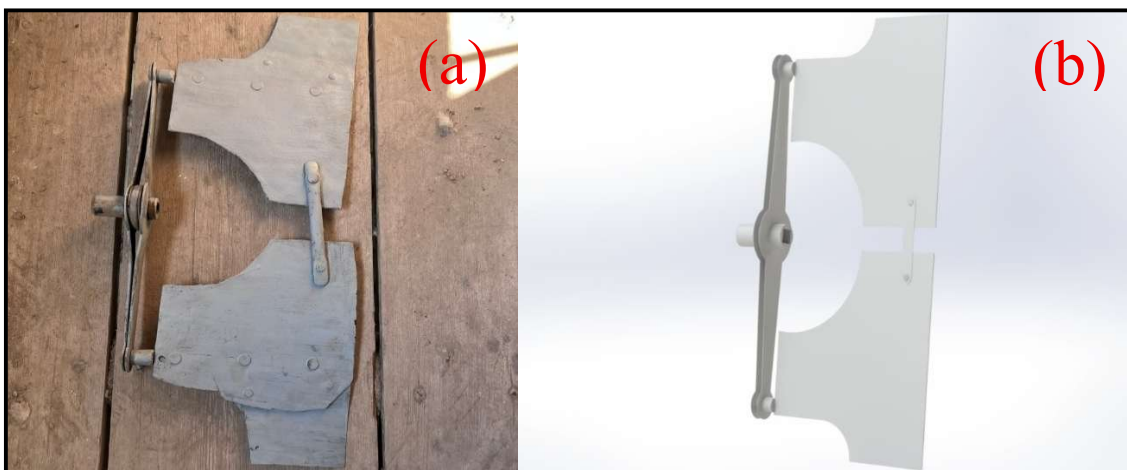
En la [Figura 122a](#) y la [Figura 122b](#) podemos observar la pieza real y la recreación del actuador de sonido del sistema de sonería de cuartos. Este elemento es el encargado de, mediante unos tensores comunicar al martillo que golpee la campana de cuartos. Esto se produce gracias a que el actuador reposa sobre uno de los pivotes de la parte trasera de la rueda primera



*Figura 122: Recreación del actuador de sonido del sistema de sonería de cuartos. Fuente: propia*

#### 6.2.1.9 Venterol de los cuartos

En la [Figura 123a](#) y en la [Figura 123b](#) podemos comparar la pieza real con la recreación del venterol del sistema de sonería de cuartos. Se puede diferenciar que el venterol original fue modificado de manera que se aumentó su superficie. El venterol cuenta con dos “alas” unidas entre sí por una placa de metal y por la pieza que sujeta el venterol al eje



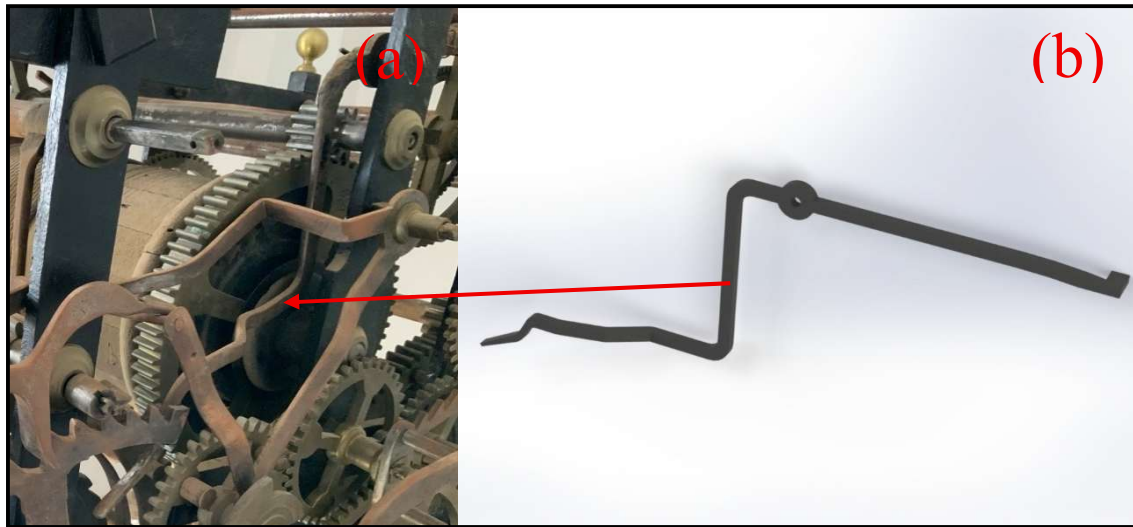
*Figura 123: Recreación del venterol del sistema de sonería de cuartos. Fuente: propia*

#### 6.2.1.10 Actuador activador del mecanismo de las horas

La [Figura 124a](#) muestra parte del actuador activador del mecanismo de sonería de horas real. Esta pieza presenta inexactitudes debido a la dificultad a la hora de las mediciones de la misma. Esta pieza fue especialmente difícil de hacer, pues fue necesario hacer varios cambios de plano para

poder extruir la pieza en las diferentes direcciones y darle las distintas curvas que podemos encontrar en la original. Debido a que la pieza se encuentra entre los diferentes engranajes y actuadores del mecanismo, no es posible tomarle una foto a toda la pieza al completo.

Como se observa en la *Figura 124b*, se puede ver parte del actuador activador del mecanismo de sonería de cuartos. Este posee una estructura complicada de replicar, con lo que se ha intentado hacer una representación lo más próxima a la realidad posible.



*Figura 124: Actuator activador del mecanismo de sonería de horas real y recreación. Fuente: propia*

## 6.2.2 Tren de sonería de las horas

### 6.2.2.1 Rueda imperial

Como podemos observar, la *Figura 125a* se asemeja mucho a la rueda imperial del sistema de sonería de los cuartos anteriormente mostrada. Esto es debido a que las dos ruedas imperiales de los mecanismos de sonería de los cuartos y de sonería de las horas son iguales salvo por el sentido en el que van enrolladas sus respectivas cuerdas.

La *Figura 125b* muestra la recreación de la rueda imperial del sistema de sonería de horas. Podemos ver que la rueda imperial del sistema de sonería de horas es casi idéntica que la rueda imperial del sistema de sonería de cuartos mostrada en su apartado correspondiente



Figura 125: Rueda imperial del sistema sonería de las horas real y su recreación. Fuente: propia

#### 6.2.2.2 Rueda segunda

De la misma manera, podemos apreciar que las ruedas segundas de los tres sistemas son completamente iguales (*Figura 126*) con lo que no nos detendremos en esta figura, ya que las tres ruedas cumplen la misma función. También cabe destacar que para este sistema se incluye otro engranaje pequeño para transmitir el movimiento del que no se incluye imagen para hacer más sencilla la explicación y ya que la representación es la misma que la mostrada en el apartado del tren de sonería de cuartos

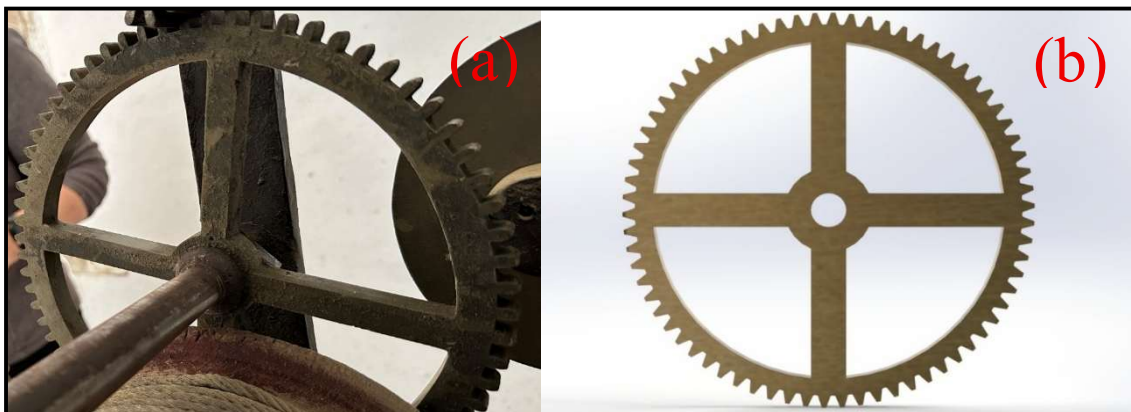


Figura 126: Rueda segunda del sistema de sonería de horas real y recreación. Fuente: propia

#### 6.2.2.3 Caracol de las horas

La *Figura 127a* muestra el caracol del sistema de sonería de horas real. A diferencia del caracol de cuartos, este posee 12 escalones, uno por cada hora, de manera que para dar las veinticuatro horas del día, el caracol deberá dar dos vueltas completas.

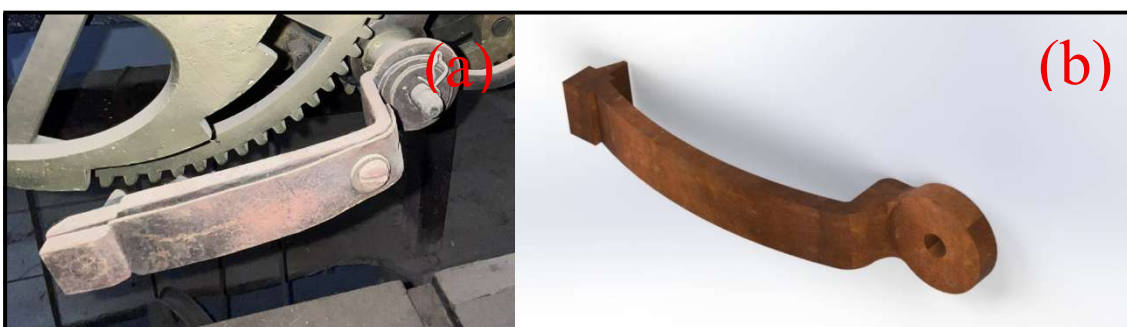
La *Figura 127b* muestra la recreación del caracol del sistema de sonería de horas, estando este acoplado a un engranaje que transmite el movimiento desde el minuterero a través de tres de los cinco engranajes sucesivos que se encuentran en la parte del atrás del reloj.



*Figura 127: Caracol del sistema de sonería de las horas real y su recreación. Fuente: propia*

#### 6.2.2.4 Palpador del caracol de las horas

La *Figura 128a* y la *Figura 128b* representan la pieza original del palpador del caracol del sistema de sonería de horas y la recreación del mismo. El palpador como se puede apreciar es igual al palpador utilizado en el mecanismo de sonería de cuartos. Además, ambos cumplen la misma función, “comunicar” al sistema cuánto tiempo se encontrará desbloqueado permitiendo así tocar la campana de horas.



*Figura 128: Palpador del caracol del sistema de sonería de horas real y recreación. Fuente: propia*

#### 6.2.2.5 Sierra de las horas

Como podemos apreciar en las figuras de abajo (*Figura 129a* y *Figura 129b*) la sierra del sistema de sonería de horas posee 13 huecos más pequeños y otro más grande de “descanso”. Como ya se ha hablado en el apartado referente a la sierra del sistema de sonería de cuartos. Se puede ver que la sierra original tiene un pequeño peso situado en la maneta que se deduce sirve para manipularla

en caso de desincronización. Se cree que este pequeño peso fue añadido a posteriori para “ayudar” a la sierra a caer más fácilmente. Este peso no fue representado en la recreación.

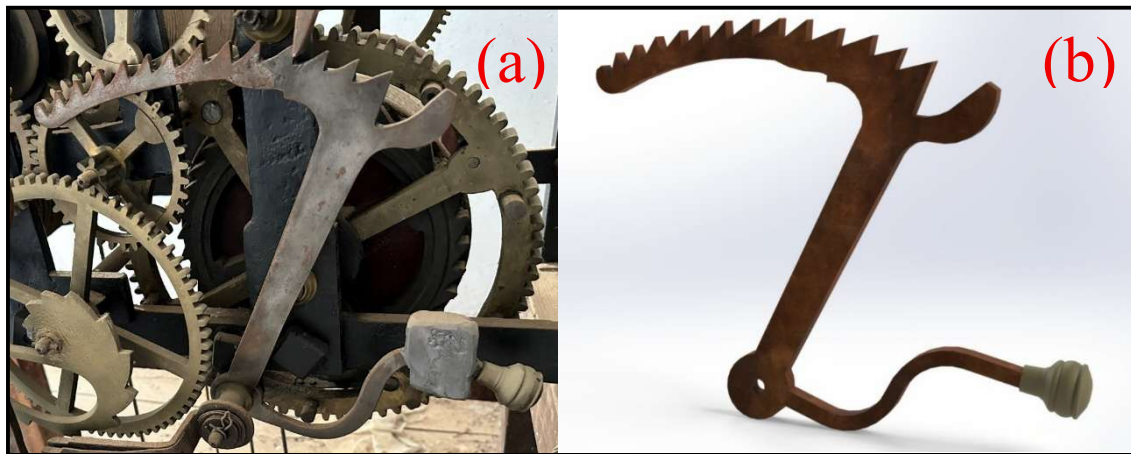


Figura 129: Sierra del sistema de sonería de horas y recreación. Fuente: propia

#### 6.2.2.6 Actuador de bloqueo de las horas

La [Figura 130a](#) y la [Figura 130b](#) muestran el actuador de bloqueo del sistema de sonería de horas real y su recreación respectivamente. Cabe destacar que el real posee un pequeño peso para mantenerlo hacia abajo y que el resto de los elementos que pesan más no lo levanten por error que no fue representado en la recreación.

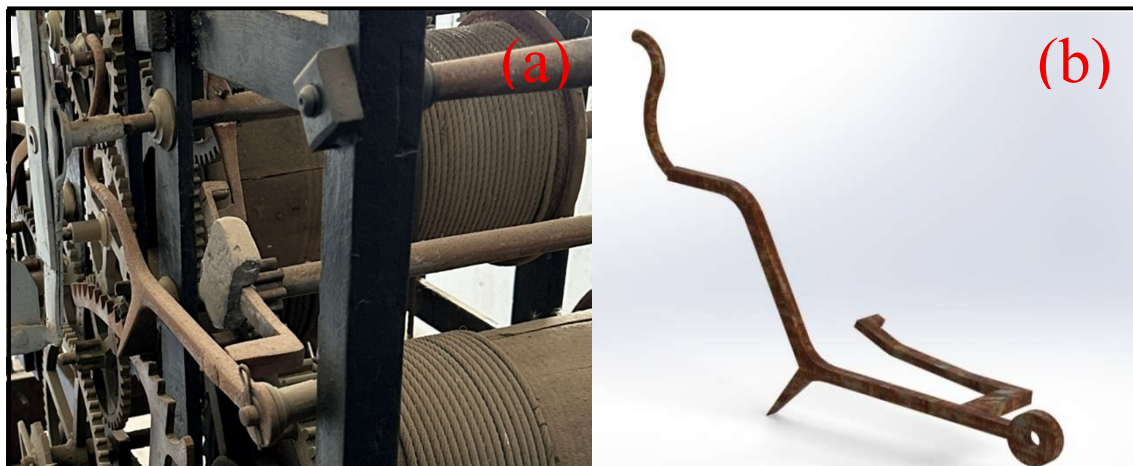


Figura 130: Actuador de bloqueo del sistema de sonería de horas y recreación. Fuente: propia

#### 6.2.2.7 Actuador de sonido de las horas

En la [Figura 131a](#) y la [Figura 131b](#) se puede ver la pieza real del actuador de sonido del sistema de sonería de horas y la recreación respectivamente. Como sucede con varios de otros elementos, esta pieza es idéntica a la correspondiente del sistema de sonería de cuartos

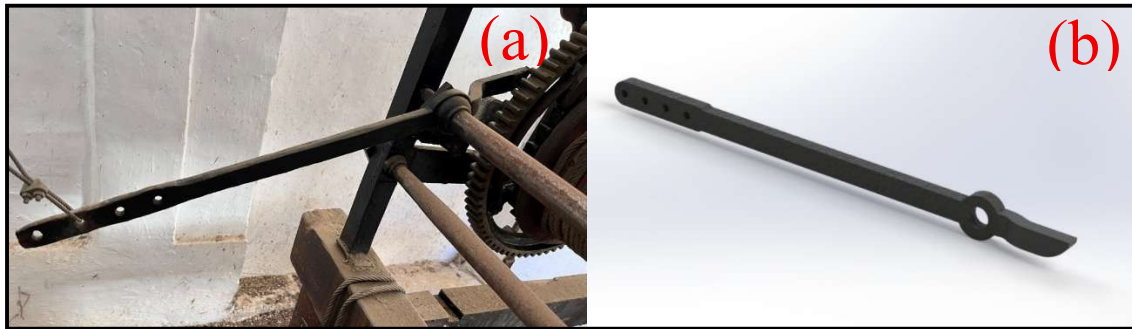


Figura 131: Actuador de sonido del sistema de sonería de horas y su recreación. Fuente: propia

#### 6.2.2.8 Venterol de las horas

Al igual que otros elementos, la recreación del venterol correspondiente al mecanismo de sonería de las horas (*Figura 132b*) posee una geometría idéntica a la del venterol del mecanismo de sonería de las horas. En la realidad, esto no es así, debido a que fueron hechos a mano y de manera un poco rudimentaria, se pueden apreciar las diferencias estéticas de ambos venteroles. Esto se explica debido a que parece ser que la geometría original tenía unas dimensiones menores a la geometría que se presenta en la actualidad y en alguna de las reparaciones que se le hicieron al mecanismo del reloj, se optó por agrandar la superficie de los venteroles así como pintarlos, ya que se aprecia que han sido pintados en alguna de esas reparaciones.

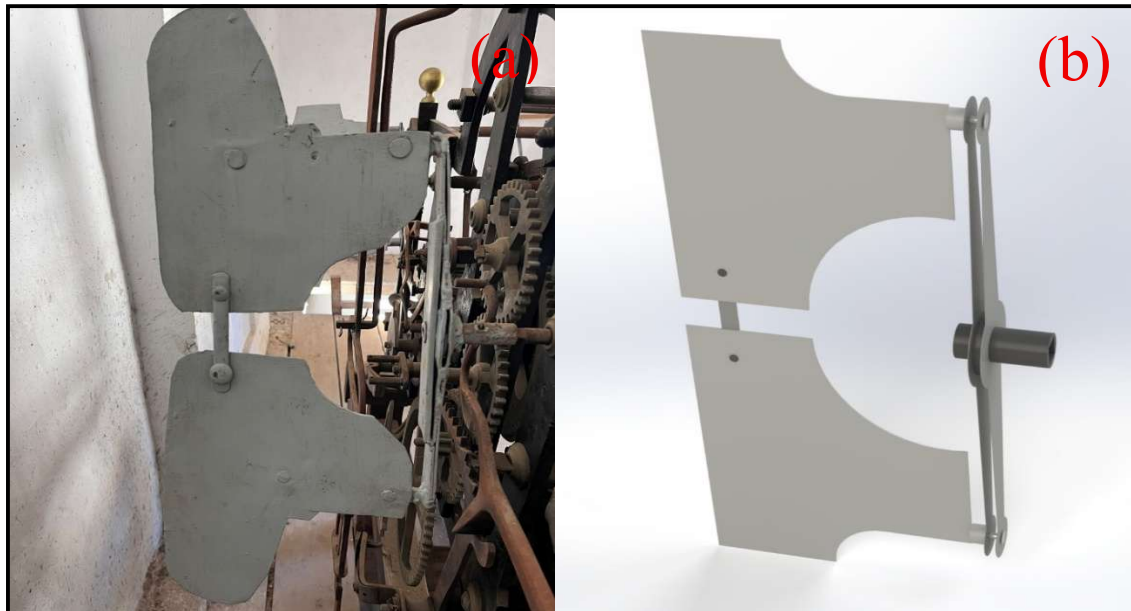


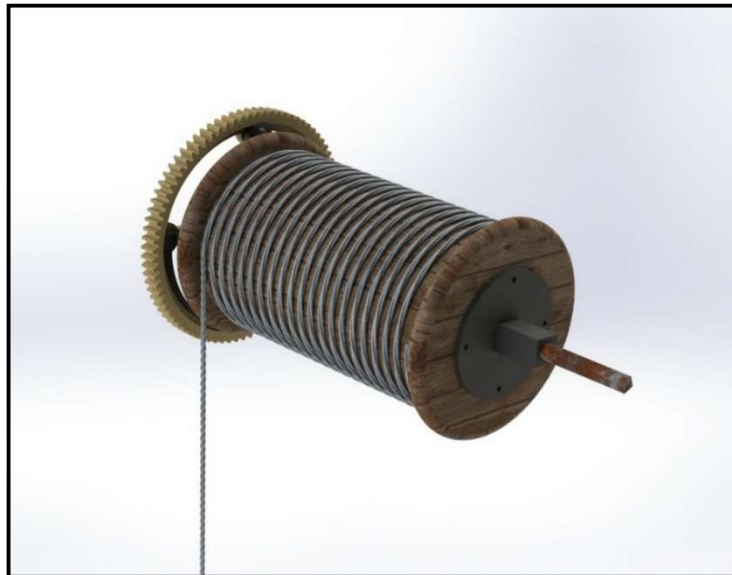
Figura 132: Venterol del sistema de sonería de horas real y recreación. Fuente: propia

### 6.2.3 Tren de movimiento

#### 6.2.3.1 Rueda imperial

A diferencia de las otras dos ruedas imperiales, esta posee una estética ligeramente diferente a la de la sonería de los cuartos y a la de la sonería de las horas. La rueda primera o rueda de engrane del mecanismo de movimiento no posee ningún pivote en su parte posterior, y que no tiene adjunto ningún sistema de sonería a ella. Además, la rueda primera posee un diámetro ligeramente inferior al de las otras dos (*Figura 135*).

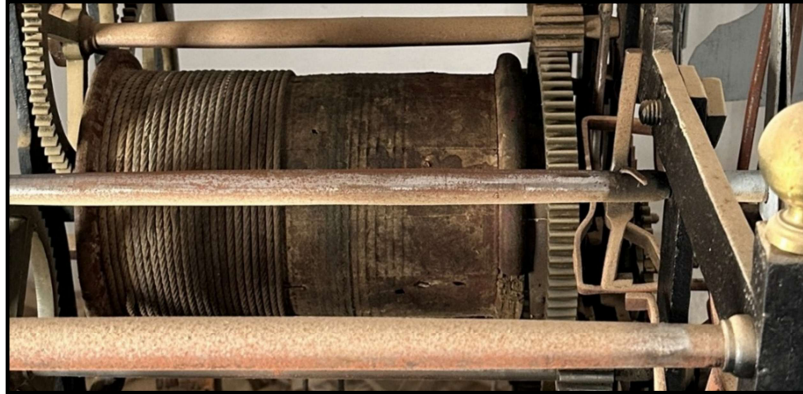
La *Figura 133* y la *Figura 134* muestran la recreación de la rueda imperial del sistema de movimiento.



*Figura 133: Recreación de la rueda imperial del sistema de movimiento. Fuente: propia*



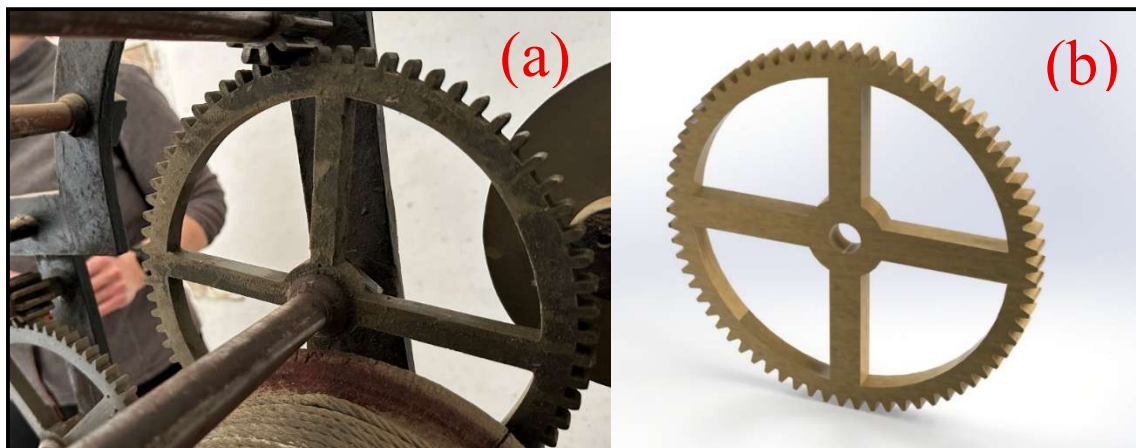
*Figura 134: Rueda imperial del sistema de movimiento real. Fuente: propia*



*Figura 135: Parte de atrás de la recreación de la rueda imperial del sistema de movimiento. Fuente: propia*

#### 6.2.3.2 Rueda segunda

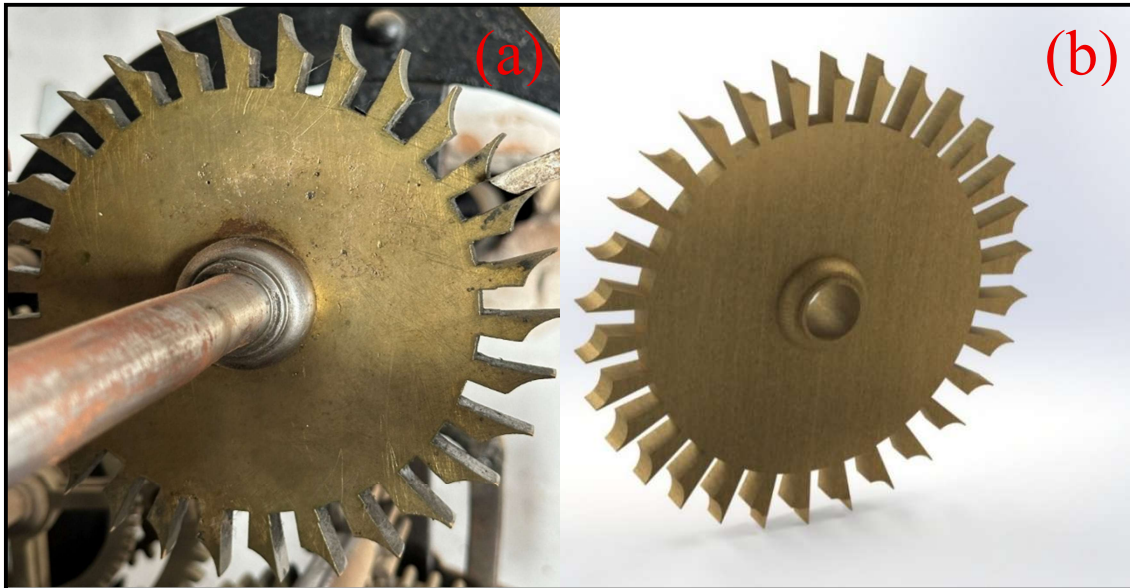
La *Figura 136a* y la *Figura 136b*, como se ha mencionado anteriormente en dos ocasiones con los sistemas de sonería de cuartos y de horas, muestran la pieza real de la rueda segunda del sistema de movimiento y su recreación. Esta pieza es la misma en los tres sistemas como se ha comentado en repetidas ocasiones en los apartados correspondientes.



*Figura 136: Rueda segunda del sistema de movimiento real y su recreación. Fuente: propia*

### 6.2.3.3 Rueda de escape

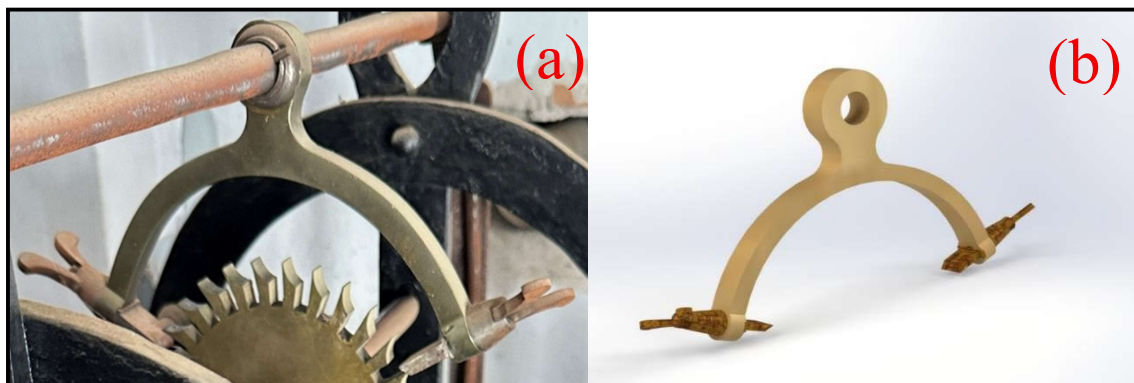
Para conseguir una recreación bastante parecida a la realidad, era de vital importancia recrear la rueda de escape lo más fiel a la realidad posible (*Figura 137b*). La rueda de escape del sistema de movimiento tiene unos dientes característicos de este tipo de escape, el escape Graham o de “retroceso bloqueado” (*Figura 137a*), por lo que se pretendía aproximarse a la pieza real lo máximo posible



*Figura 137: Rueda de escape real y recreación. Fuente: propia*

### 6.2.3.4 Áncora

En la *Figura 138a* podemos ver la el áncora del sistema de escape del mecanismo del relojreal . De la misma manera, la *Figura 138b* muestra la recreación del áncora real del sistema. Se puede apreciar que el áncora está formado por el arco principal que se engancha al eje del péndulo y además consta de dos paletas, unidas al arco del áncora mediante dos palometas

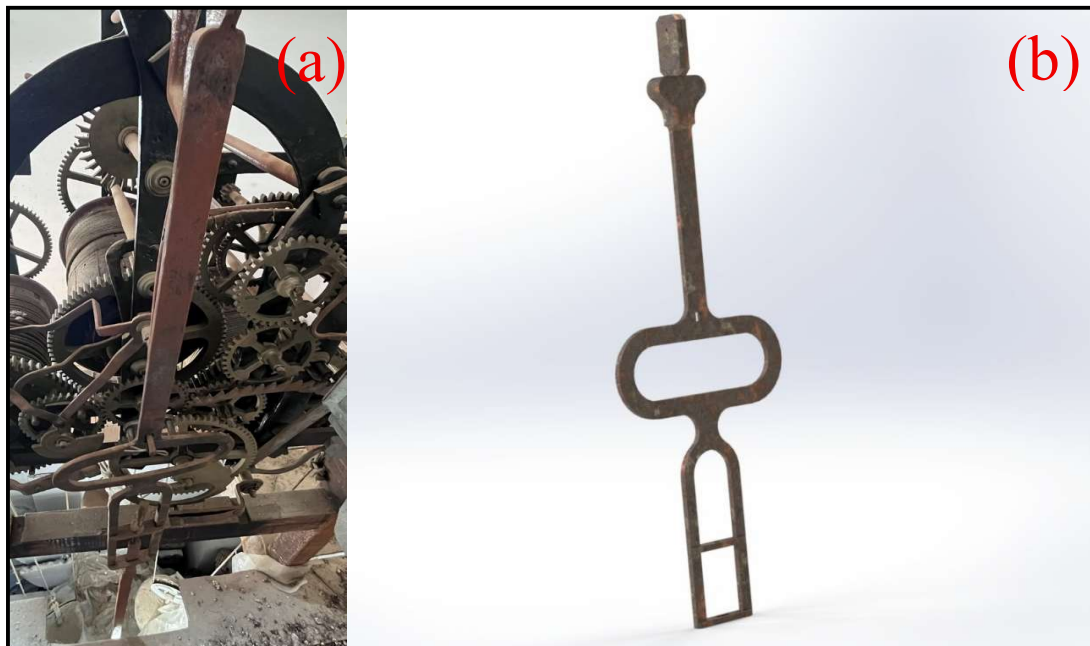


*Figura 138: Áncora del sistema de escape del reloj y su recreación. Fuente: propia*

### 6.2.3.5 Péndulo

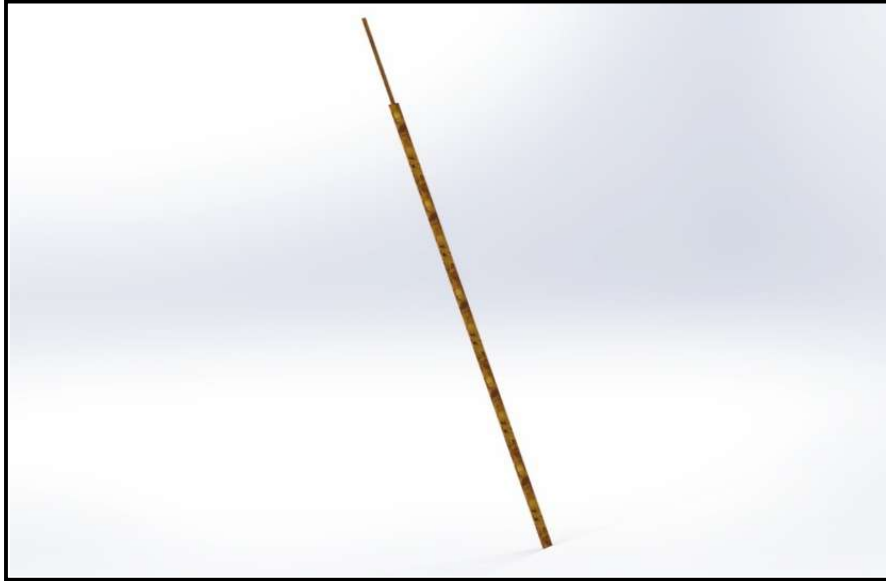
En la [Figura 139a](#) podemos apreciar las dos varillas reales unidas por la palometa que regula la distancia a la que se encontrará la pesa, haciendo que el péndulo oscile más o menos rápido.

La [Figura 139b](#) muestra la recreación de la varilla que va junto al amarre del péndulo. Esta pieza es muy importante, pues es donde a su vez engancha el tenedor y la varilla que sostiene a la pesa.

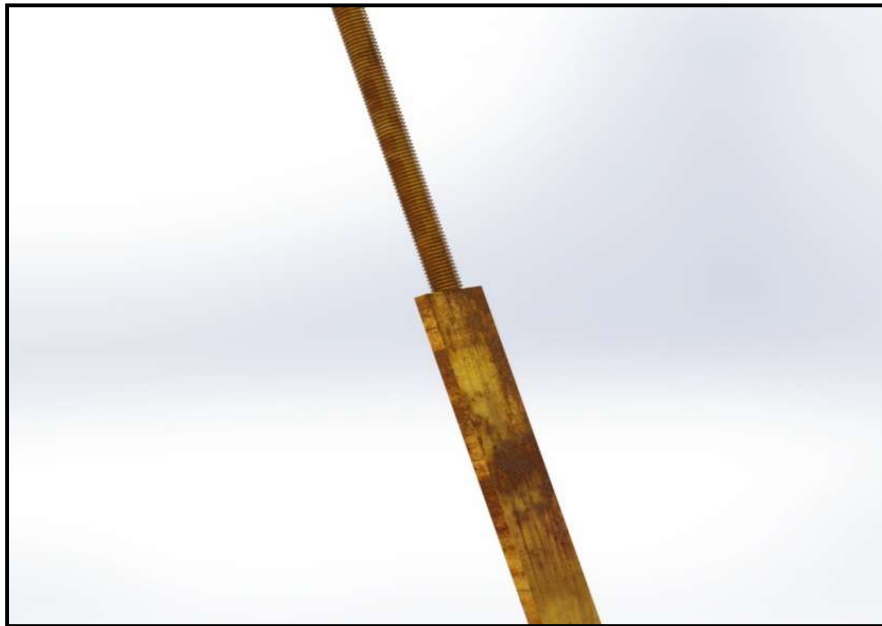


*Figura 139: Varillas que engancha en el amarre del péndulo real. Fuente: propia*

La [Figura 140](#) y la [Figura 141](#) muestran la recreación de la varilla que sostiene a la pesa del péndulo. La [Figura 141](#) es simplemente un zoom de la pieza para resaltar el detalle de la rosca situada en la parte superior dicha varilla. Esta rosca sirve para unirla a la varilla anterior mediante una palometa. Mediante el giro de la palometa, se conseguirá alargar o acortar el péndulo con lo que se modificará su velocidad y de esta manera palometa, se conseguirá alargar o acortar el péndulo con lo que se modificará su velocidad y de esta manera se frenará o acelerará respectivamente.



*Figura 140: Recreación de la varilla que modifica la longitud del péndulo. Fuente: propia*



*Figura 141: Detalle de la recreación de la varilla que modifica la longitud del péndulo. Fuente: propia*

La [Figura 142a](#) es otra imagen del conjunto de ambas varillas anteriormente mencionadas que se unen por la palometa que regulará la distancia a la que se encuentre la pesa del péndulo. La [Figura 142b](#) muestra el mismo conjunto, pero esta vez la recreación, para permitir comparar la recreación y la realidad



Figura 142: Varillas del péndulo unidas por una palometa real y recreación. Fuente: propia

La [Figura 143a](#) y la [Figura 143b](#) muestran la pesa en forma de lenteja real del péndulo y la recreación respectivamente.

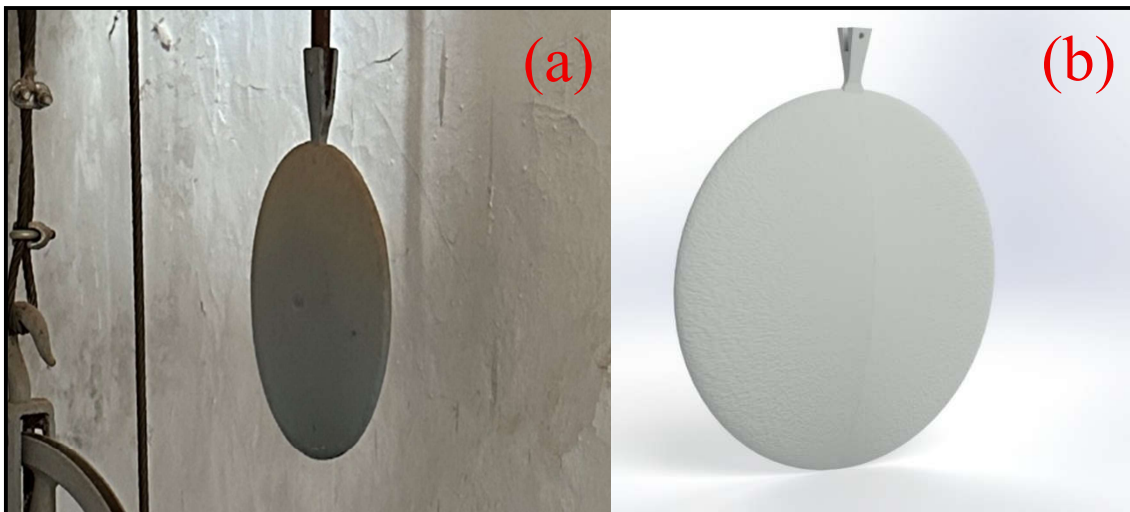


Figura 143: Pesa en forma de lenteja del péndulo real y recreación. Fuente: propia

En la imagen de abajo ([Figura 144](#)) podemos ver la representación obtenida del tenedor del péndulo. Este es el encargado de transmitir el movimiento oscilatorio del péndulo al eje del áncora.



Figura 144: Tenedor del péndulo real y recreación. Fuente: propia

Tanto en la [Figura 145](#) como en la [Figura 146](#) se puede apreciar el conjunto del péndulo del reloj. La [Figura 145](#) muestra todo el conjunto del péndulo mientras que la [Figura 146](#) muestra el perfil izquierdo de la parte superior del mismo, destacando la unión entre el tenedor y la varilla que se une al amarre.

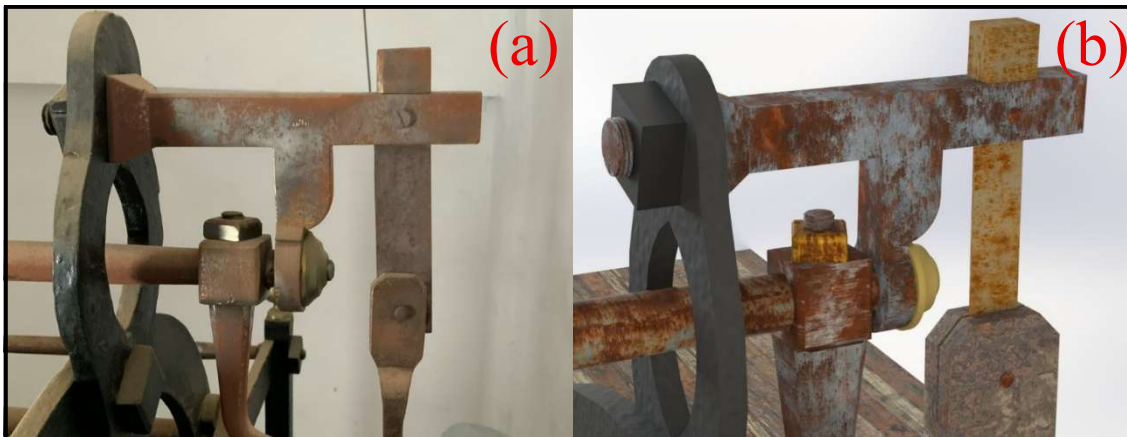


Figura 145: Recreación del conjunto del péndulo. Fuente: propia



*Figura 146: Perfil de la recreación de la parte superior del conjunto del péndulo del reloj. Fuente: propia*

En esta imagen (*Figura 147*), podemos distinguir la pieza mediante la cual la varilla mencionada anteriormente se engancha a la estructura. Se aprecia la lámina metálica que mantiene unida la varilla y además permite que el conjunto del péndulo oscile. Esto es debido a que es una lámina muy fina y flexible.



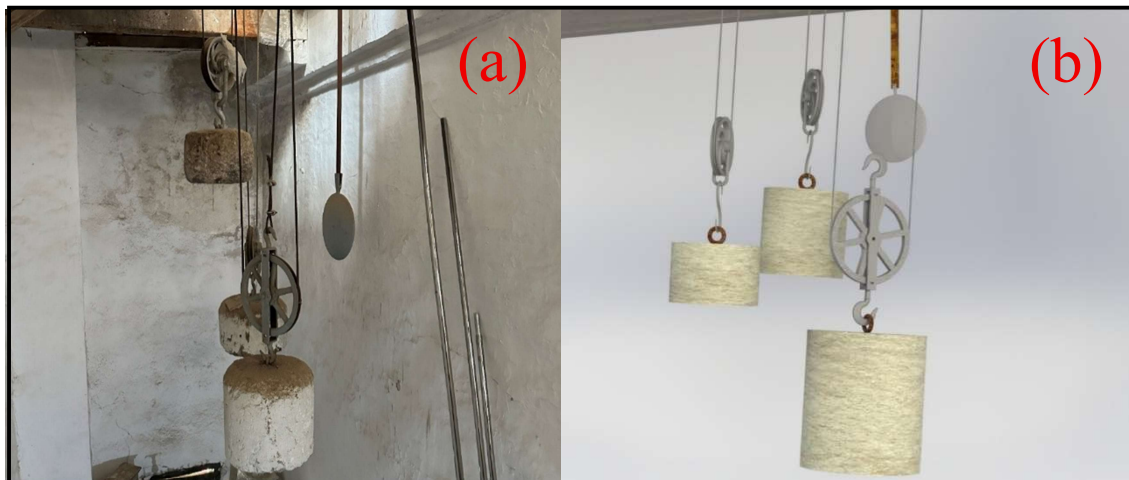
*Figura 147: Amarre del péndulo al eje del ánclora y su recreación. Fuente: propia*

## 6.2.4 Elementos generales

### 6.2.4.1 Pesas y poleas

Podemos apreciar cómo la recreación de las poleas y pesas de los diferentes sistemas (*Figura 148a*) cuelgan por debajo del mecanismo del reloj como lo hacen en la realidad (*Figura 148b*).

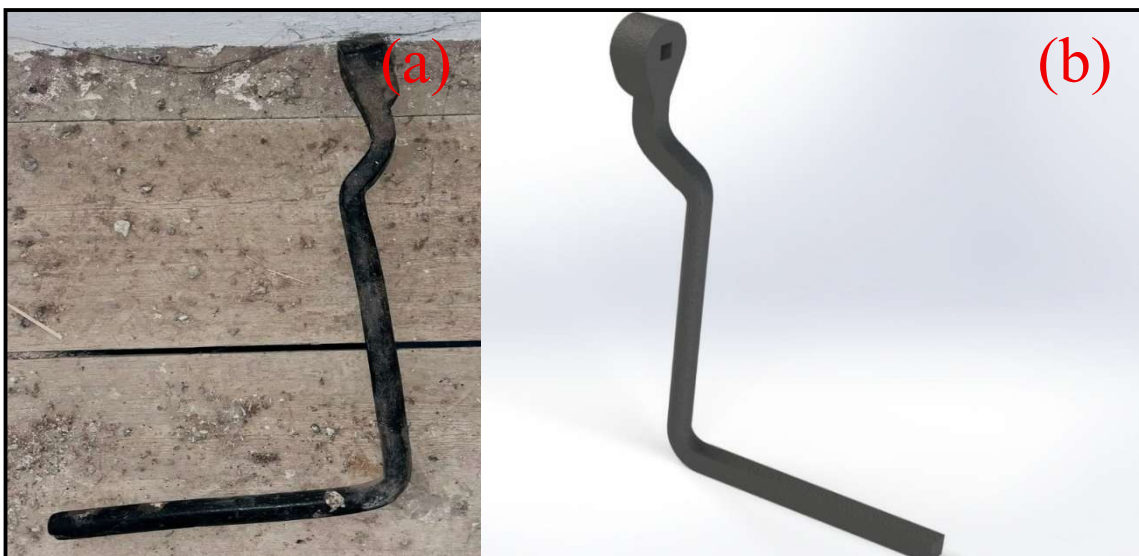
De izquierda a derecha en la *Figura 148* podemos diferenciar los distintos sistemas: pesa del sistema de sonería de horas, pesa del sistema de movimiento y pesa del sistema de sonería de cuartos. Además, por detrás se distingue la pesa en forma de lenteja perteneciente al péndulo.



*Figura 148: Pesas y las poleas de los diferentes sistemas del reloj y su recreación. Fuente: propia*

### 6.2.4.2 Manivela

En este caso, la *Figura 149a* representa la manivela que sirve para dar cuerda a los tres sistemas, mientras que la *Figura 149b* muestra la recreación de esta.



*Figura 149: Manivela para dar cuerda a los tres sistemas del reloj y su recreación. Fuente: propia*

#### 6.2.4.3 Ejes

En la [Figura 150](#) podemos apreciar la recreación de uno de los ejes que componen toda la estructura y donde se encuentran encajadas algunas de las piezas del mecanismo.



*Figura 150: Recreación de un eje que une la bancada frontal con la bancada de atrás. Fuente: propia*

#### 6.2.4.4 Bancada

Las [Figura 151](#) y [152](#) muestran la estructura principal del reloj, tanto su parte delantera ([Figura 151](#)) como su parte trasera ([Figura 152](#)). Ambas poseen taladros en las que se acoplan los diferentes ejes y piezas del mecanismo.



*Figura 151: Recreación de la parte frontal de la bancada. Fuente: propia*



Figura 153: Recreación de la parte de atrás del arco de la bancada. Fuente: propia

Tanto la [Figura 153](#) como la [Figura 154](#) muestran recreaciones de barras de la estructura. La primera se encarga de unir y dar estabilidad a la parte delantera, mientras que la segunda, aparte de desempeñar la misma función, debe mantener en su posición a diferentes elementos en la parte de atrás.

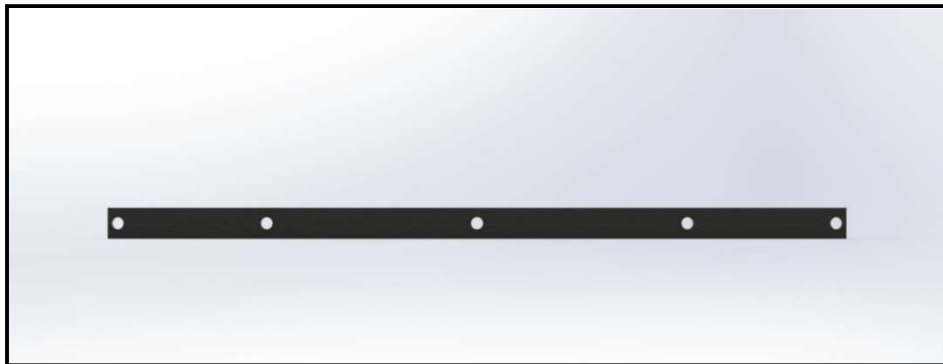


Figura 152: Recreación de la barra horizontal de la parte delantera de la bancada. Fuente: propia

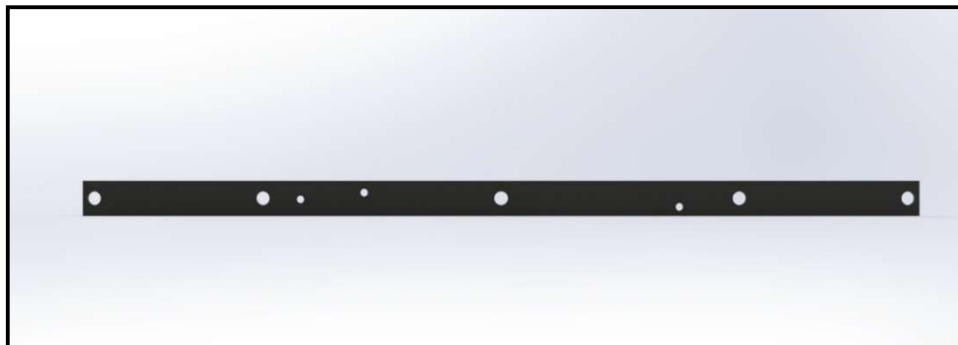


Figura 154: Recreación de la barra horizontal de la parte de atrás de la bancada. Fuente: propia

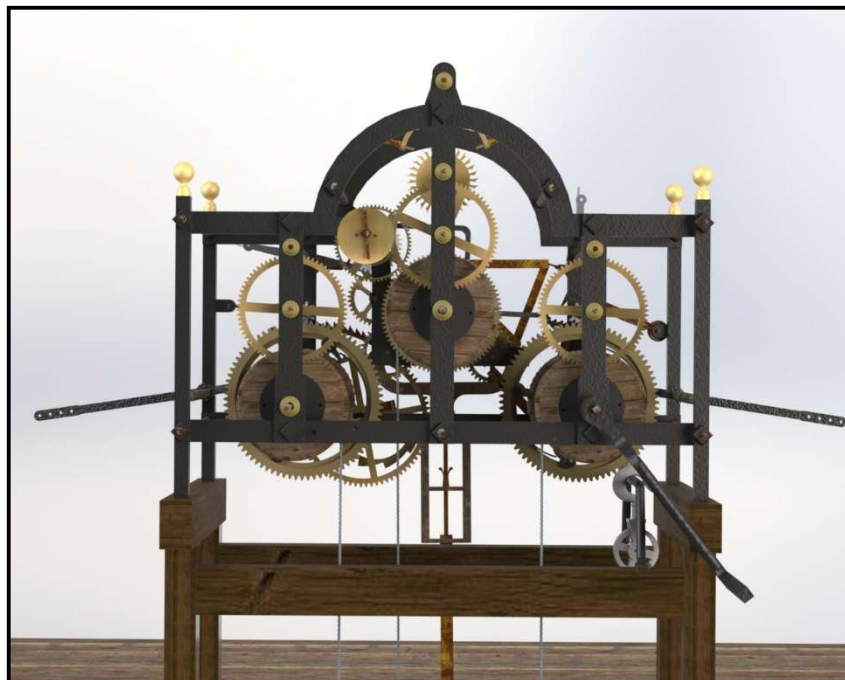
#### 6.2.4.5 Base de madera

La *Figura 155* permite apreciar la recreación de la base de madera que mantiene a toda la estructura del reloj retirada del suelo.

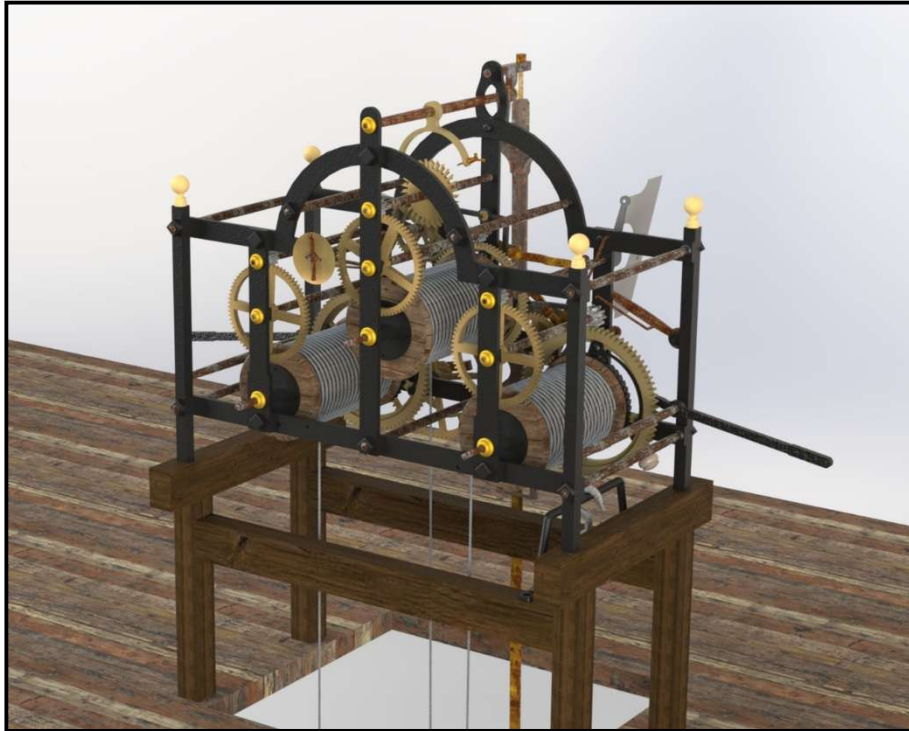


*Figura 155: Recreación de la base de madera donde se apoya el conjunto del reloj. Fuente: propia*

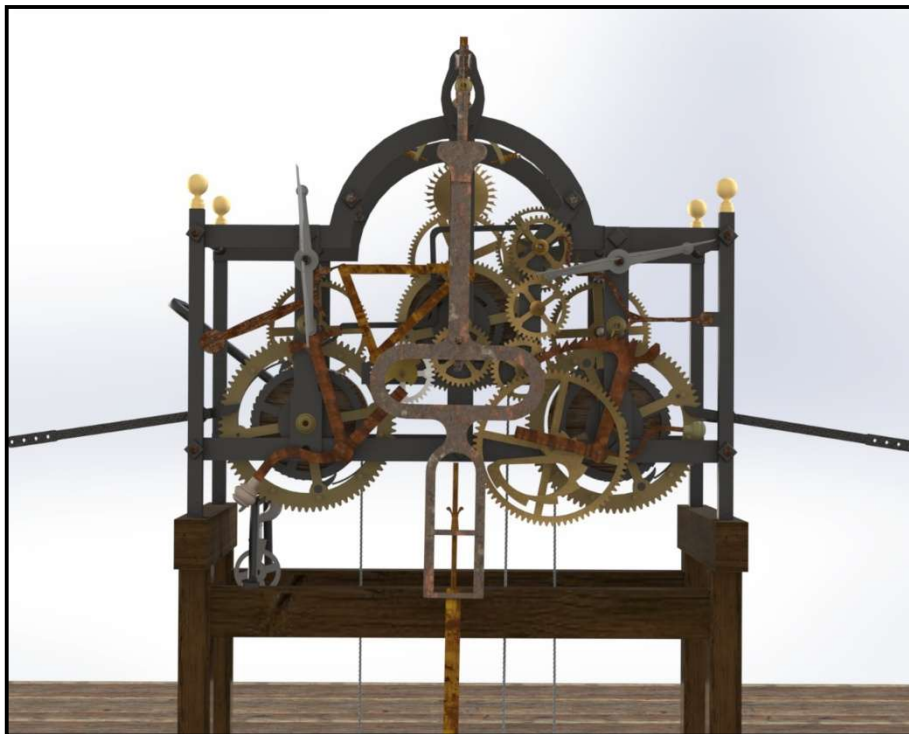
En las siguientes figuras (*Figura 156, 157 y 158*) se muestra la recreación de todo el mecanismo del reloj al completo. En la *Figura 156* podemos apreciar el alzado del reloj visto desde el frente. En la *Figura 157* se aprecia el mecanismo del reloj en perspectiva. Y finalmente, en la *Figura 158* se observa el alzado del reloj visto desde atrás.



*Figura 156: Alzado frontal del reloj. Fuente: propia*



*Figura 157: Perspectiva del reloj. Fuente: propia*



*Figura 158: Alzado trasero del reloj. Fuente: propia*

## 7 CONCLUSIONES

Tal y como quedó reflejado al principio de este proyecto, se ha cumplido con los objetivos esperados.

Se ha realizado una recreación virtual del mecanismo del reloj en 3 dimensiones utilizando el software de SolidWorks, siendo esta manipulable. Además, ha permitido el aumento de conocimiento y manejo del programa, consiguiendo aprender desde cero hasta su utilización con soltura y la realización de piezas complejas y ensamblaje de estas.

También se ha conseguido comprender el funcionamiento del reloj, al menos en la mayor parte, gracias al estudio y análisis de las piezas que componen dicho mecanismo, aunque el real no estuviera en funcionamiento. Todo esto ha sido posible gracias a la extensa labor de investigación, así como de análisis y comprensión del mecanismo tras el gran número de horas pasadas en la torre para conseguir comprender cómo deberían de trabajar cada una de las piezas en el caso de que el reloj estuviera funcionando.

Este proyecto también ha conseguido dar visión a las diferentes partes que forman el mecanismo del reloj, para que se ponga de manifiesto la importancia de cada una de las piezas que lo componen.

Esta recreación se puede utilizar con fines educativos, pudiendo ser usado en clase por los docentes o incluso para el resto de público, ya que el real se encuentra en un lugar de difícil acceso donde no todo el mundo puede acceder.

Por último, la creación de este proyecto puede contribuir a la cultura e historia de este pueblo. En la actualidad el reloj se encuentra parado en la torre de la Iglesia, pero tras la creación de este proyecto, se donará al pueblo y se propondrá ante los medios oportunos como propuesta a recibir ayudas para su reconstrucción y en caso de ser necesario, su traslado para poder ser expuesto en algún lugar de mejor acceso, para que tanto los habitantes del pueblo como los posibles visitantes que puede atraer, puedan disfrutar del reloj en algún entorno preparado para ello.

## 8 PUBLICACIONES

Cabe destacar que este proyecto ha sido presentado en el XII Congreso Internacional de la Sociedad para la Defensa del Patrimonio Geológico y Minero (SEDPGYM) realizado en Parada de Sil (Orense) en octubre de 2025. Además, se está preparando actualmente un artículo para publicarlo en una revista del Journal Citation Report tal como *heritage*.

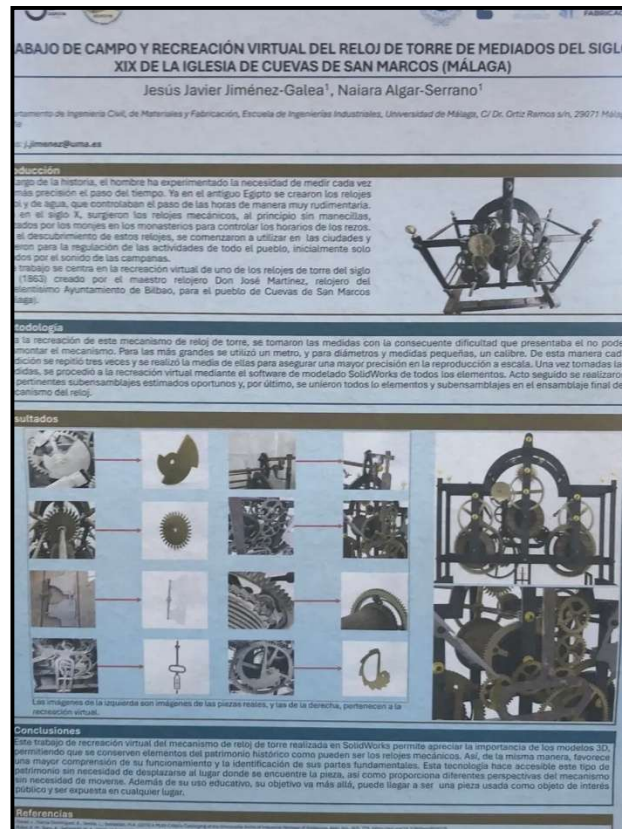


Figura 160: Imagen del póster llevado al XII Congreso Internacional de la SEDPGYM. Fuente: propia

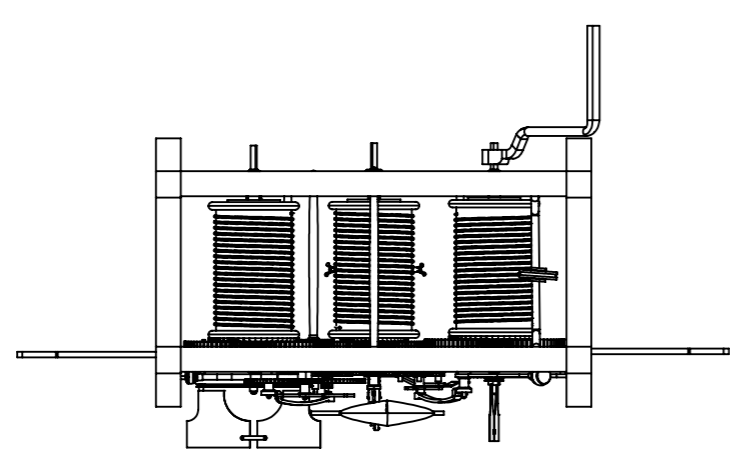
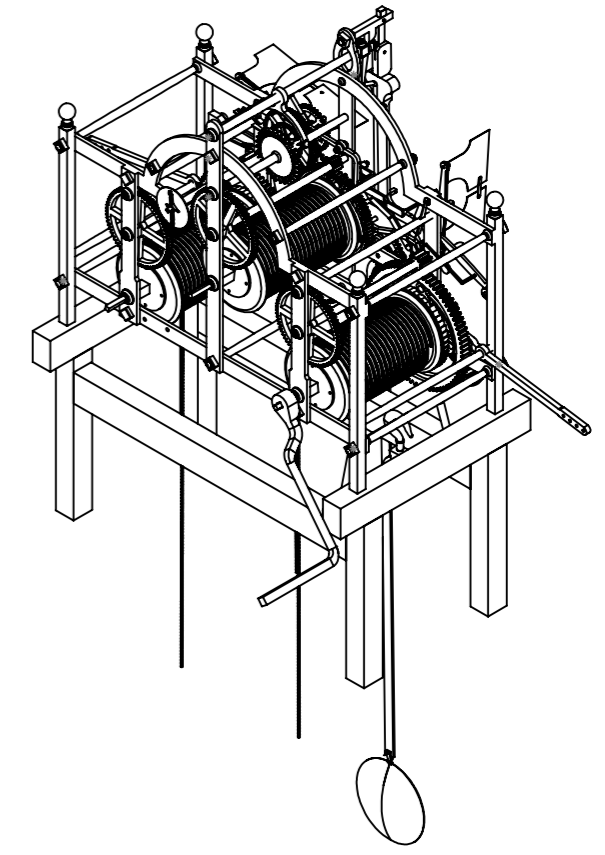
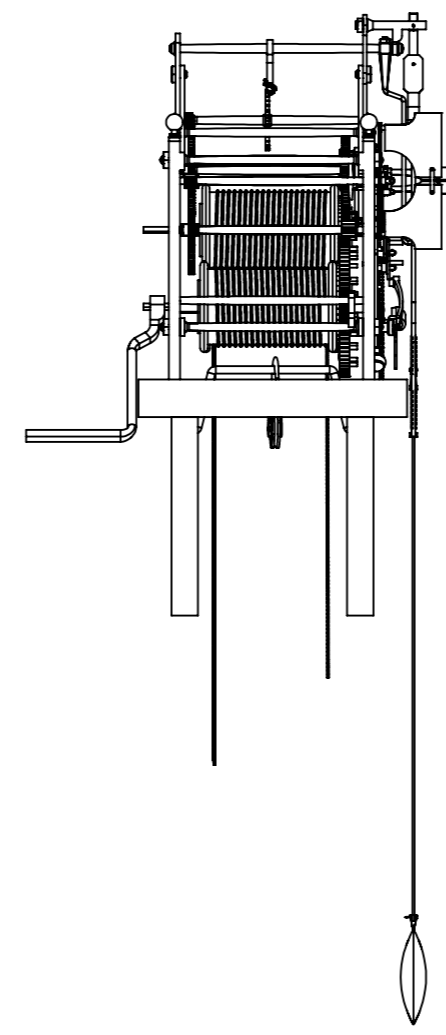
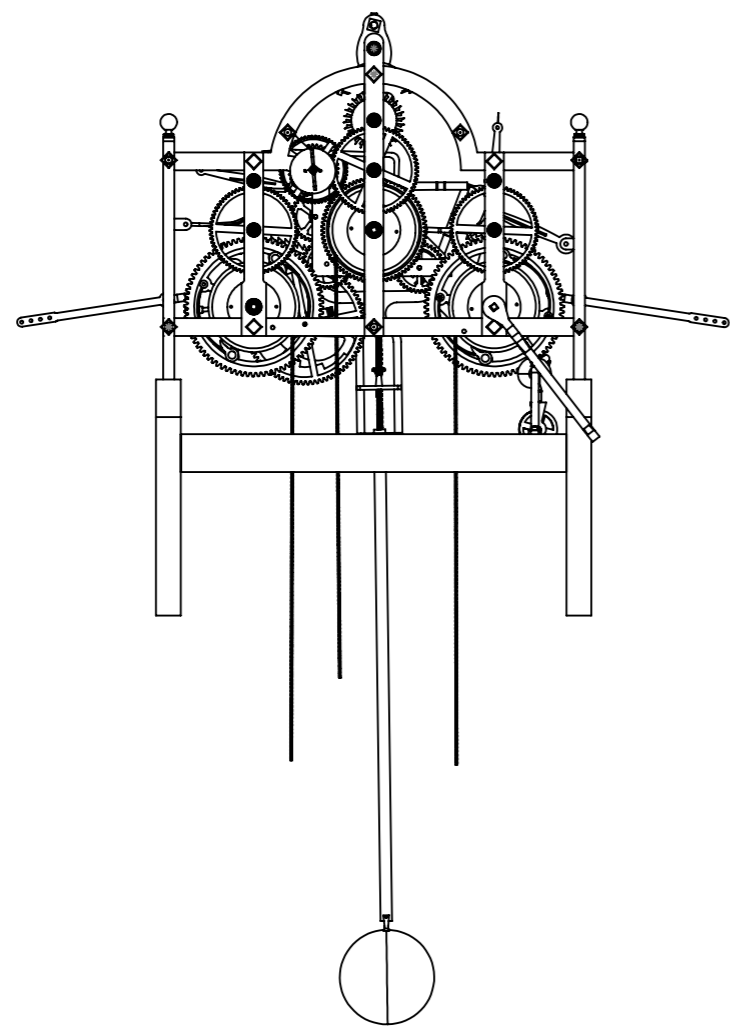




## ANEXO I: PLANOS





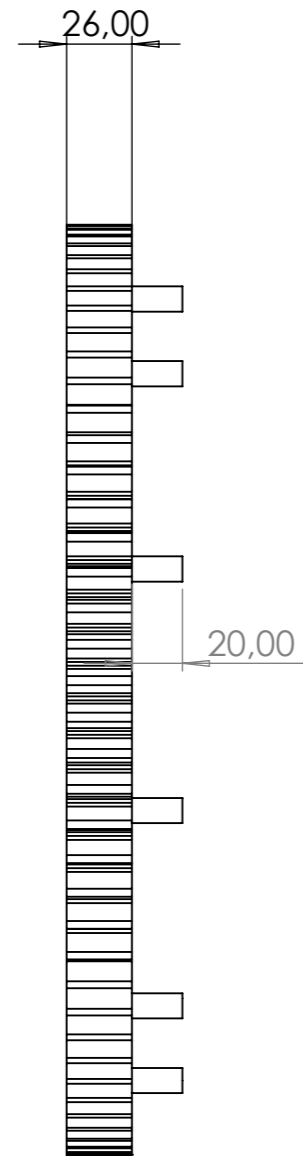
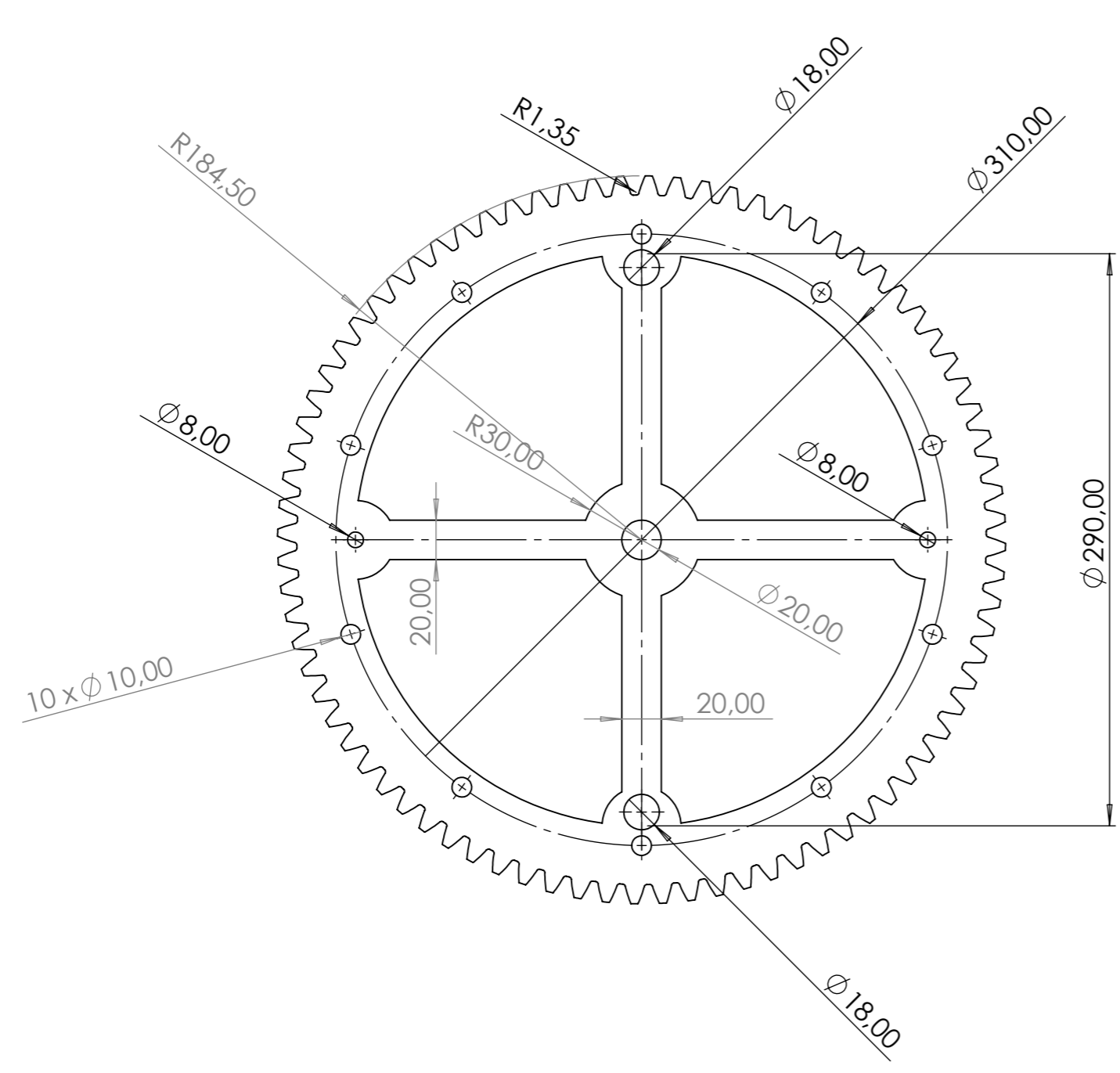
A continuación, se presentan los planos relativos a las piezas y ensamblajes que componen la totalidad de la recreación del mecanismo del reloj. Como aclaración relativa a la recreación de las piezas, cabe destacar que todas y cada una de las piezas mostradas en las imágenes anteriores y planos que suceden han sido realizadas desde cero por la autora de este TFG. En algunas ocasiones, como pueden ser las pesas de los tres sistemas del reloj, no se muestran los planos, pues se considera una extrusión muy simple de solo un cilindro de diferentes tamaños. Esto es debido a la imposibilidad de la medición de las pesas reales de hormigón. Tampoco se han realizado los planos de elementos muy pequeños como ejes que se han tenido que implementar para sujetar los engranajes pequeños de la parte de atrás a la estructura o pasadores que se han creado por el mero valor estético.



 <b>UNIVERSIDAD DE MÁLAGA</b>		<b>TÍTULO:</b> RECREACIÓN DEL MECANISMO DEL RELOJ	
<b>ESCALA:</b> 1:20	<b>NÚMERO:</b> 0	<b>FIRMA:</b>	<b>DIBUJADO POR:</b> NAIARA ALGAR SERRANO
		<b>TAMAÑO DE HOJA:</b> A3	<b>FECHA:</b> 12/01/2026
			<b>HOJA:</b> 0

8 7 6 5 4 3 2 1

F  
E  
D  
C  
B  
A



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

TÍTULO:  
RUEDA PRIMERA CUARTOS Y HORAS

ESCALA:  
1:3

NÚMERO:  
1

F

DIBUJADO POR:  
NAIARA ALGAR SERRANO

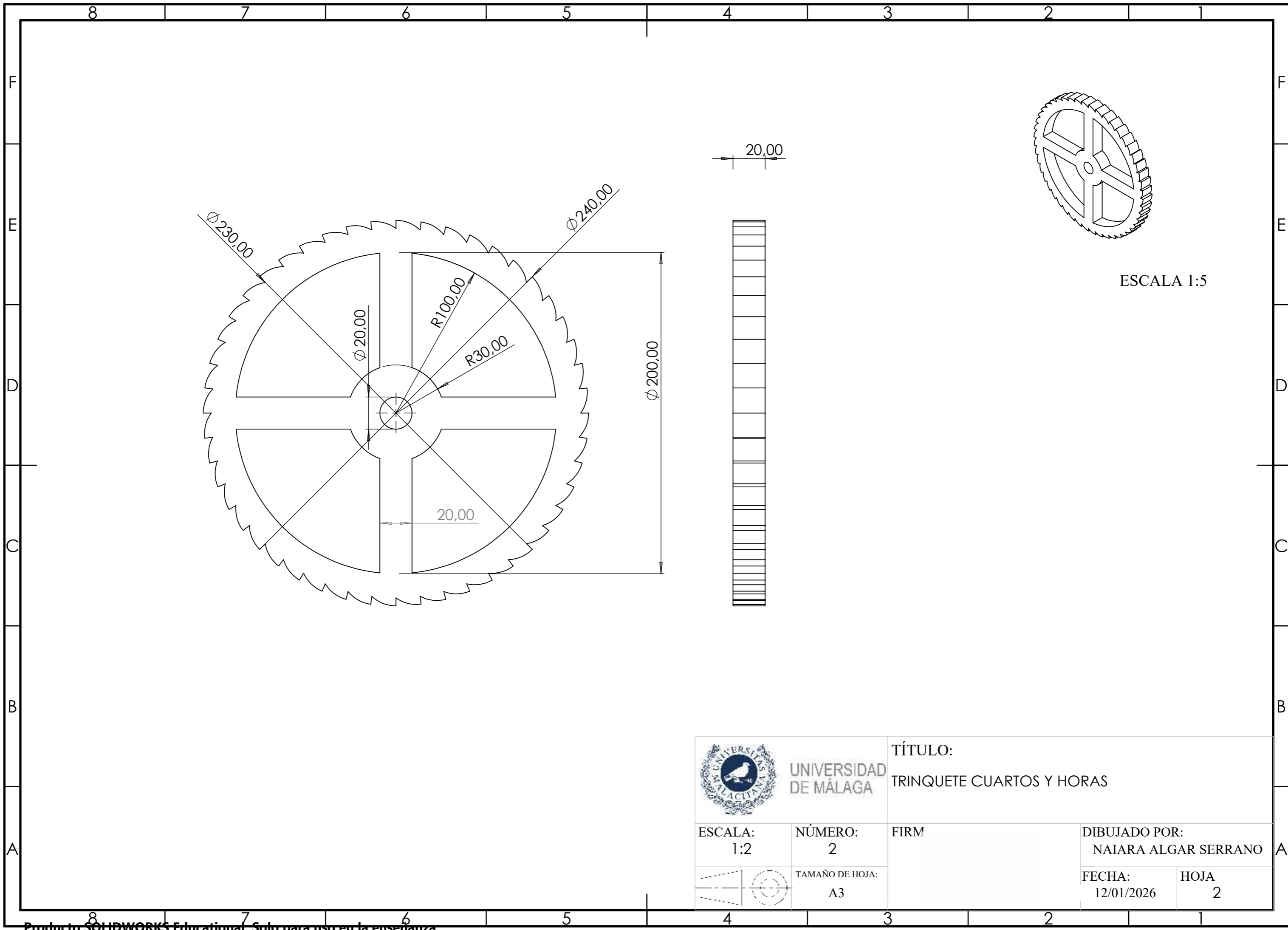


TAMAÑO DE HOJA:  
A3

FECHA:  
12/01/2026

HOJA:  
1

8 7 6 5 4 3 2 1



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

TÍTULO:  
TRINQUETE CUARTOS Y HORAS

ESCALA:  
1:2

NÚMERO:  
2

FIRM

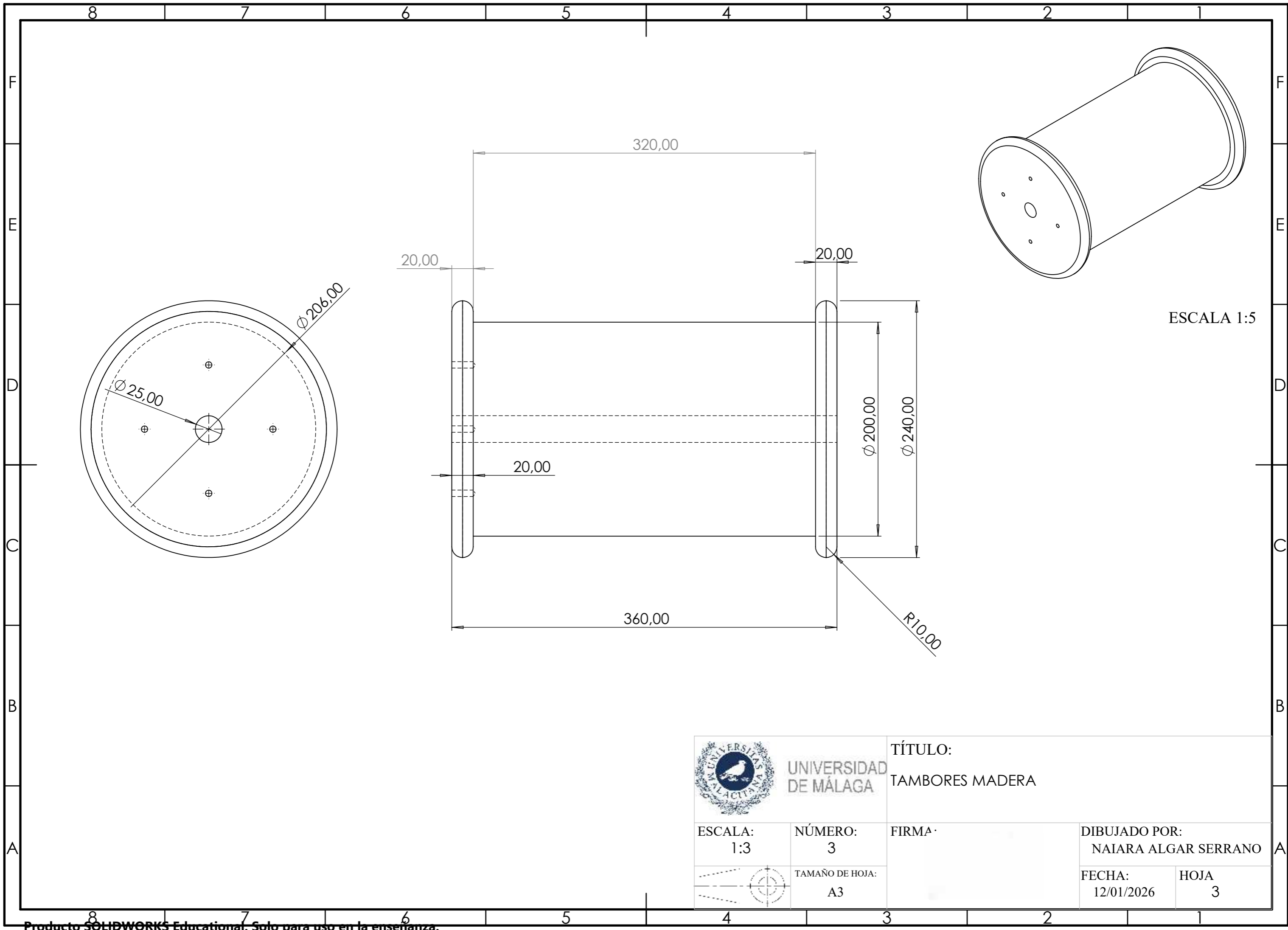
DIBUJADO POR:  
NAIARA ALGAR SERRANO



TAMAÑO DE HOJA:  
A3

FECHA:  
12/01/2026

HOJA  
2



ESCALA 1:5



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

TÍTULO:  
TAMBORES MADERA

ESCALA:  
1:3

NÚMERO:  
3

FIRMA:

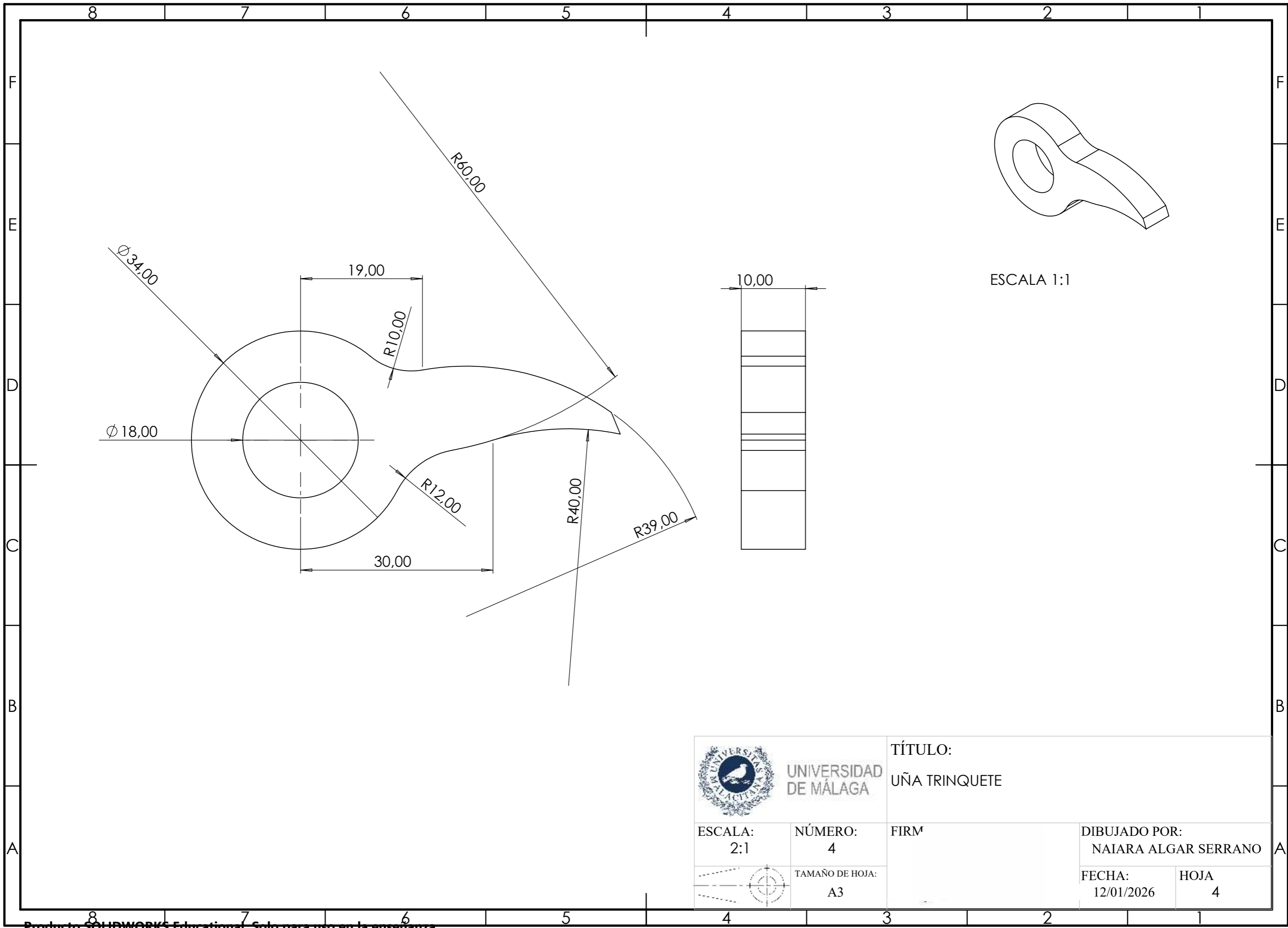
DIBUJADO POR:  
NAIARA ALGAR SERRANO





TAMAÑO DE HOJA:  
A3

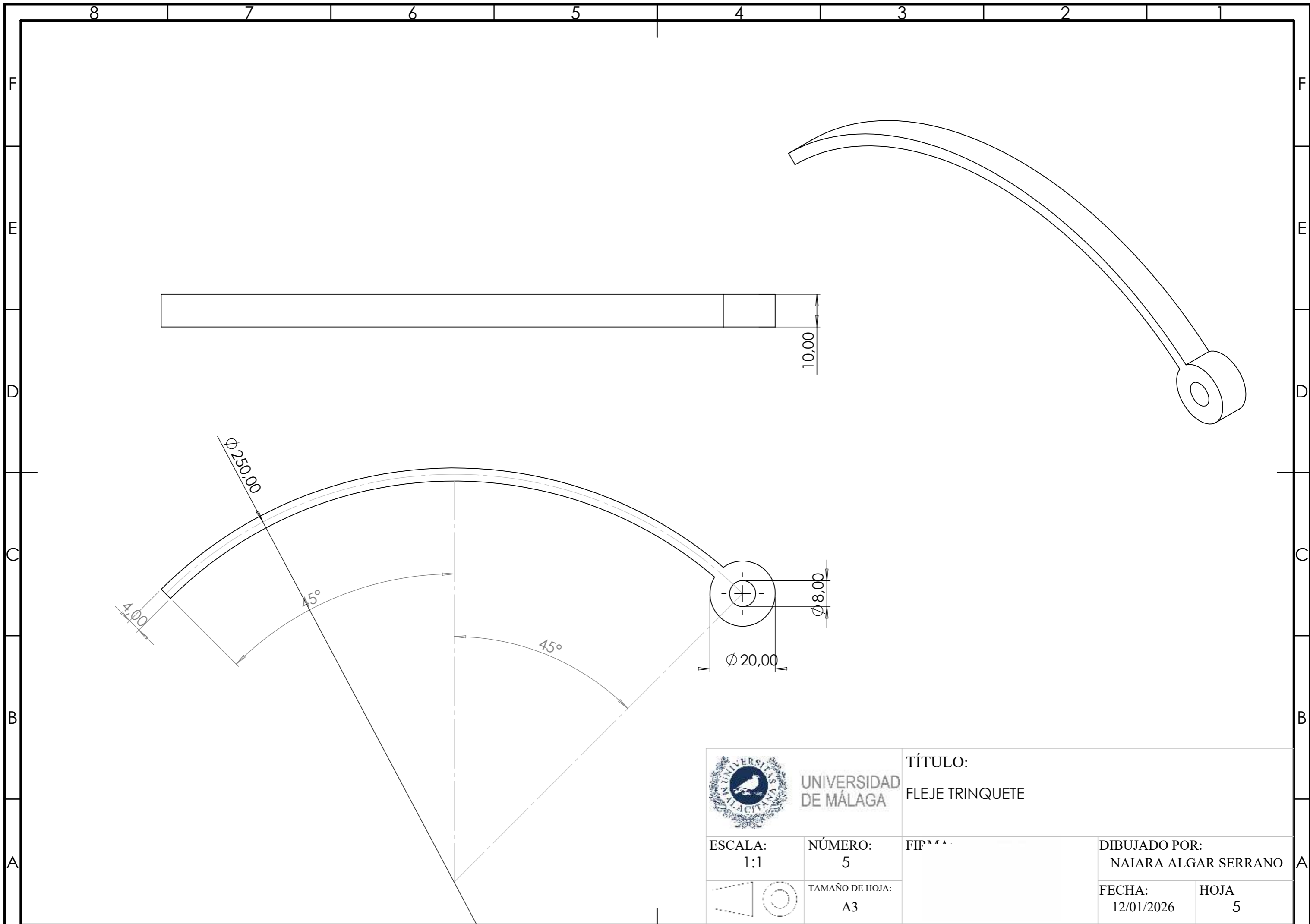
FECHA:  
12/01/2026

HOJA  
3



ESCALA 1:1

 <b>UNIVERSIDAD DE MÁLAGA</b>		<b>TÍTULO:</b> UÑA TRINQUETE	
<b>ESCALA:</b> 2:1	<b>NÚMERO:</b> 4	<b>FIRM</b>	<b>DIBUJADO POR:</b> NAIARA ALGAR SERRANO
 <b>TAMAÑO DE HOJA:</b> A3			<b>FECHA:</b> 12/01/2026



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

TÍTULO:  
FLEJE TRINQUETE

ESCALA:  
1:1

NÚMERO:  
5

FIPMAA

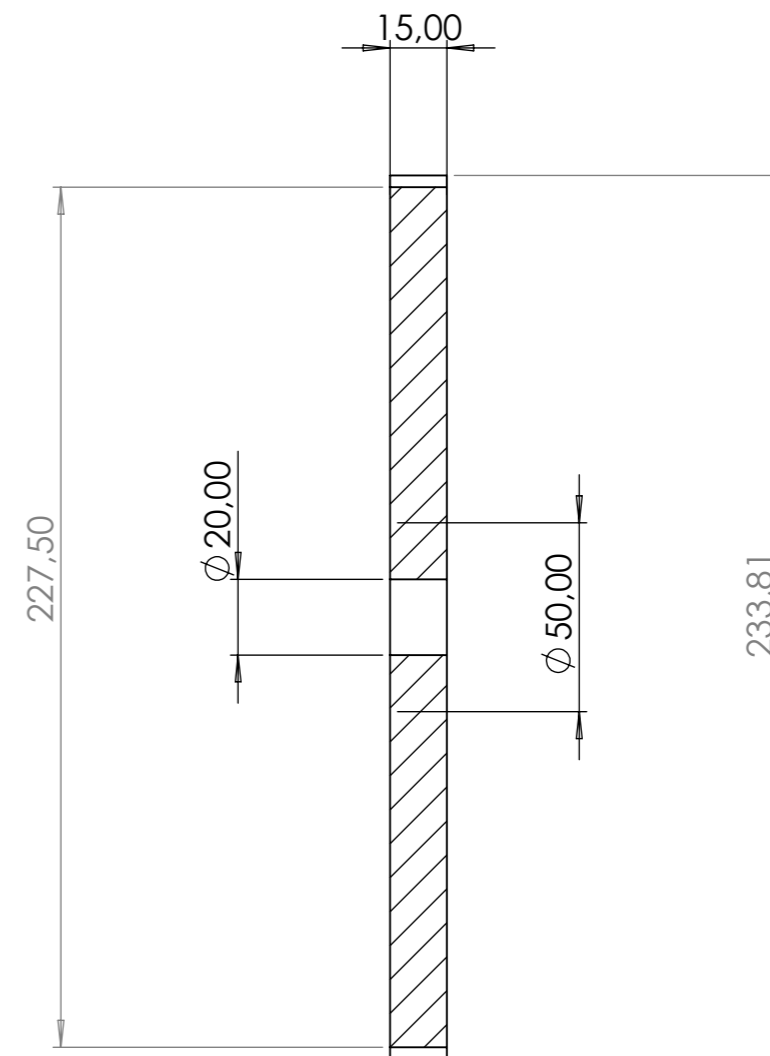
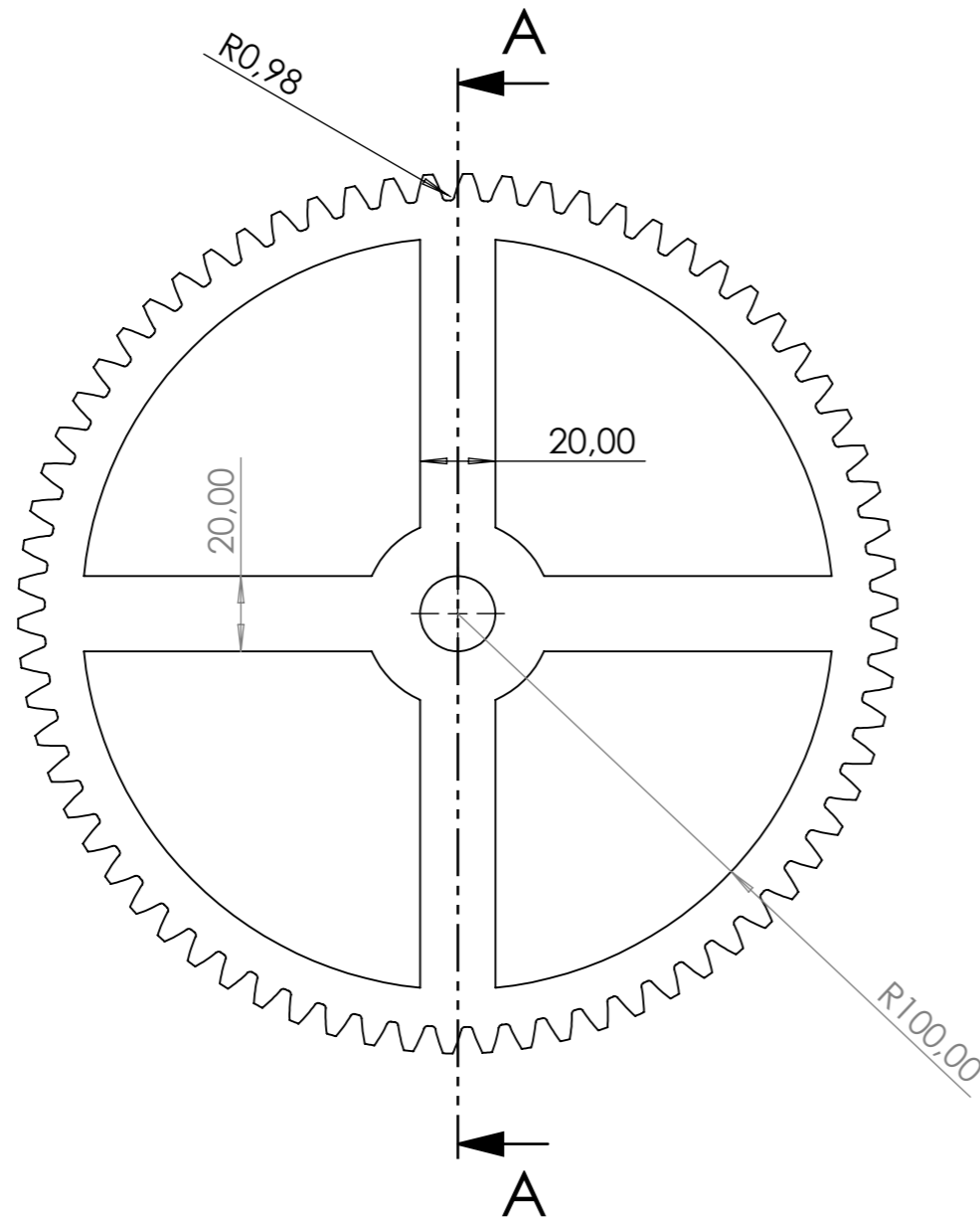
DIBUJADO POR:  
NAIARA ALGAR SERRANO



TAMAÑO DE HOJA:  
A3

FECHA:  
12/01/2026

HOJA  
5



SECCIÓN A-A



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA

TÍTULO:

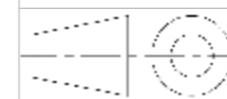
RUEDA SEGUNDA

ESCALA:  
1:2

NÚMERO:  
6

FIRMA:

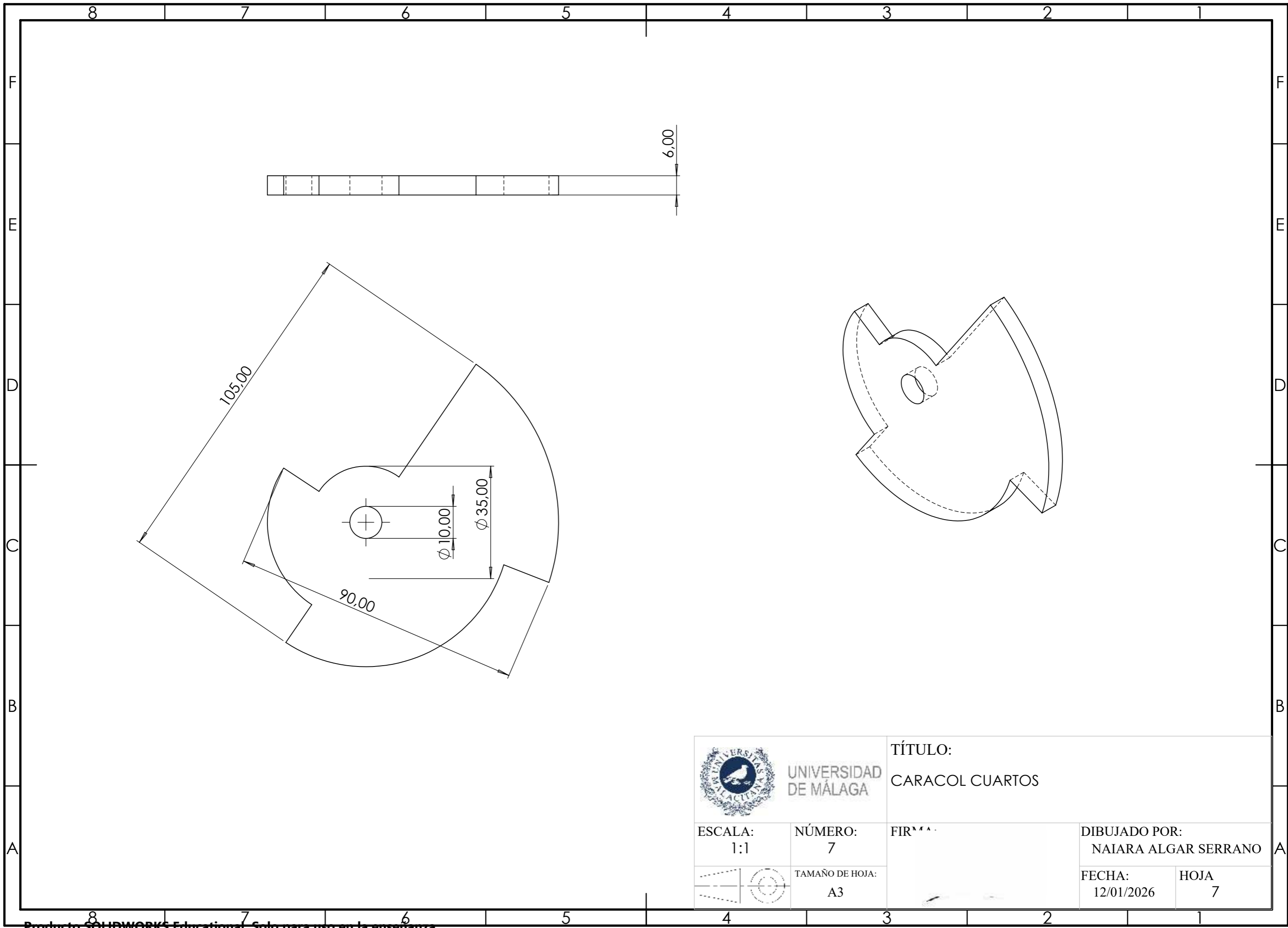
DIBUJADO POR:  
NAIARA ALGAR SERRANO



TAMAÑO DE HOJA:  
A3

FECHA:  
12/01/2026

HOJA  
6



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

TÍTULO:  
CARACOL CUARTOS

ESCALA:  
1:1

NÚMERO:  
7

FIRMA:

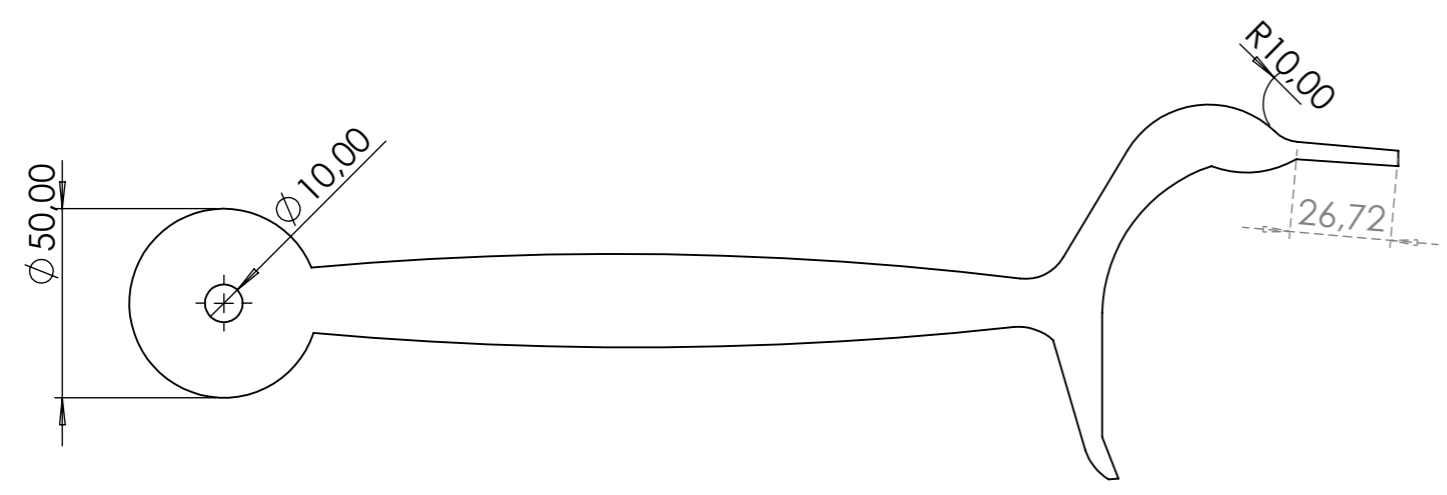
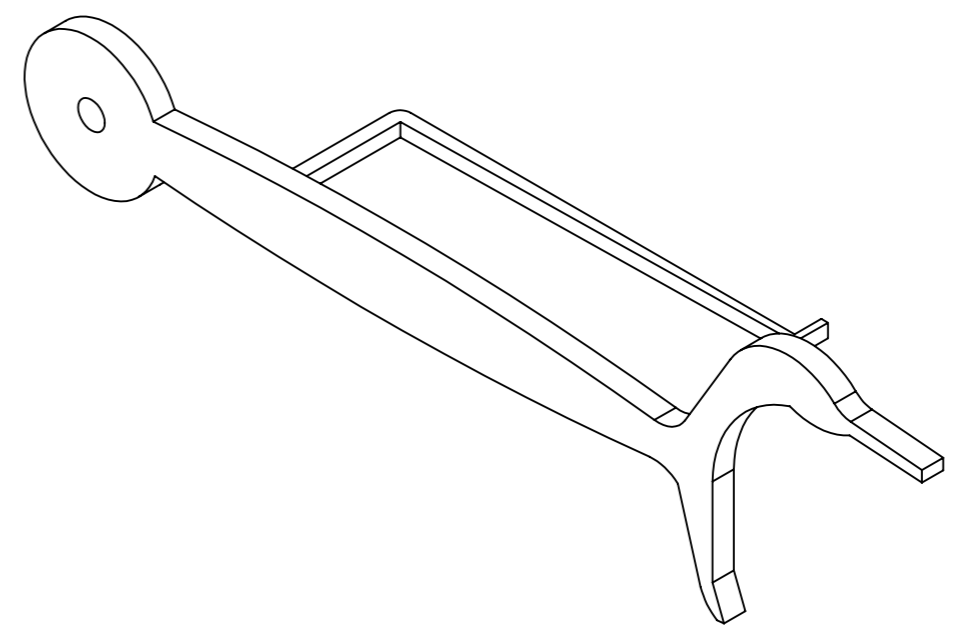
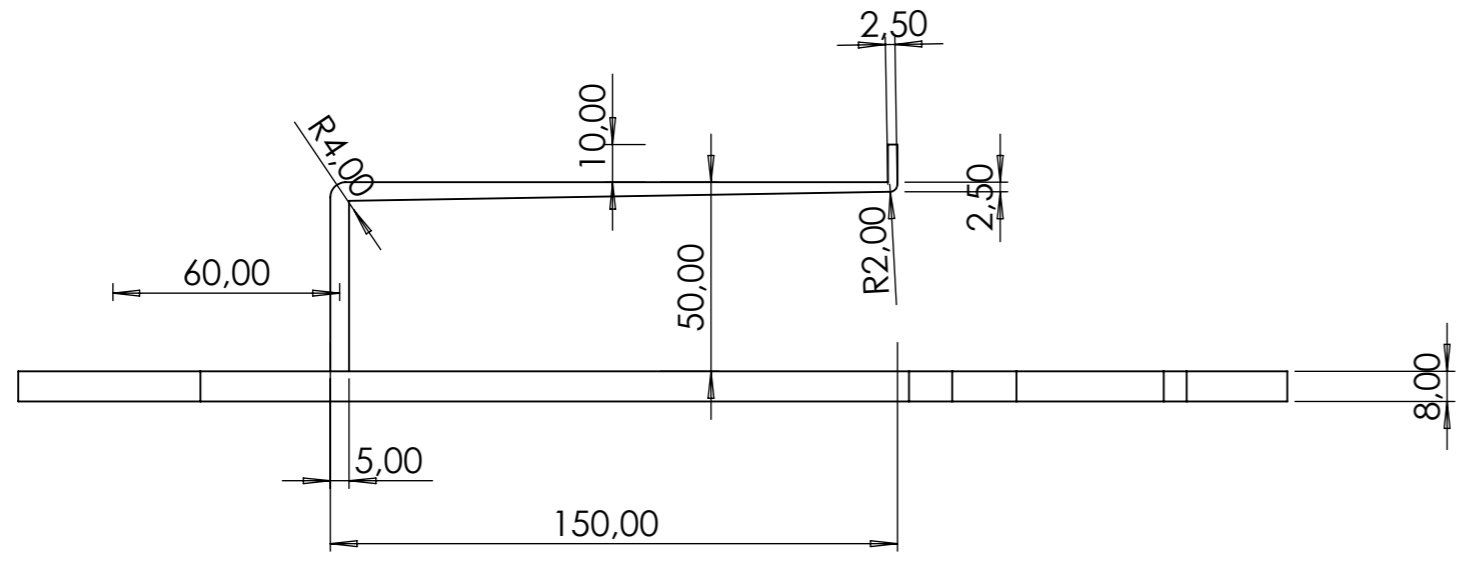
DIBUJADO POR:  
NAIARA ALGAR SERRANO





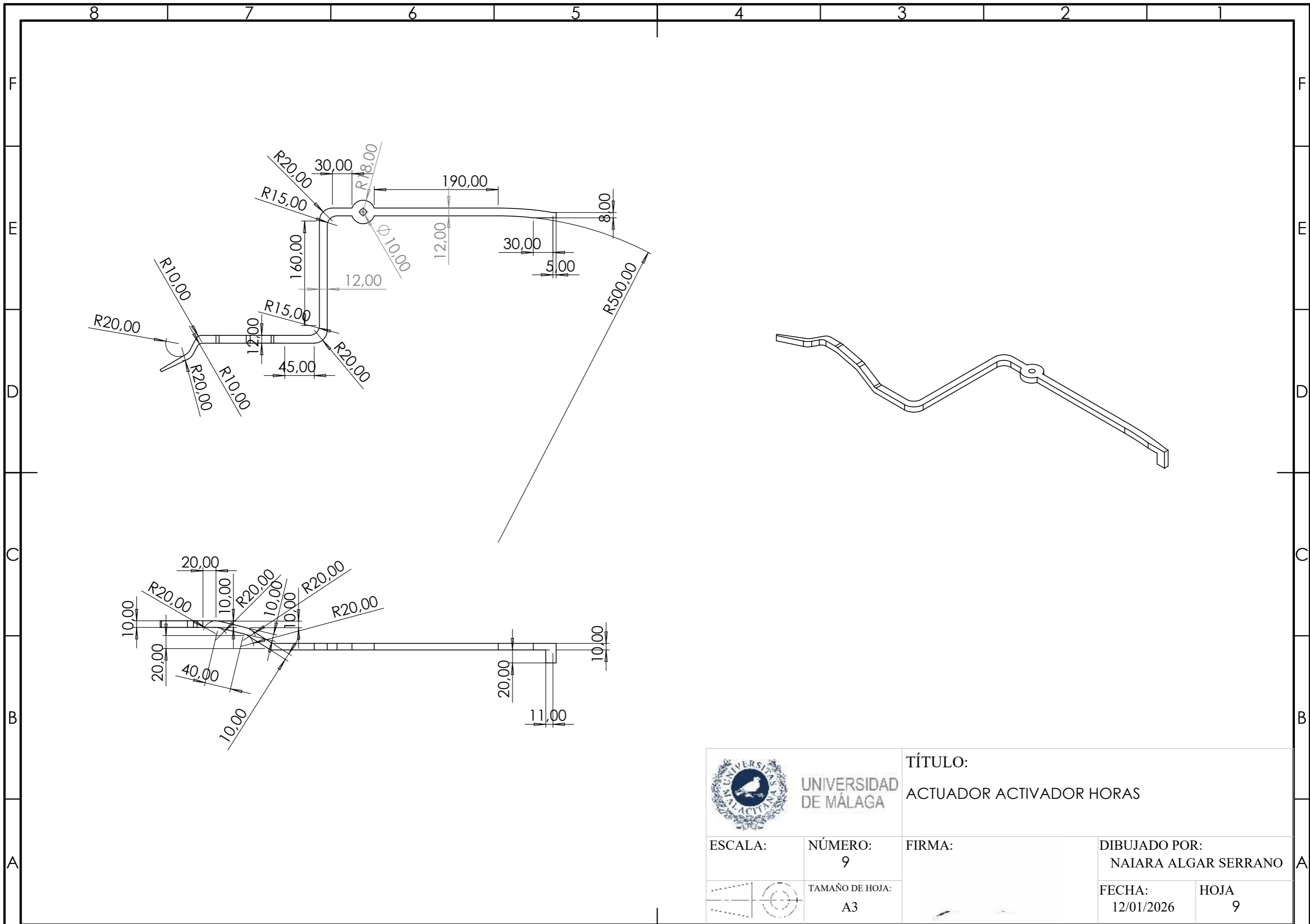
TAMAÑO DE HOJA:  
A3

FECHA:  
12/01/2026

HOJA:  
7

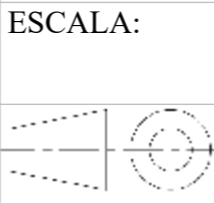


 <b>UNIVERSIDAD DE MÁLAGA</b>		<b>TÍTULO:</b> ACTUADOR BLOQUEO CUARTOS	
<b>ESCALA:</b>	<b>NÚMERO:</b> 8	<b>FIRMA:</b>	<b>DIBUJADO POR:</b> NAIARA ALGAR SERRANO
		<b>TAMAÑO DE HOJA:</b> A3	<b>FECHA:</b> 12/01/2026
			<b>HOJA</b> 8



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

TÍTULO:  
ACTUADOR ACTIVADOR HORAS



ESCALA:  
NÚMERO:  
TAMAÑO DE HOJA:

FIRMA:

DIBUJADO POR:  
FECHA:  
HOJA:

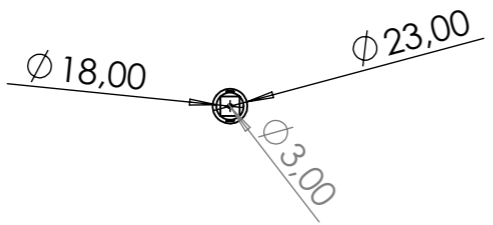
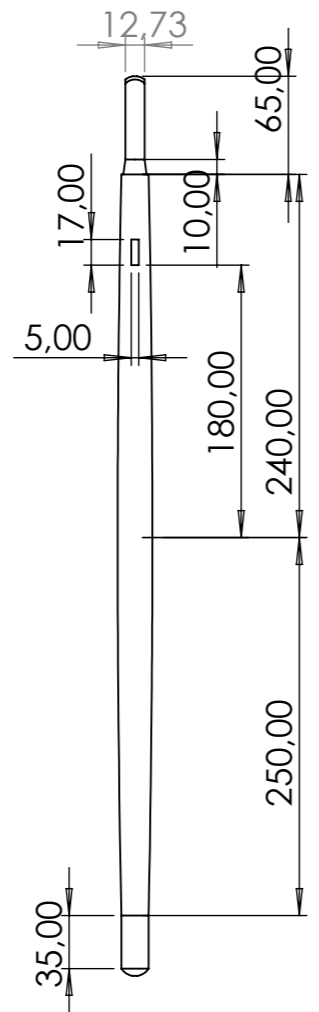
9



A3

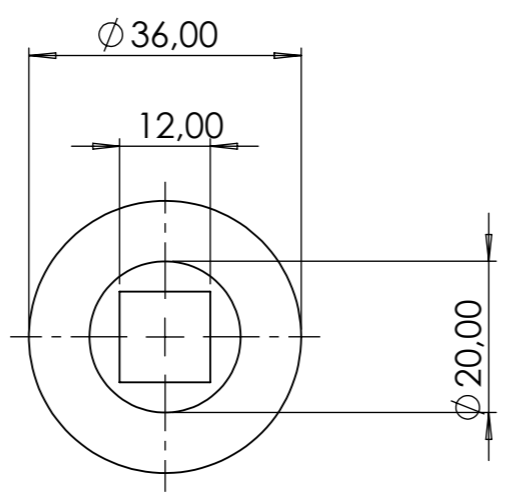
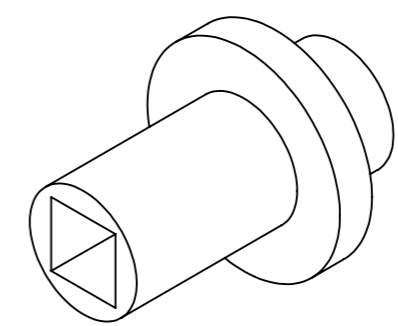
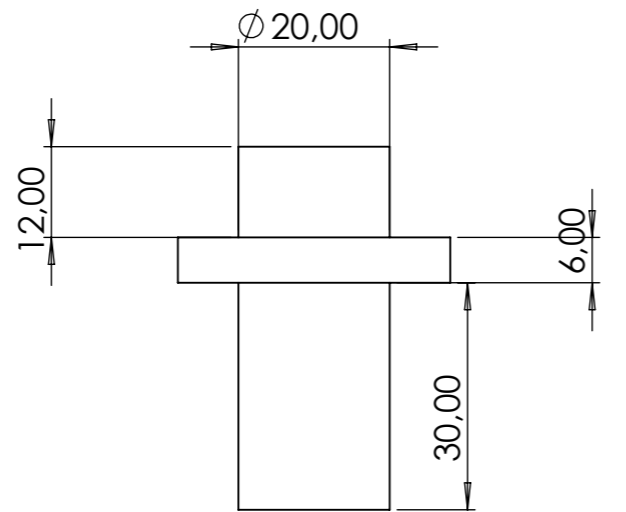
NAIARA ALGAR SERRANO




12/01/2026

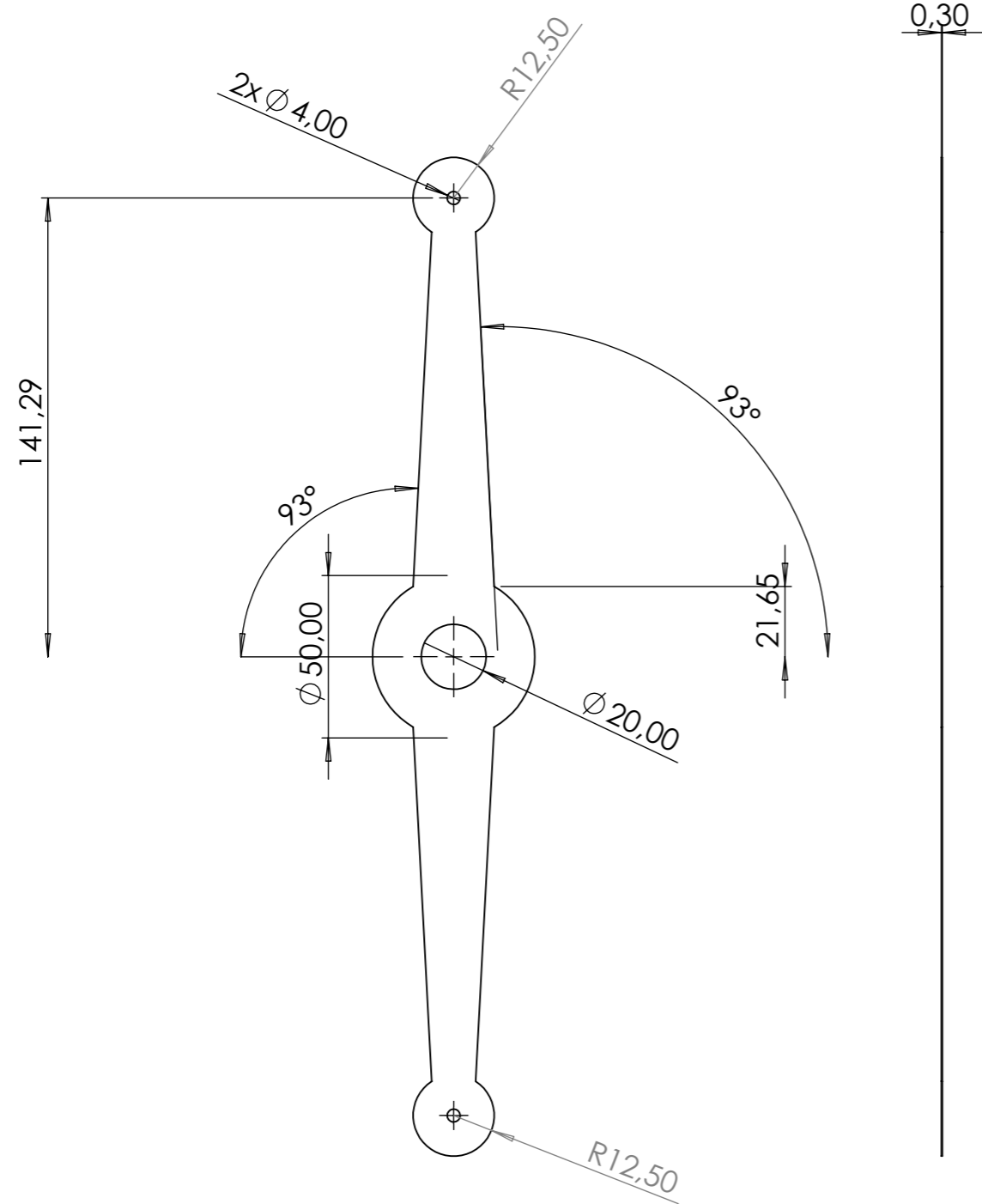
9





 <b>UNIVERSIDAD DE MÁLAGA</b>		<b>TÍTULO:</b> EJE VENTEROLES	
<b>ESCALA:</b> 1:5	<b>NÚMERO:</b> 10	<b>FIR</b>	<b>DIBUJADO POR:</b> NAIARA ALGAR SERRANO
 <b>TAMAÑO DE HOJA:</b> A3		<b>FECHA:</b> 12/01/2026	<b>HOJA</b> 10

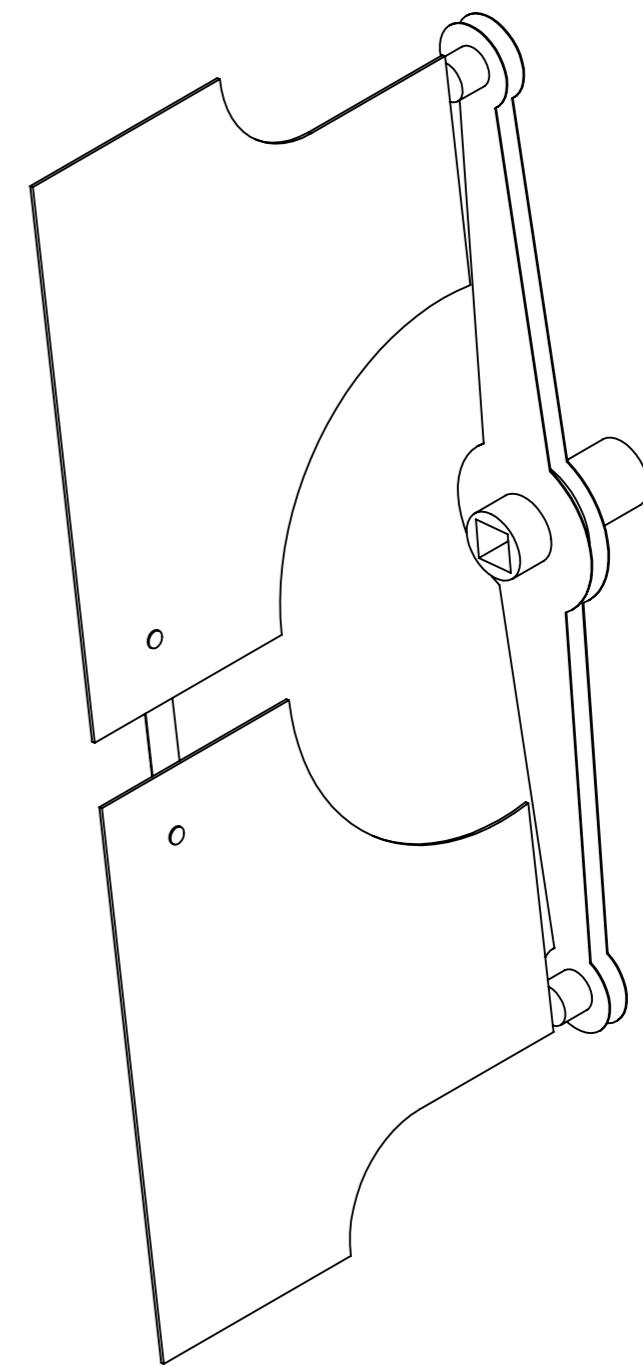
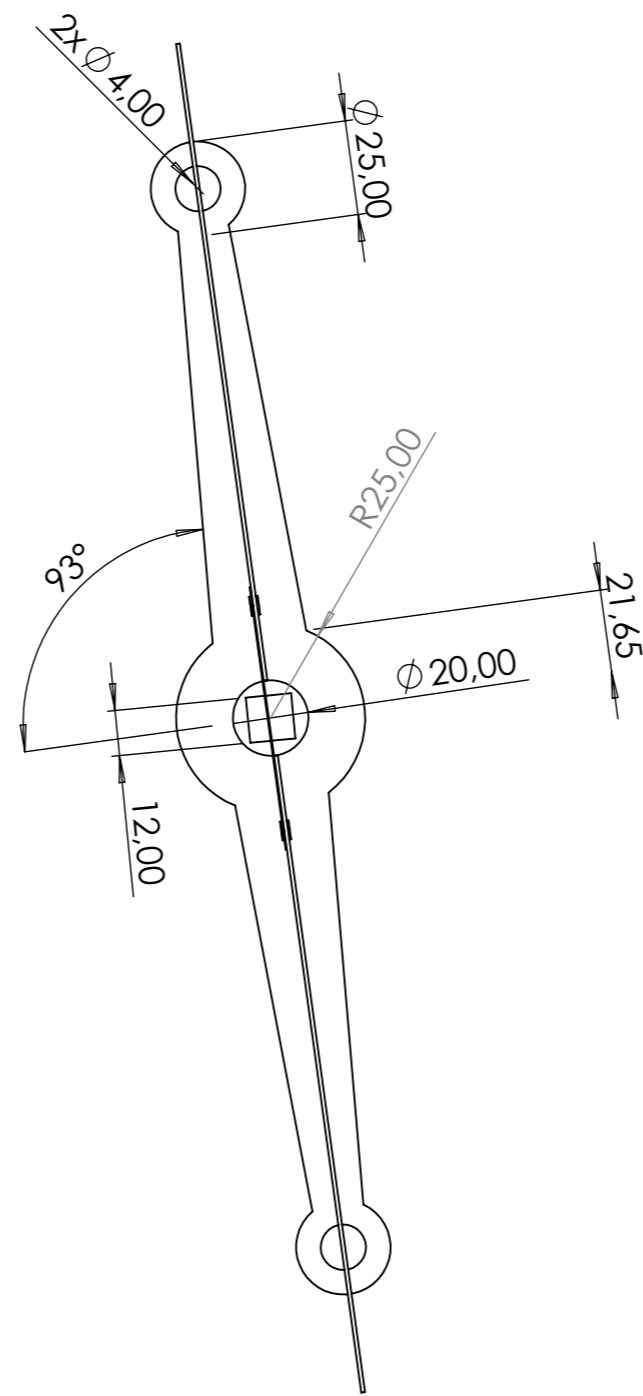
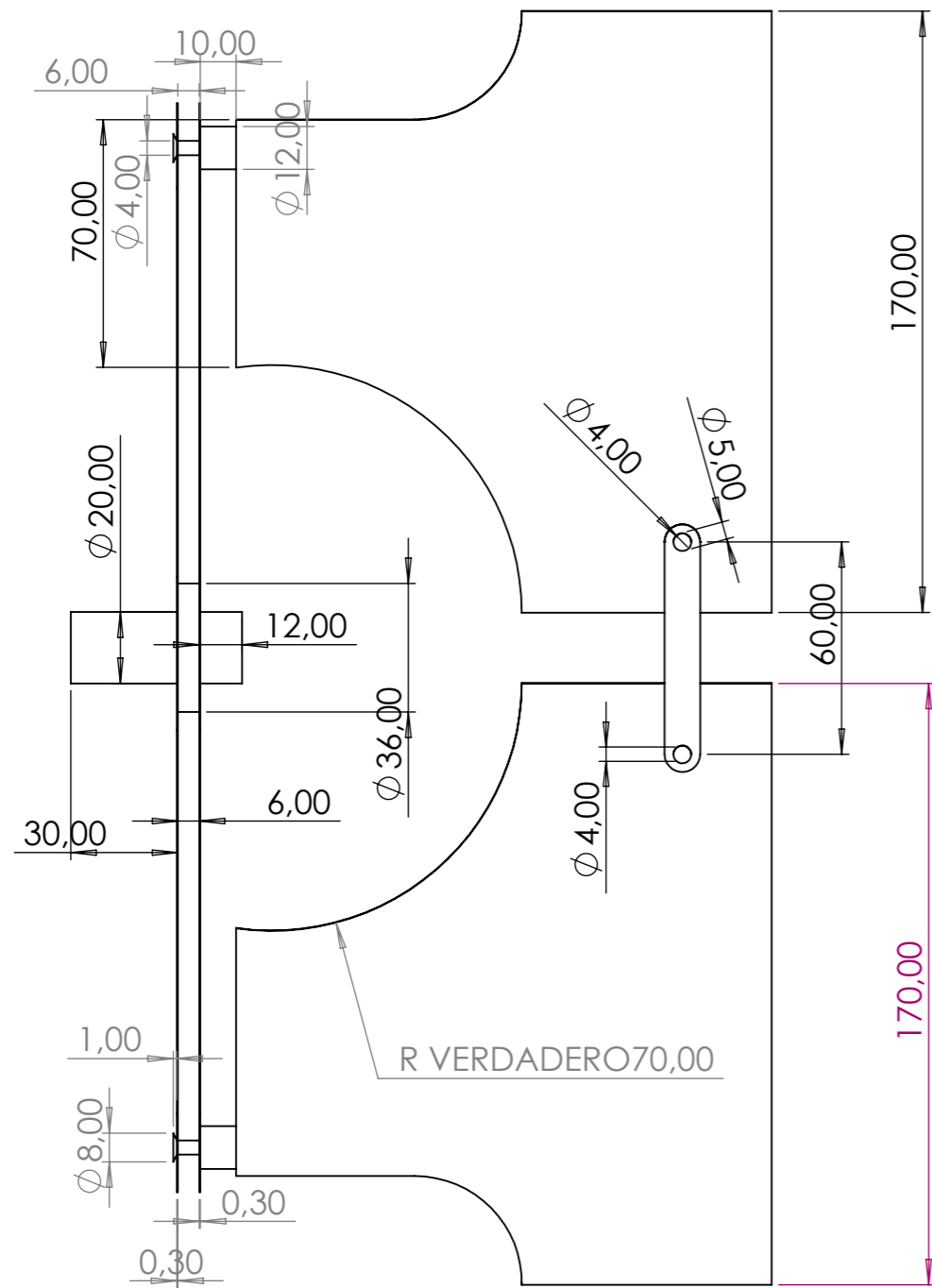


 <b>UNIVERSIDAD DE MÁLAGA</b>	<b>TÍTULO:</b> ENGANCHE VENTEROL		
	<b>ESCALA:</b> 1:1	<b>NÚMERO:</b> 11	<b>FIR</b>
 	<b>TAMAÑO DE HOJA:</b> A3	<b>FECHA:</b> 12/01/2026	<b>HOJA</b> 11



ESCALA 1:3

 <b>UNIVERSIDAD DE MÁLAGA</b>		<b>TÍTULO:</b> SOPORTE VENTEROL	
<b>ESCALA:</b> 1:2	<b>NÚMERO:</b> 12	<b>FIRMA:</b>	<b>DIBUJADO POR:</b> NAIARA ALGAR SERRANO
 <b>TAMAÑO DE HOJA:</b> A3		<b>FECHA:</b> 12/01/2026	<b>HOJA:</b> 12



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA

TÍTULO:  
VENTEROL

ESCALA:  
1:5

NÚMERO:  
13

FIRMA:

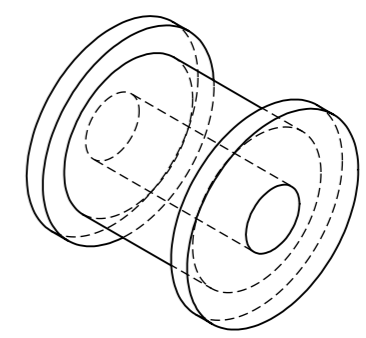
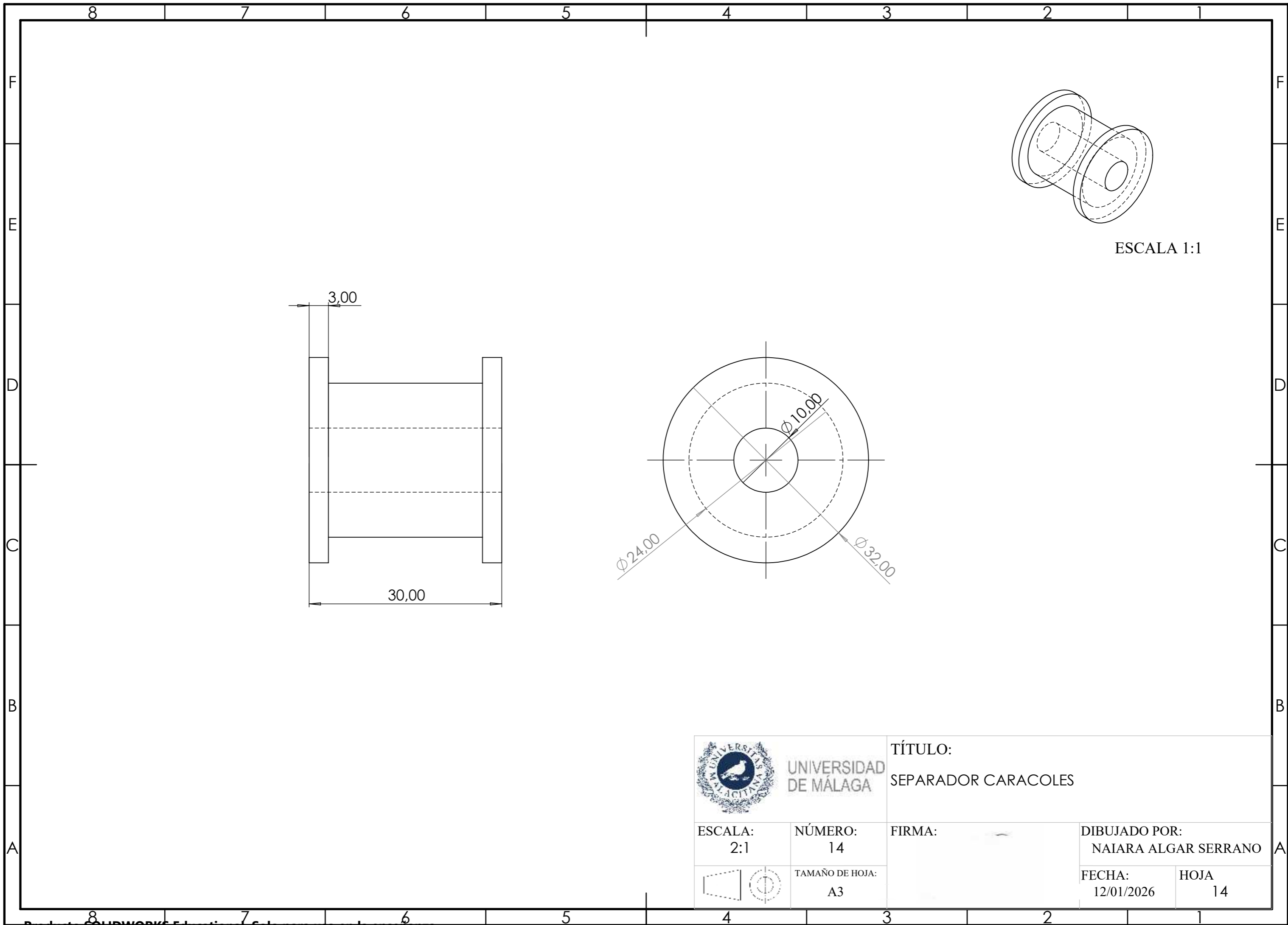
DIBUJADO POR:  
NAIARA ALGAR SERRANO



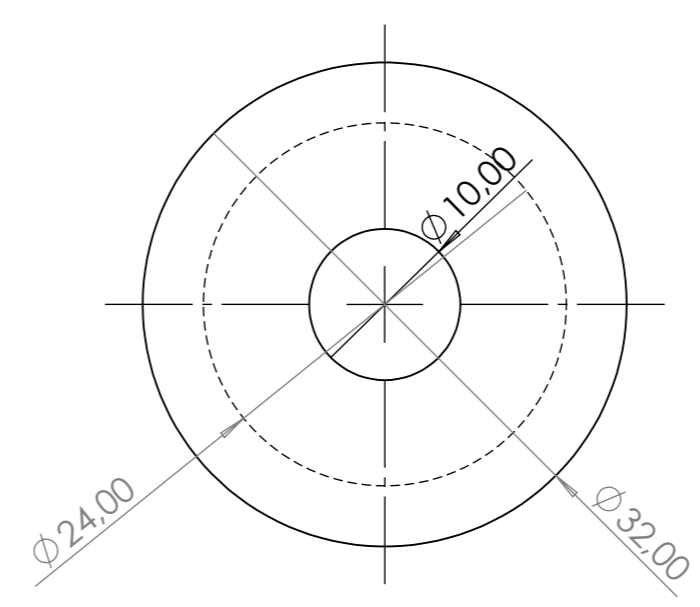
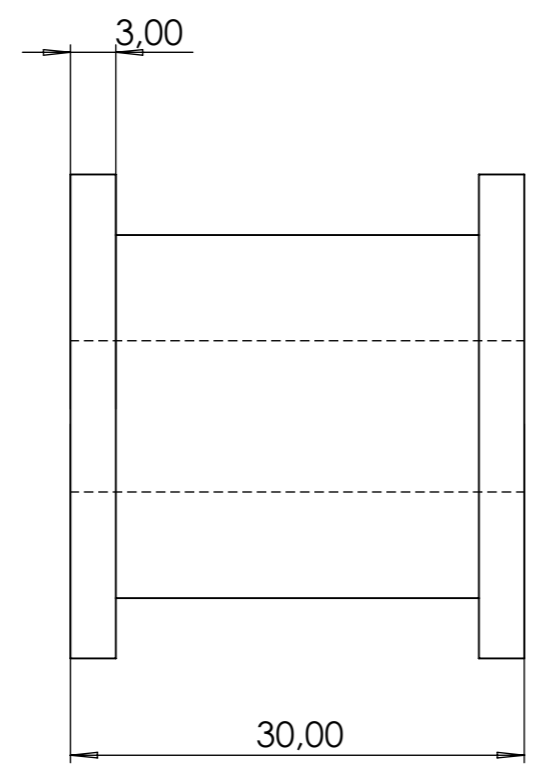
TAMAÑO DE HOJA:  
A3



FECHA:  
12/01/2026

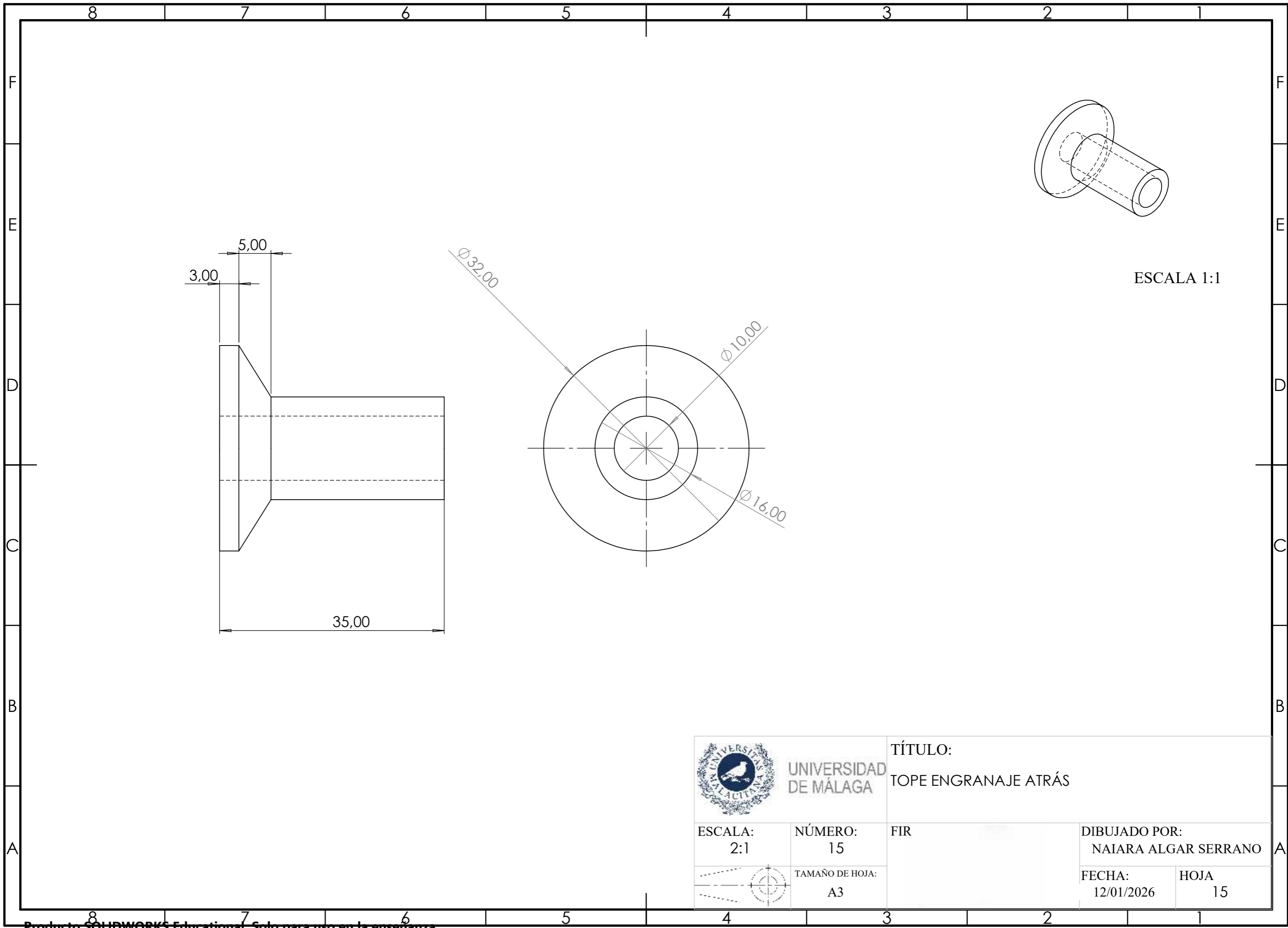
HOJA  
13




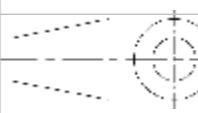
ESCALA 1:1

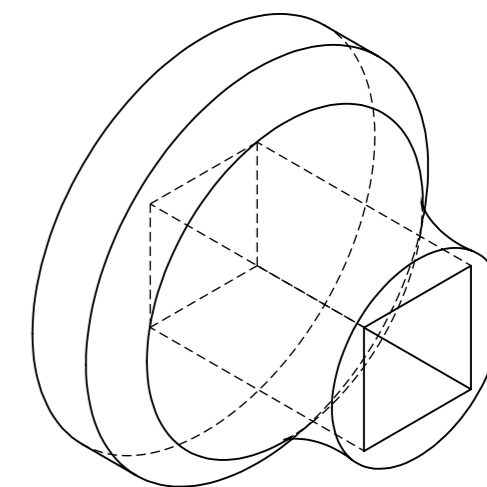
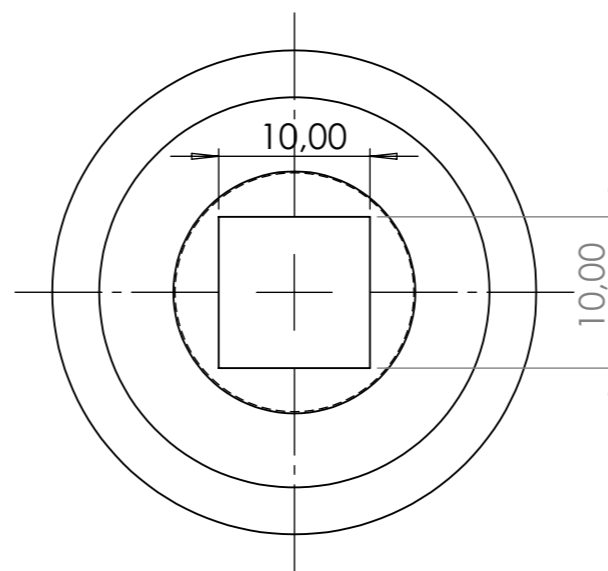
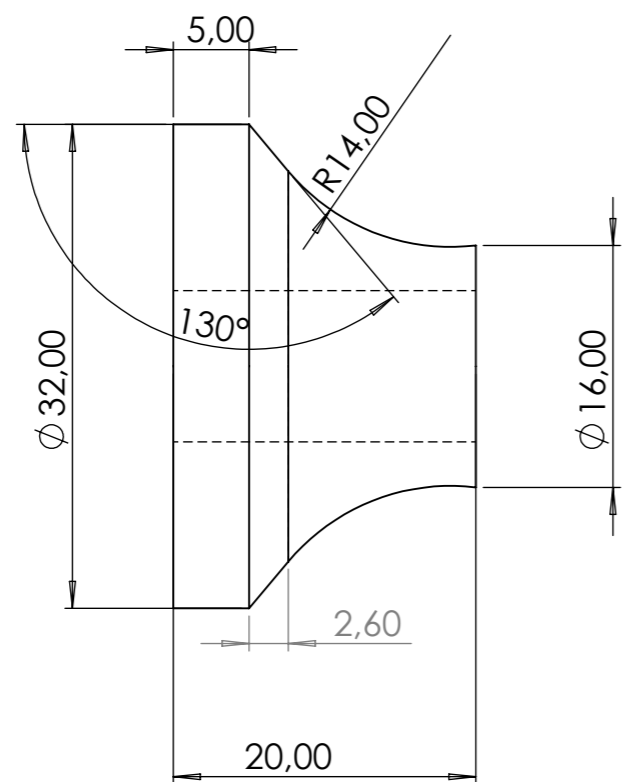


 <b>UNIVERSIDAD DE MÁLAGA</b>		<b>TÍTULO:</b> SEPARADOR CARACOLES	
<b>ESCALA:</b> 2:1	<b>NÚMERO:</b> 14	<b>FIRMA:</b>	<b>DIBUJADO POR:</b> NAIARA ALGAR SERRANO
 <b>TAMAÑO DE HOJA:</b> A3		<b>FECHA:</b> 12/01/2026	<b>HOJA:</b> 14

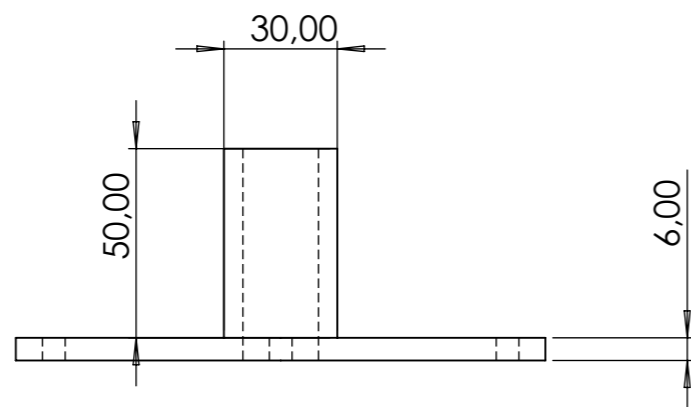
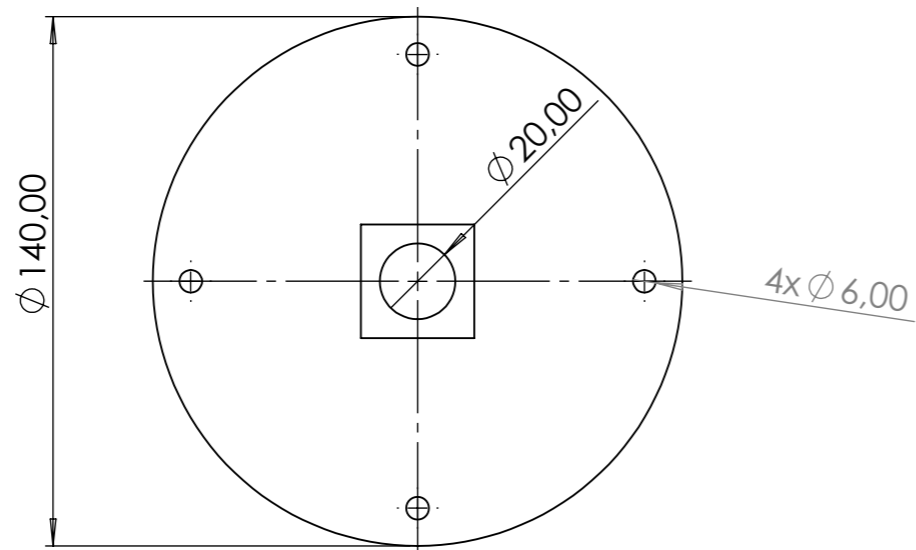


ESCALA 1:1

 <b>UNIVERSIDAD DE MÁLAGA</b>		<b>TÍTULO:</b> TOPE ENGRANAJE ATRÁS	
<b>ESCALA:</b> 2:1	<b>NÚMERO:</b> 15	<b>FIR</b>	<b>DIBUJADO POR:</b> NAIARA ALGAR SERRANO
 <b>TAMAÑO DE HOJA:</b> A3		<b>FECHA:</b> 12/01/2026	<b>HOJA</b> 15



 UNIVERSIDAD DE MÁLAGA		TÍTULO: TOPE ENGRANAJE 1 ATRÁS	
ESCALA: 2:1	NÚMERO: 16	FIR	DIBUJADO POR: NAIARA ALGAR SERRANO
 TAMAÑO DE HOJA: A3		FECHA: 12/01/2026	HOJA: 16



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA

TÍTULO:  
TOPE RUEDA IMPERIAL DELANTE

ESCALA:  
1:2

NÚMERO:  
17

FIRMA:

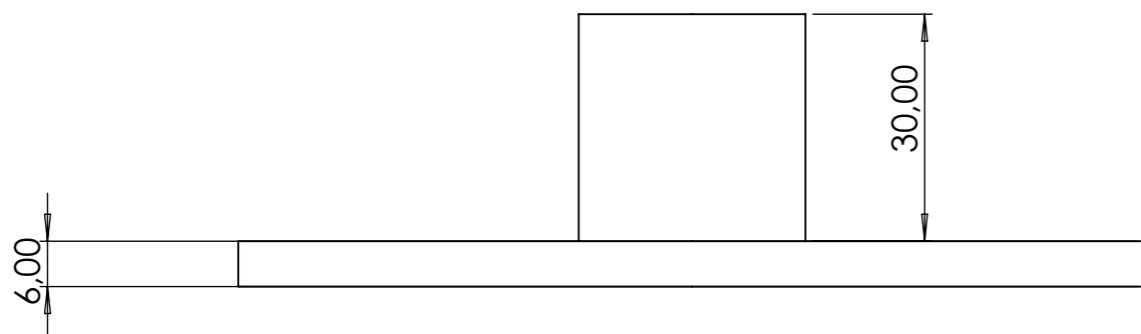
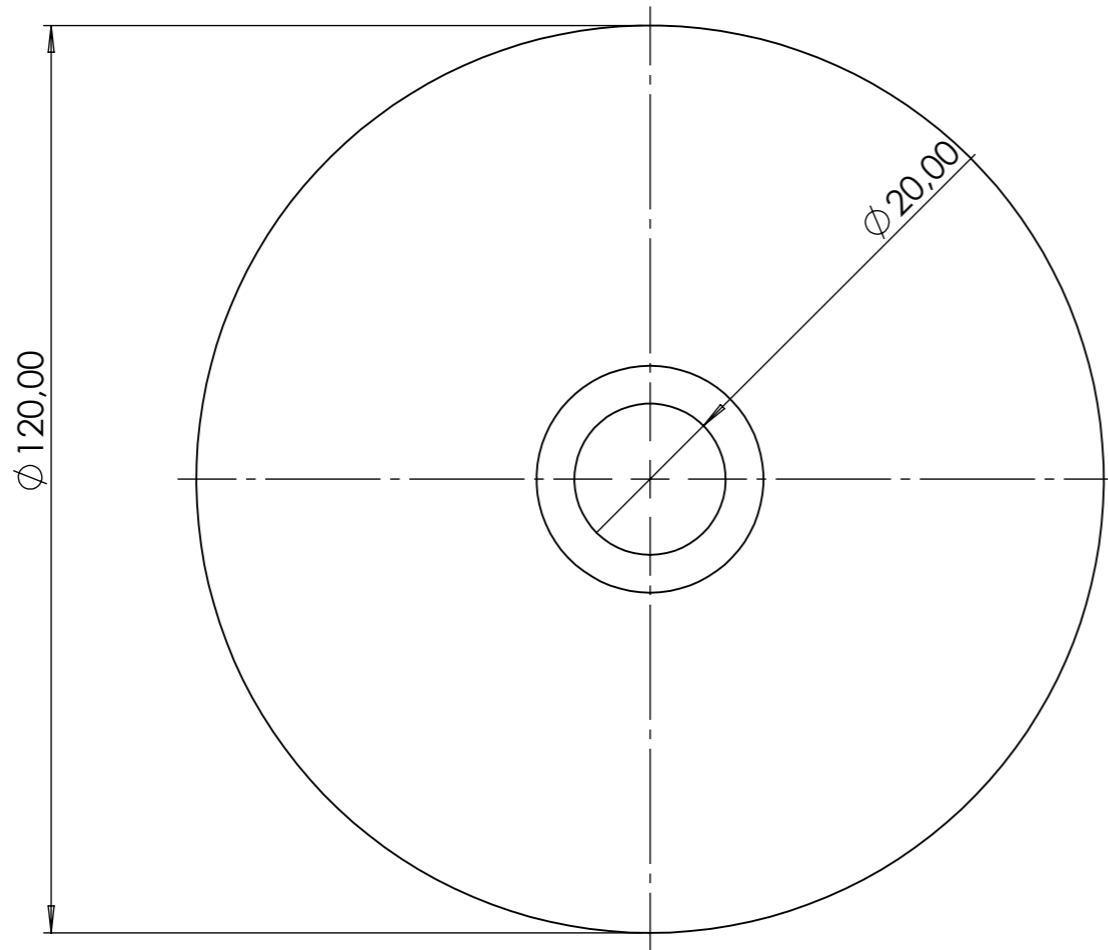
DIBUJADO POR:  
NAIARA ALGAR SERRANO





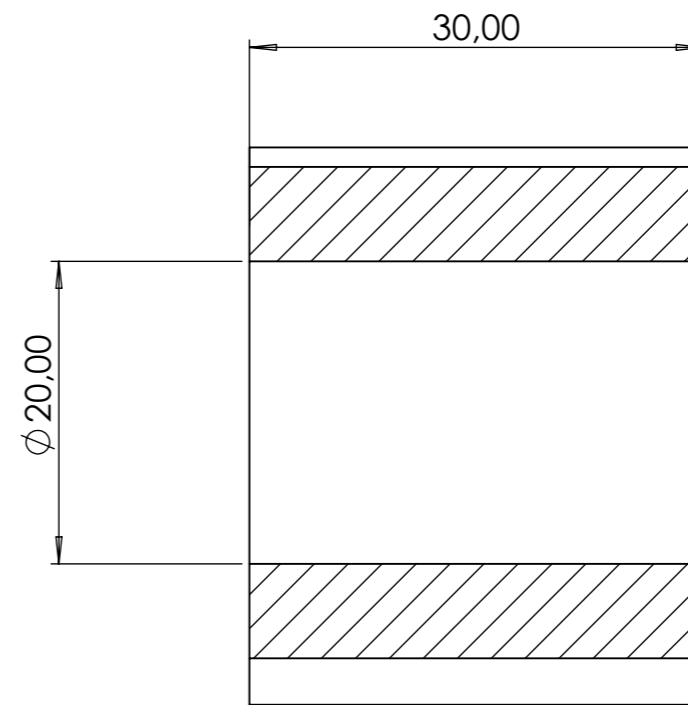
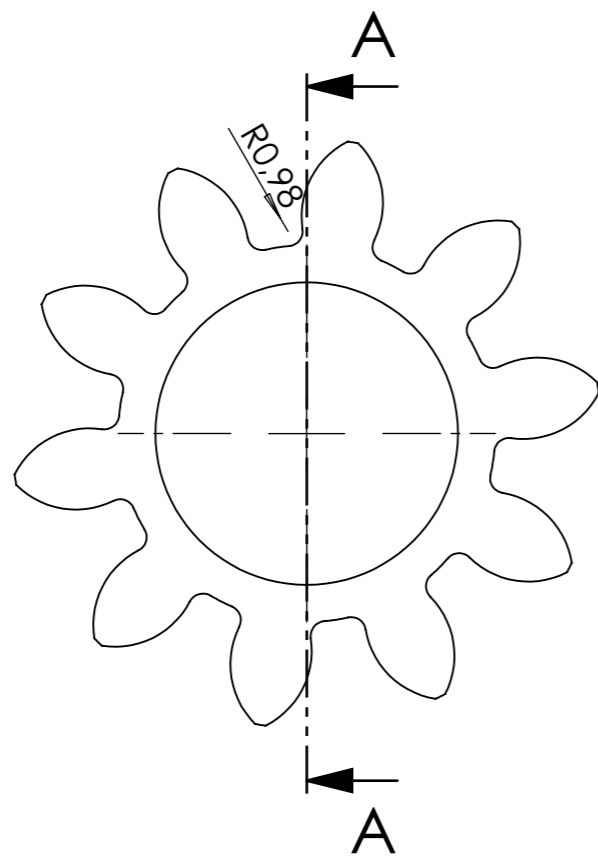
TAMAÑO DE HOJA:  
A3

FECHA:  
12/01/2026



HOJA  
17

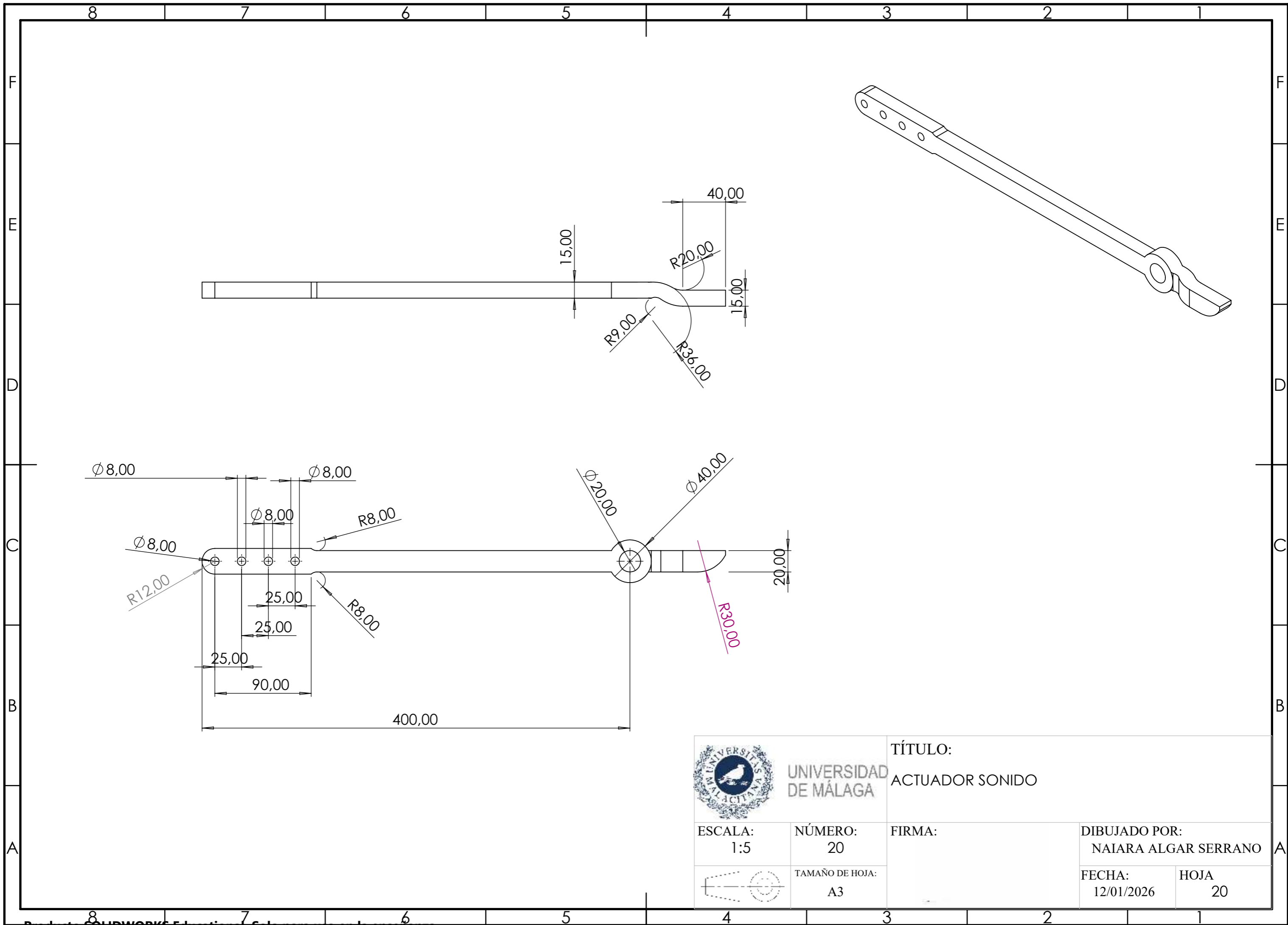


 <b>UNIVERSIDAD DE MÁLAGA</b>		<b>TÍTULO:</b> TOPE RUEDA IMPERIAL ATRÁS		
<b>ESCALA:</b> 1:1	<b>NÚMERO:</b> 18	<b>FIRMA:</b>	<b>DIBUJADO POR:</b> NAIARA ALGAR SERRANO	
		<b>TAMAÑO DE HOJA:</b> A3	<b>FECHA:</b> 12/01/2026	<b>HOJA:</b> 18



SECCIÓN A-A

 UNIVERSIDAD DE MÁLAGA		TÍTULO: ENGRANAJE PEQUEÑO	
ESCALA: 2:1	NÚMERO: 19	FIRM.*	DIBUJADO POR: NAIARA ALGAR SERRANO
		TAMAÑO DE HOJA: A3	FECHA: 12/01/2026
			HOJA 19



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

TÍTULO:  
ACTUADOR SONIDO

ESCALA:  
1:5

NÚMERO:  
20

FIRMA:

DIBUJADO POR:  
NAIARA ALGAR SERRANO

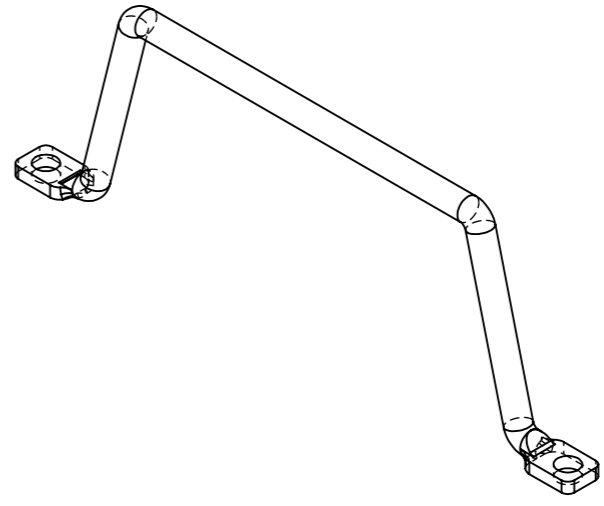
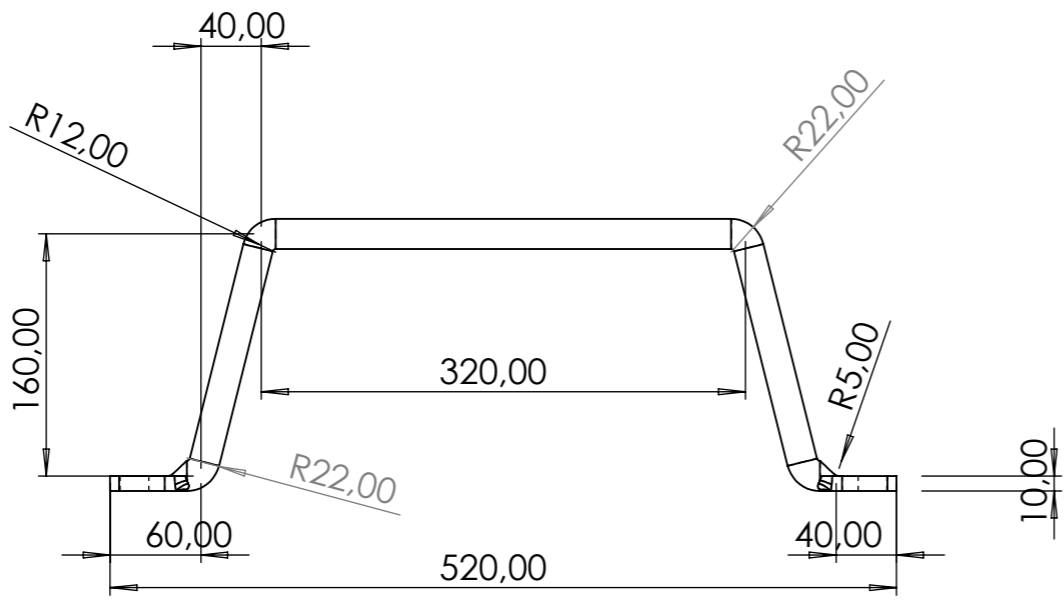
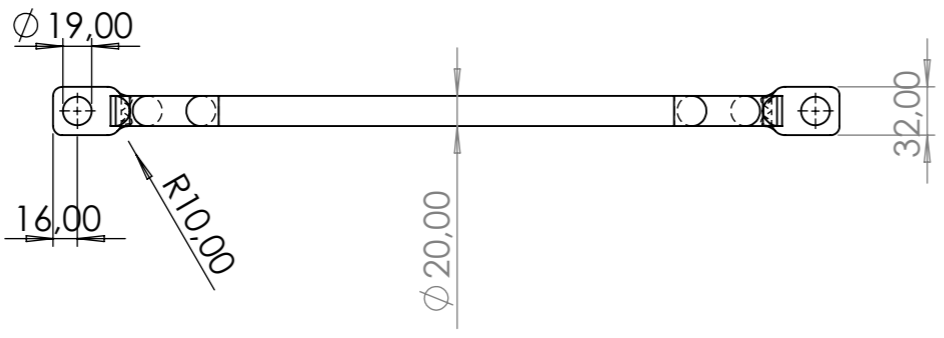


TAMAÑO DE HOJA:  
A3

FECHA:  
12/01/2026

HOJA  
20





UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

TÍTULO:  
ENGANCHE POLEA CUARTOS

ESCALA:  
1:5

NÚMERO:  
22

FIRMA:

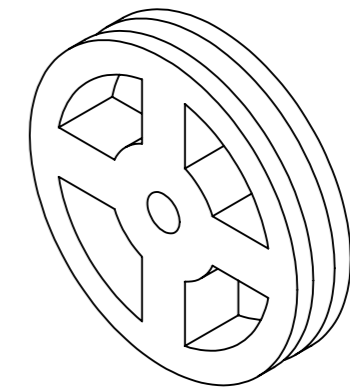
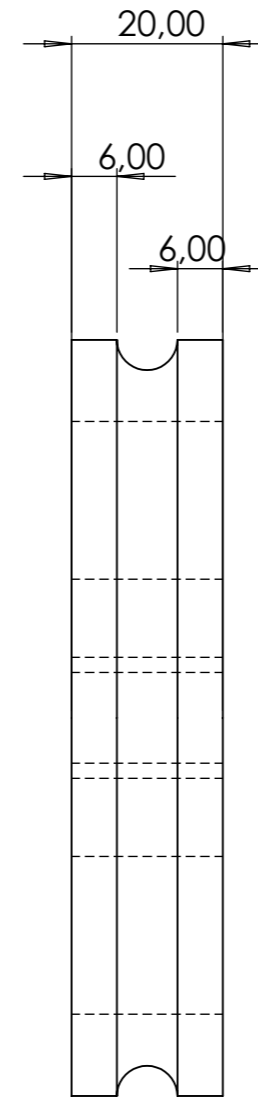
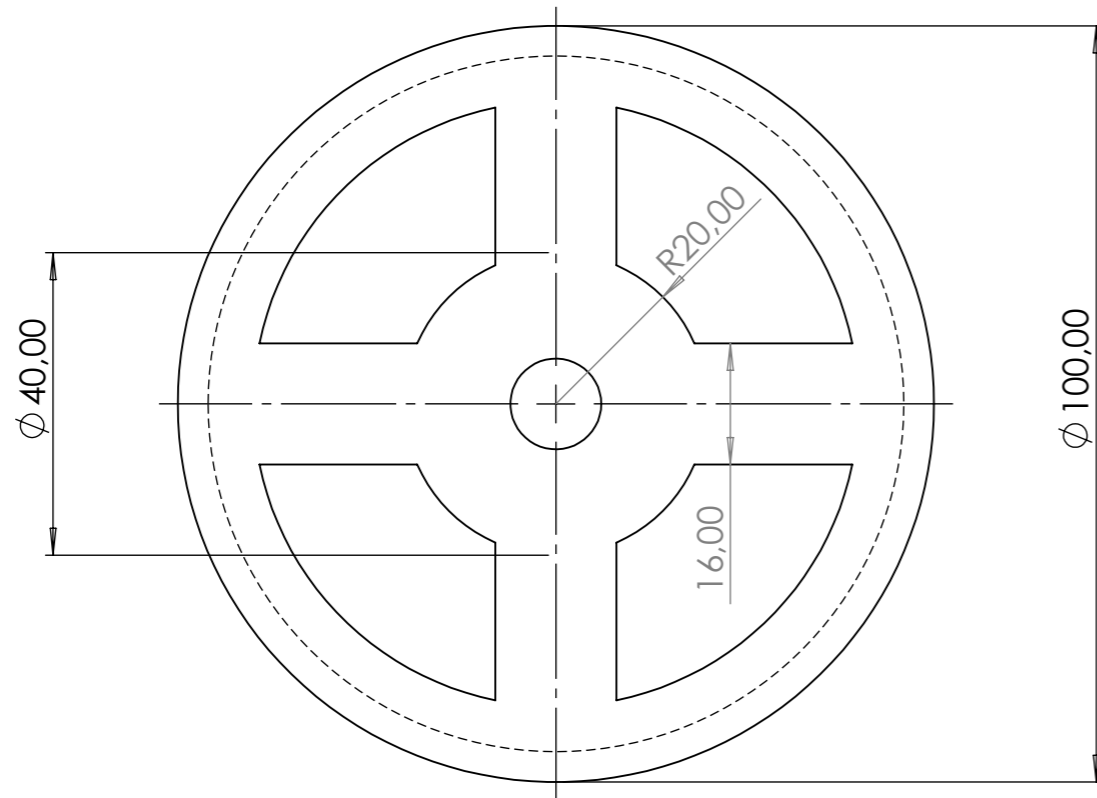
DIBUJADO POR:  
NAIARA ALGAR SERRANO



TAMAÑO DE HOJA:  
A3

FECHA:  
12/01/2026

HOJA  
22



ESCALA 1:2



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

TÍTULO:  
POLEA PEQUEÑA CUARTOS

ESCALA:  
1:1

NÚMERO:  
23

FIRMA:

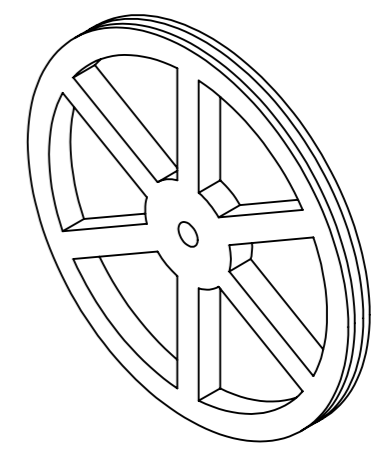
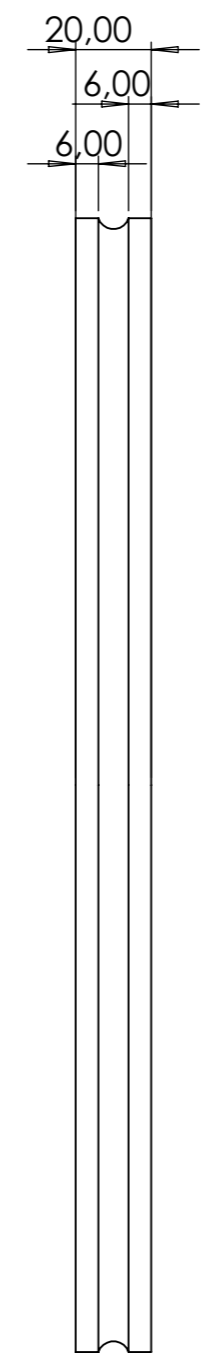
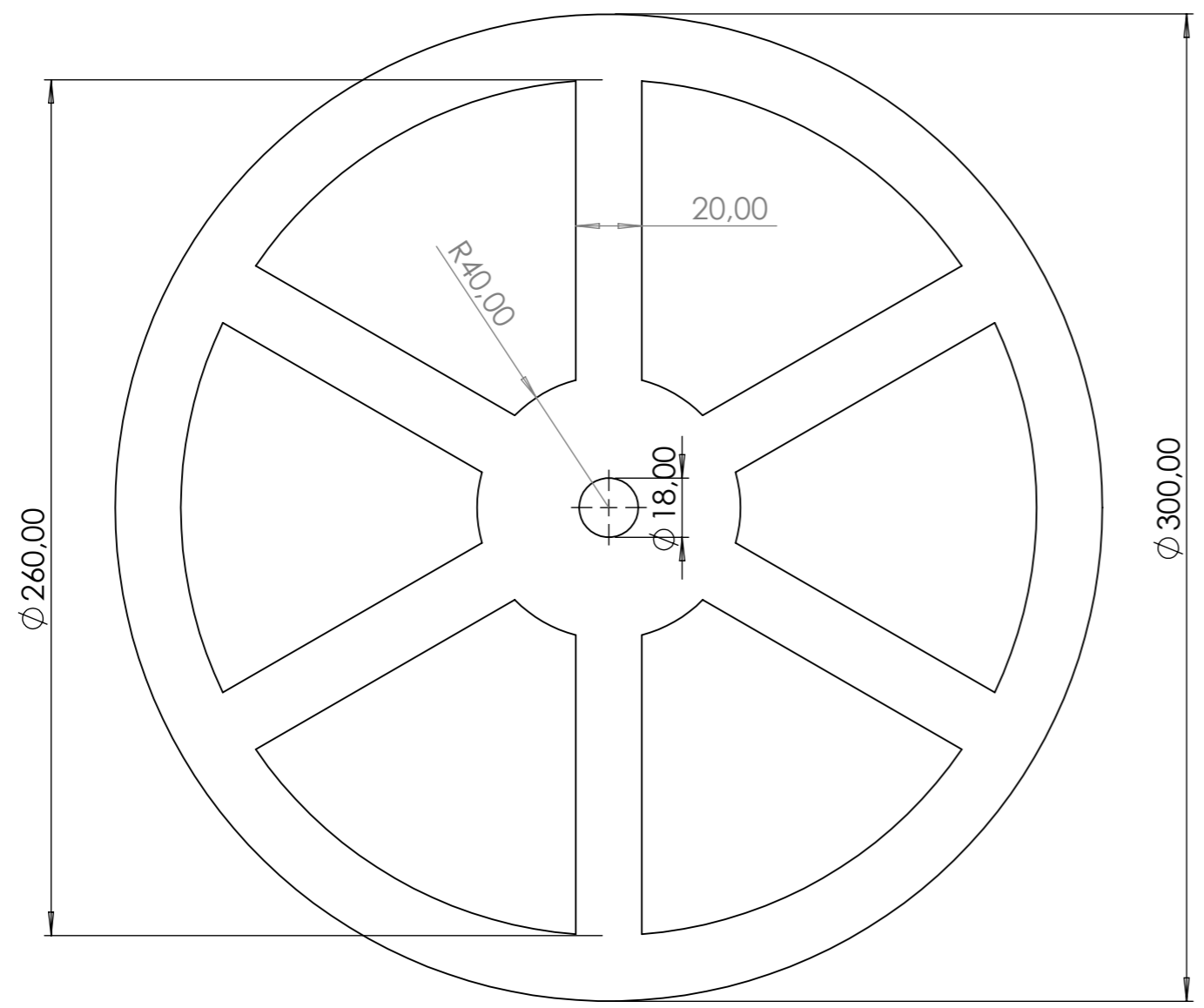
DIBUJADO POR:  
NAIARA ALGAR SERRANO





TAMAÑO DE HOJA:  
A3

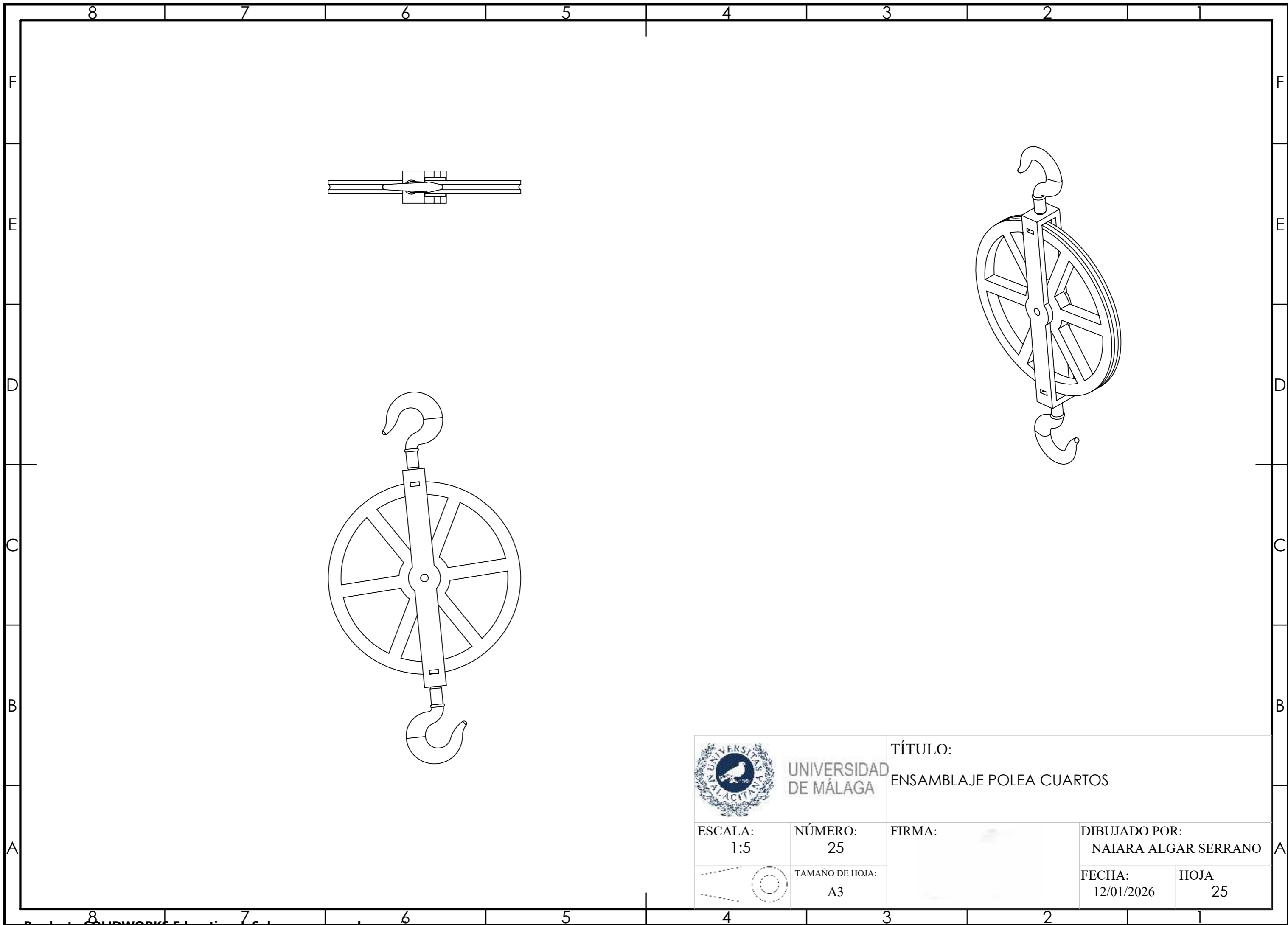
FECHA:  
12/01/2026

HOJA  
23



ESCALA 1:5

 UNIVERSIDAD DE MÁLAGA		TÍTULO: POLEA CUARTOS	
ESCALA: 1:2	NÚMERO: 24	FIRMA:	DIBUJADO POR: NAIARA ALGAR SERRANO
 TAMAÑO DE HOJA: A3		FECHA: 12/01/2026	HOJA: 24



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

TÍTULO:  
ENSAMBLAJE POLEA CUARTOS

ESCALA:  
1:5

NÚMERO:  
25

FIRMA:

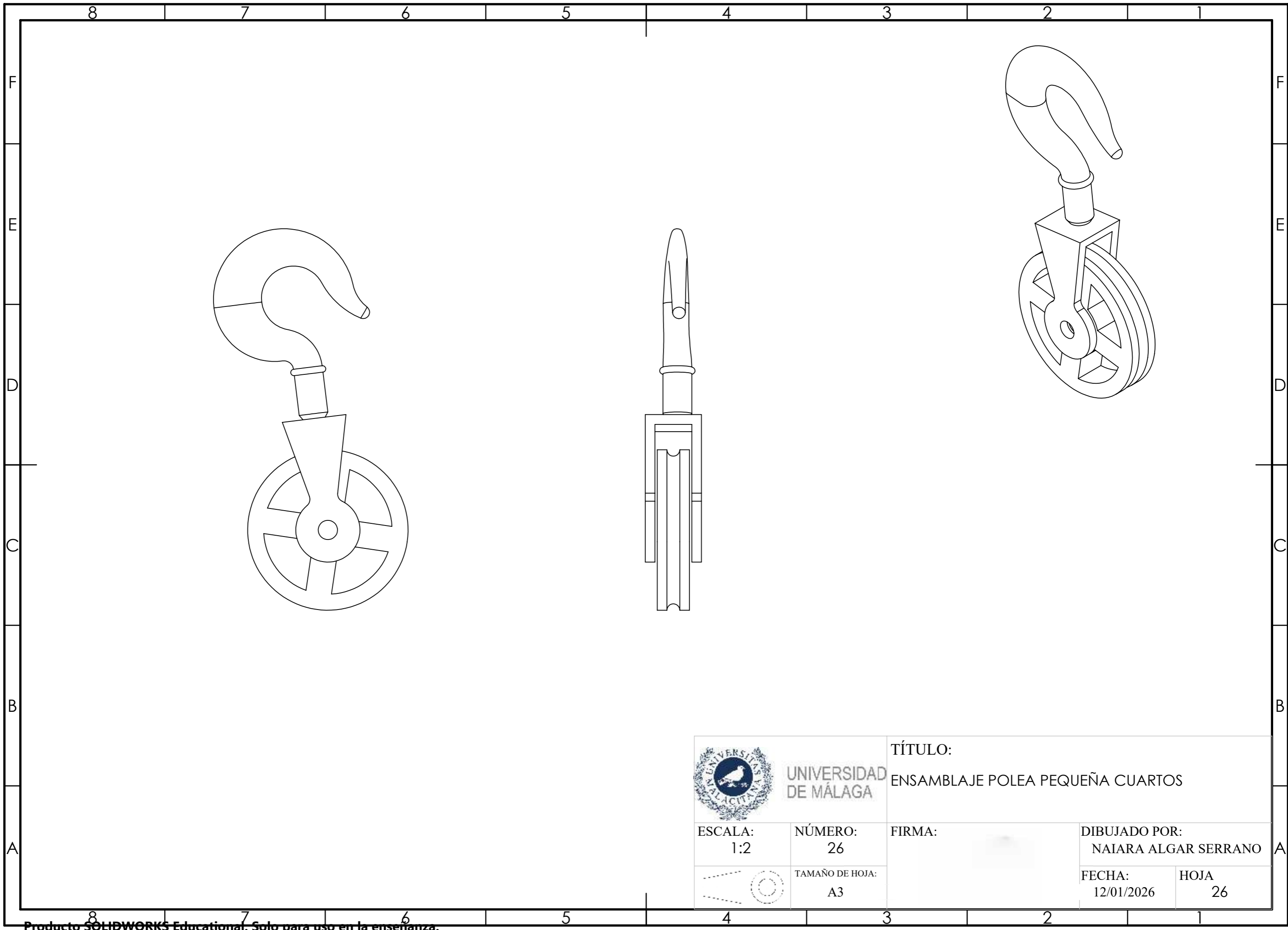
DIBUJADO POR:  
NAIARA ALGAR SERRANO



TAMAÑO DE HOJA:  
A3

FECHA:  
12/01/2026

HOJA  
25



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

TÍTULO:  
ENSAMBLAJE POLEA PEQUEÑA CUARTOS

ESCALA:  
1:2

NÚMERO:  
26

FIRMA:

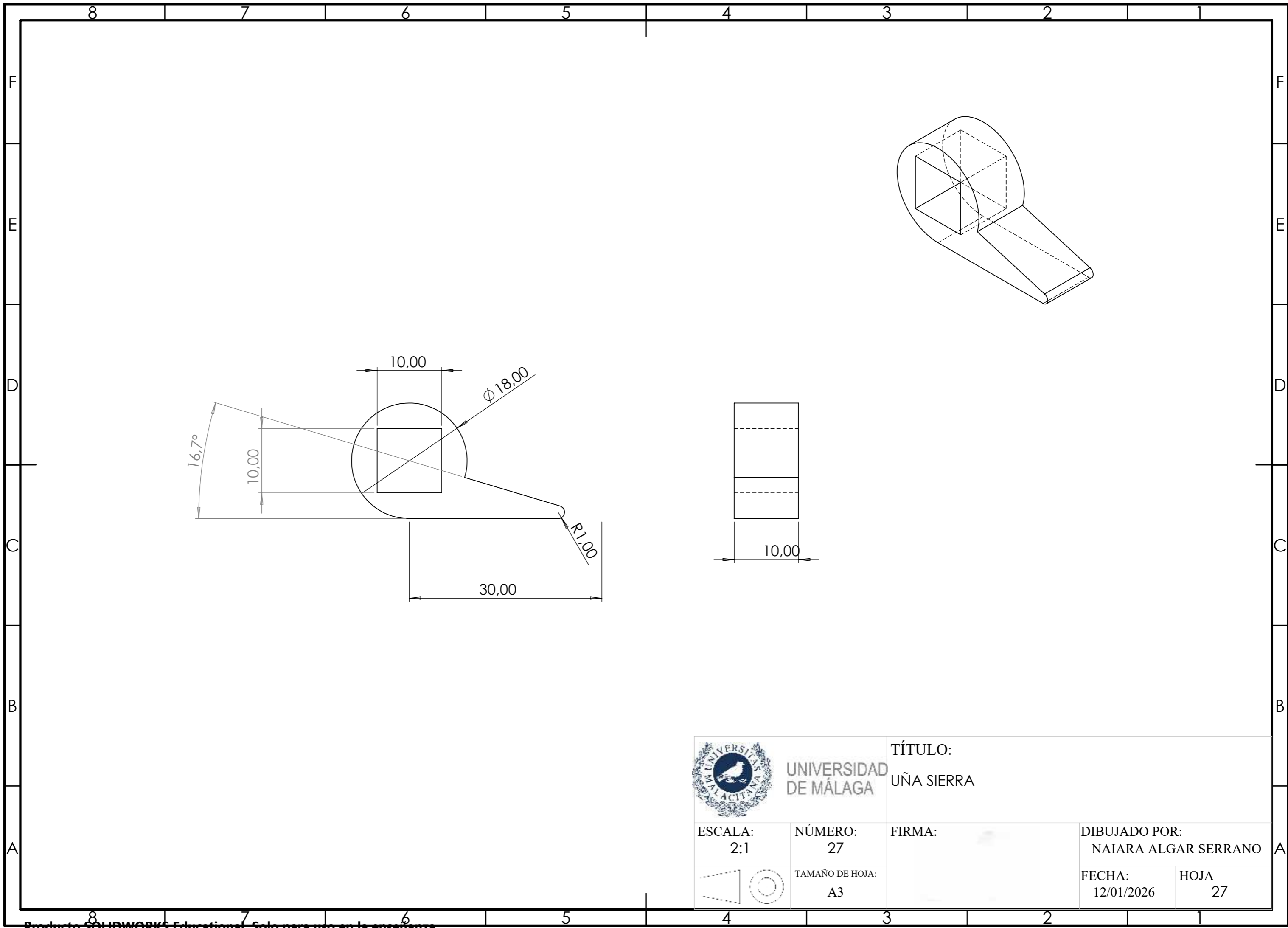
DIBUJADO POR:  
NAIARA ALGAR SERRANO



TAMAÑO DE HOJA:  
A3

FECHA:  
12/01/2026

HOJA  
26



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

TÍTULO:  
UÑA SIERRA

ESCALA:  
2:1

NÚMERO:  
27

FIRMA:

DIBUJADO POR:  
NAIARA ALGAR SERRANO

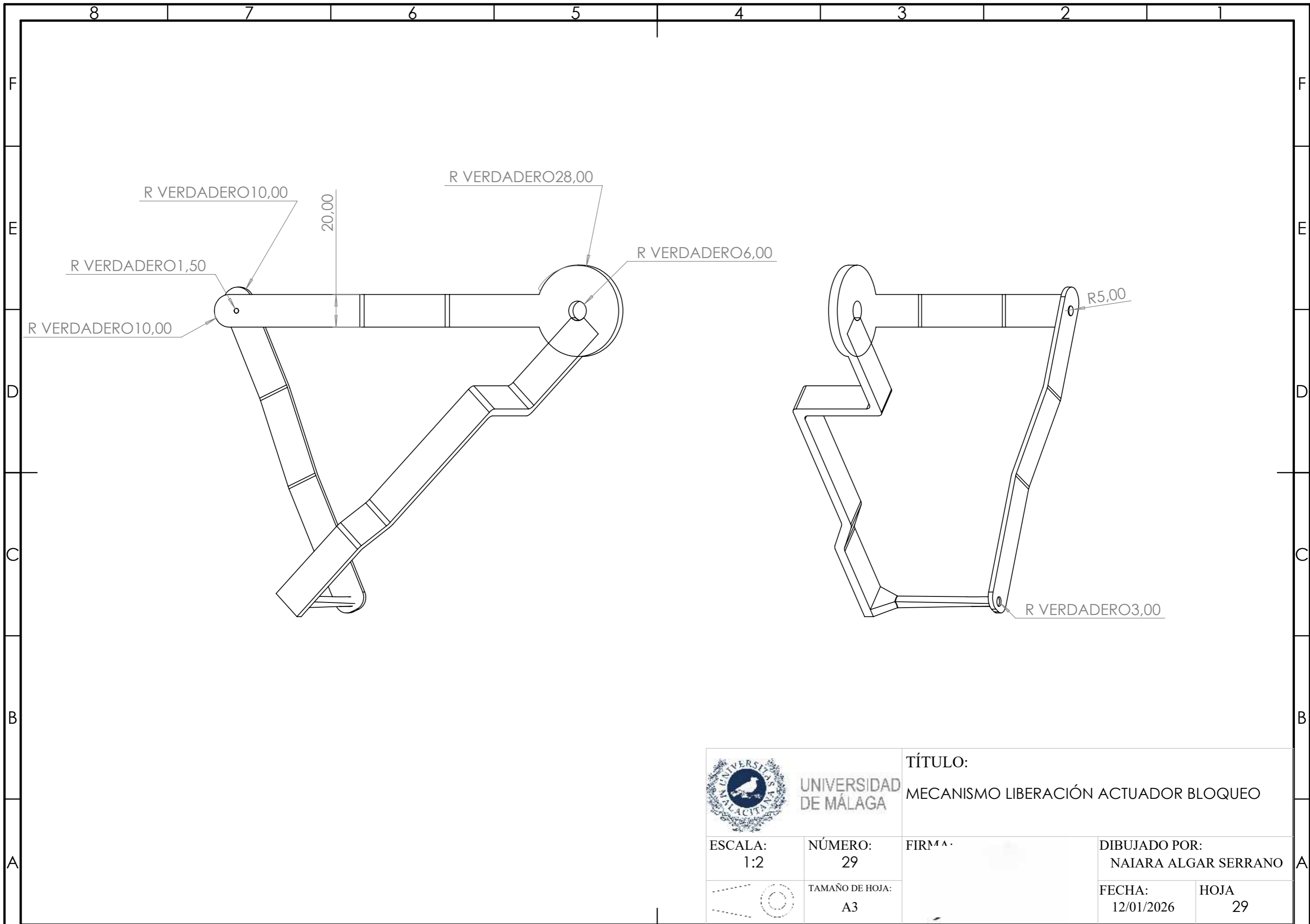


TAMAÑO DE HOJA:  
A3

FECHA:  
12/01/2026

HOJA  
27





UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

TÍTULO:  
MECANISMO LIBERACIÓN ACTUADOR BLOQUEO

ESCALA:  
1:2

NÚMERO:  
29

FIRMA:

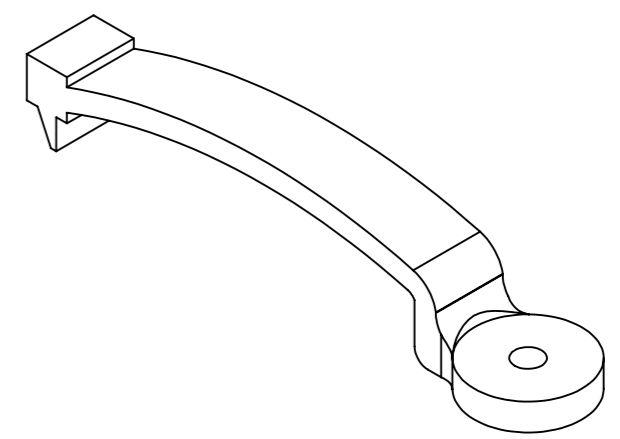
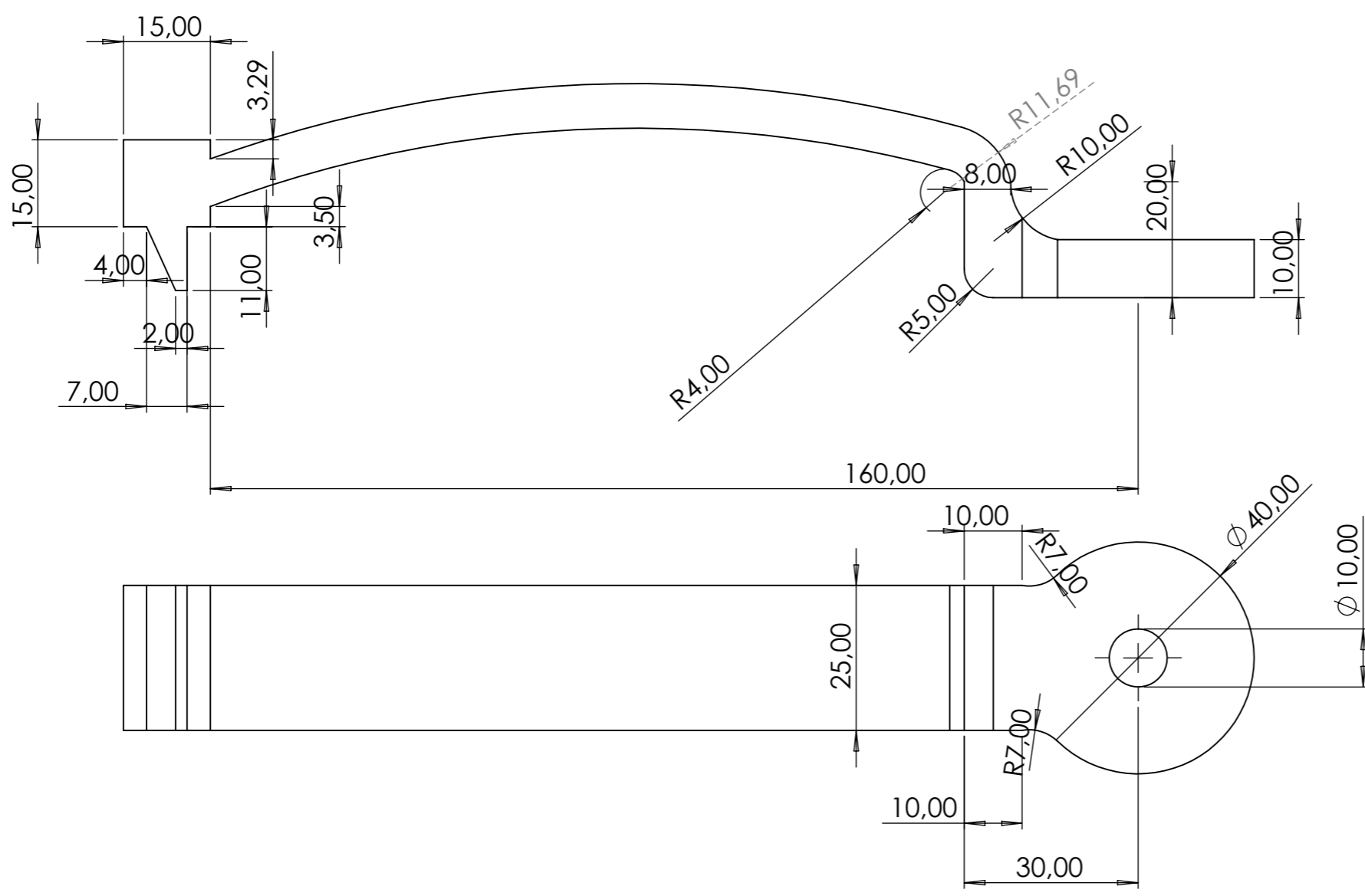
DIBUJADO POR:  
NAIARA ALGAR SERRANO





TAMAÑO DE HOJA:  
A3

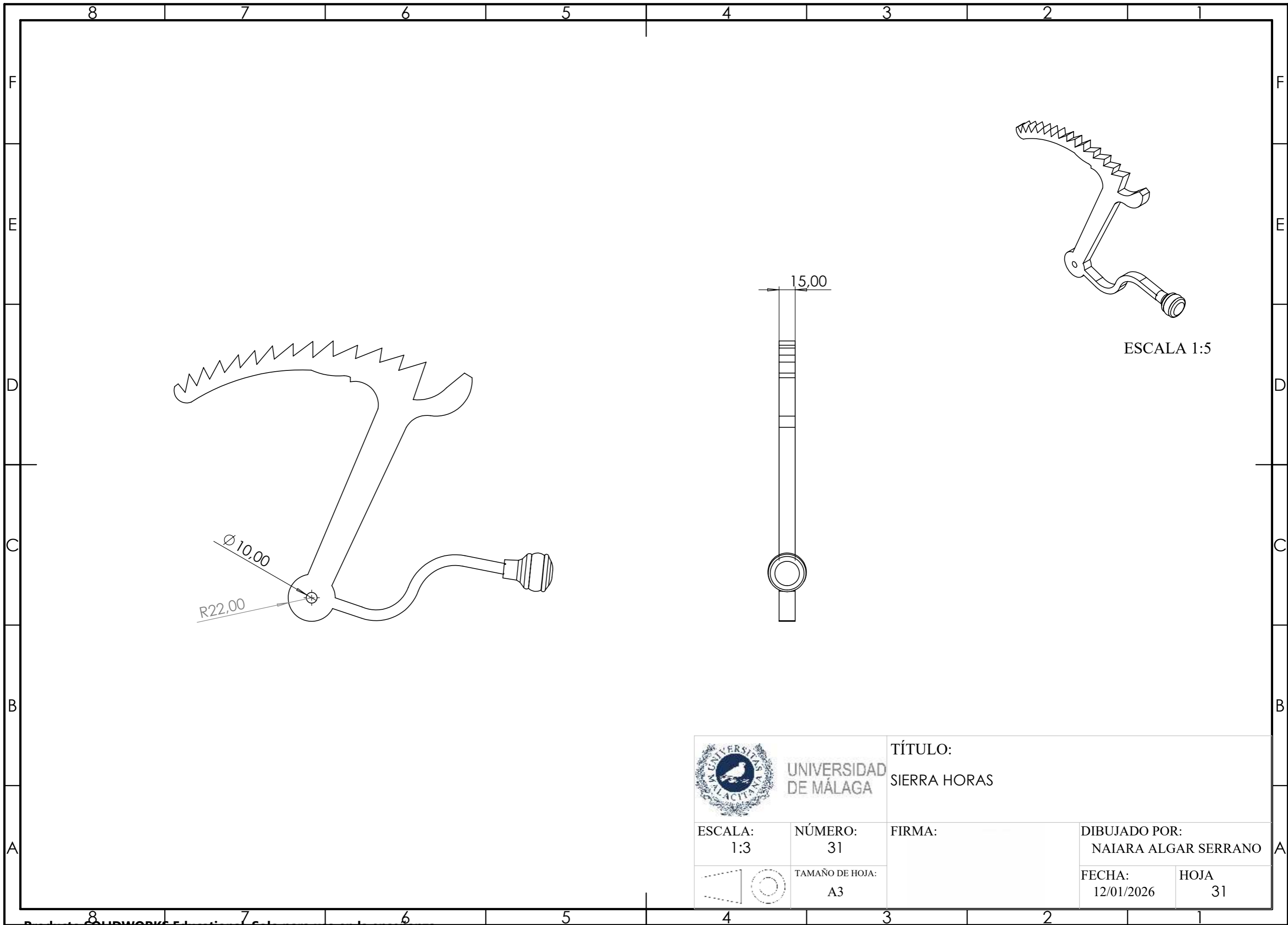
FECHA:  
12/01/2026

HOJA  
29



ESCALA 1:2

 <b>UNIVERSIDAD DE MÁLAGA</b>		<b>TÍTULO:</b> PALPADOR CARACOL	
<b>ESCALA:</b> 1:1	<b>NÚMERO:</b> 30	<b>FIRMA:</b>	<b>DIBUJADO POR:</b> NAIARA ALGAR SERRANO
 <b>TAMAÑO DE HOJA:</b> A3		<b>FECHA:</b> 12/01/2026	<b>HOJA:</b> 30



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

TÍTULO:  
SIERRA HORAS

ESCALA:  
1:3

NÚMERO:  
31

FIRMA:

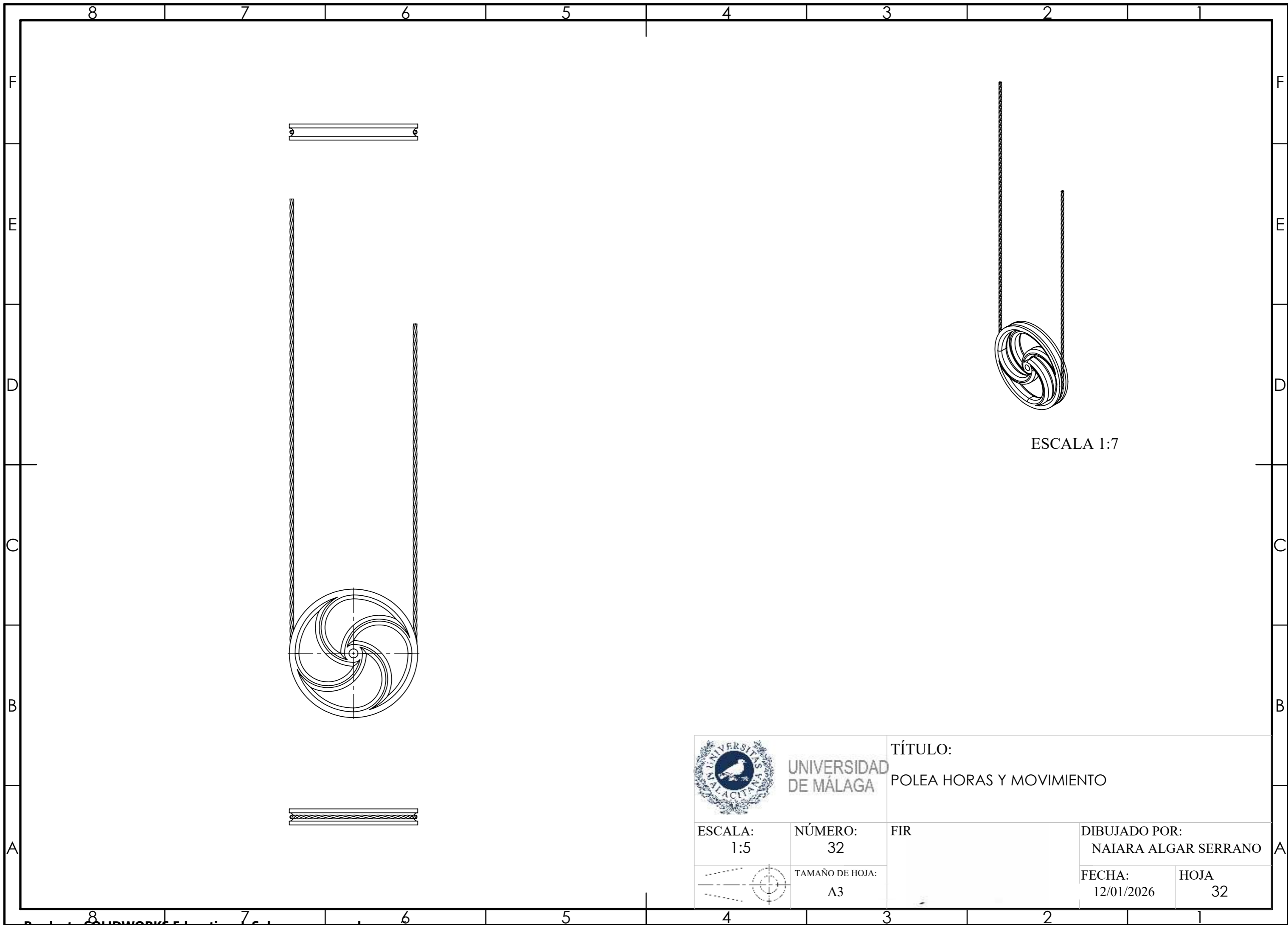
DIBUJADO POR:  
NAIARA ALGAR SERRANO



TAMAÑO DE HOJA:  
A3

FECHA:  
12/01/2026

HOJA  
31



ESCALA 1:7



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

TÍTULO:  
POLEA HORAS Y MOVIMIENTO

ESCALA:  
1:5

NÚMERO:  
32

FIR

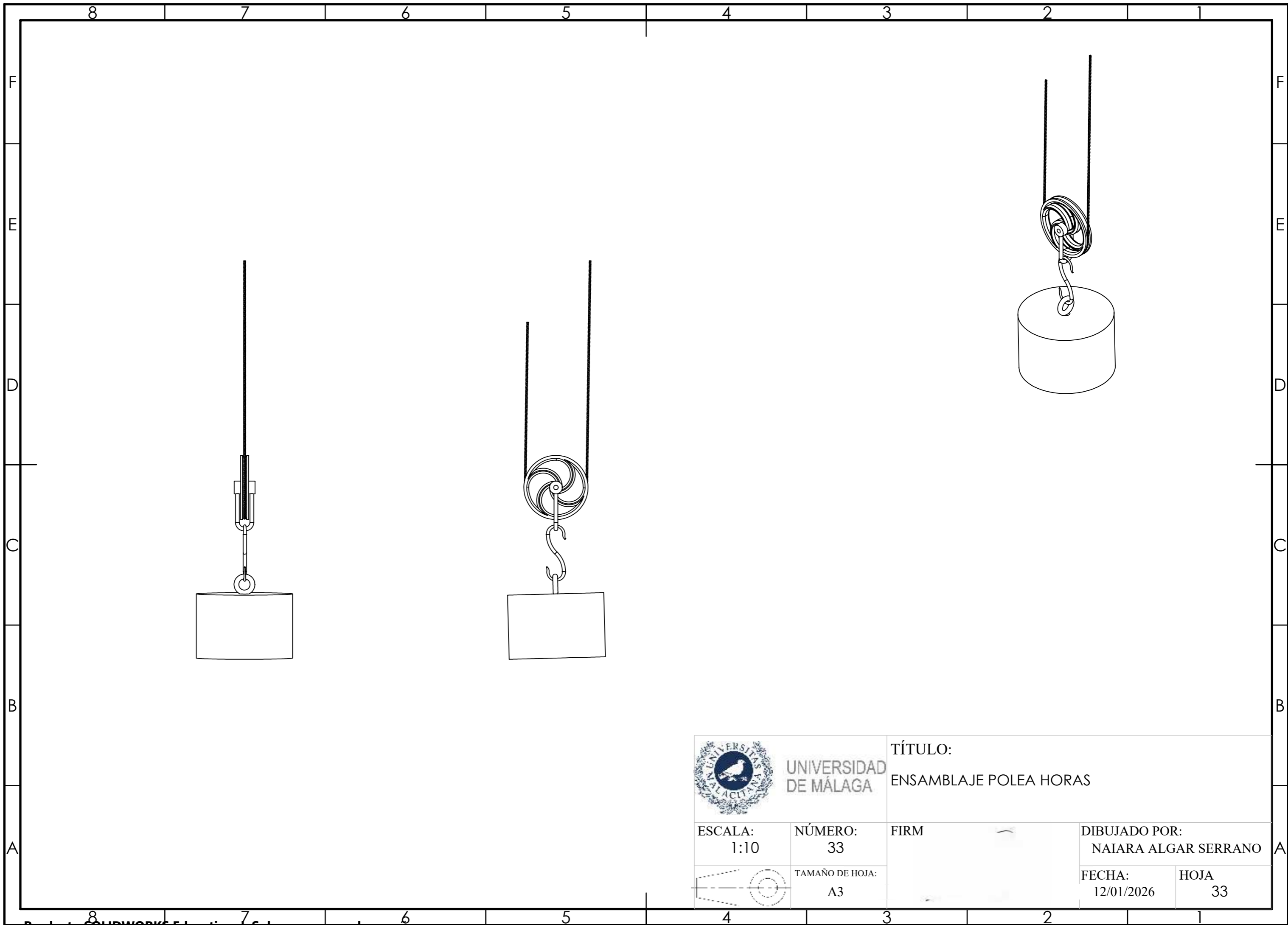
DIBUJADO POR:  
NAIARA ALGAR SERRANO



TAMAÑO DE HOJA:  
A3

FECHA:  
12/01/2026

HOJA  
32



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

TÍTULO:  
ENSAMBLAJE POLEA HORAS

ESCALA:  
1:10

NÚMERO:  
33

FIRM

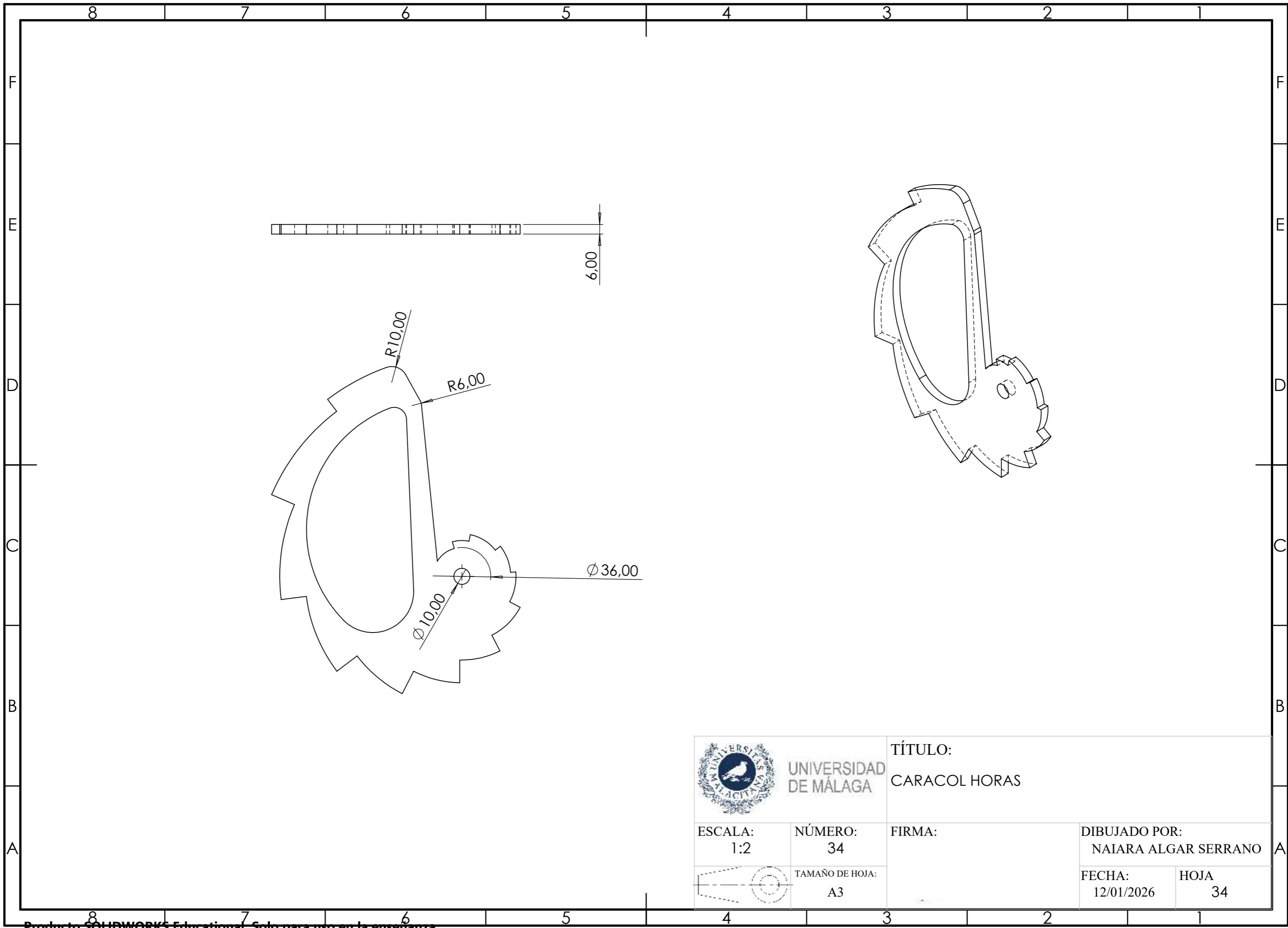
DIBUJADO POR:  
NAIARA ALGAR SERRANO



TAMAÑO DE HOJA:  
A3

FECHA:  
12/01/2026

HOJA  
33



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

TÍTULO:  
CARACOL HORAS

ESCALA:  
1:2

NÚMERO:  
34

FIRMA:

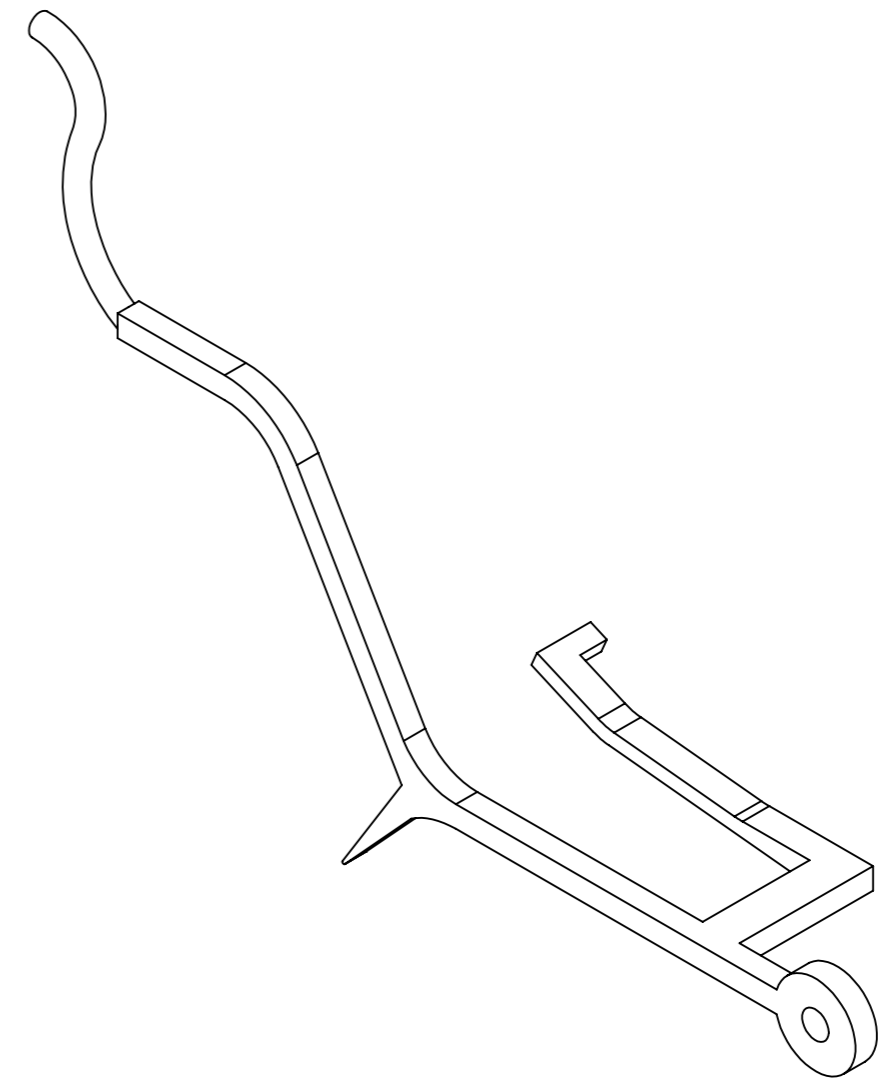
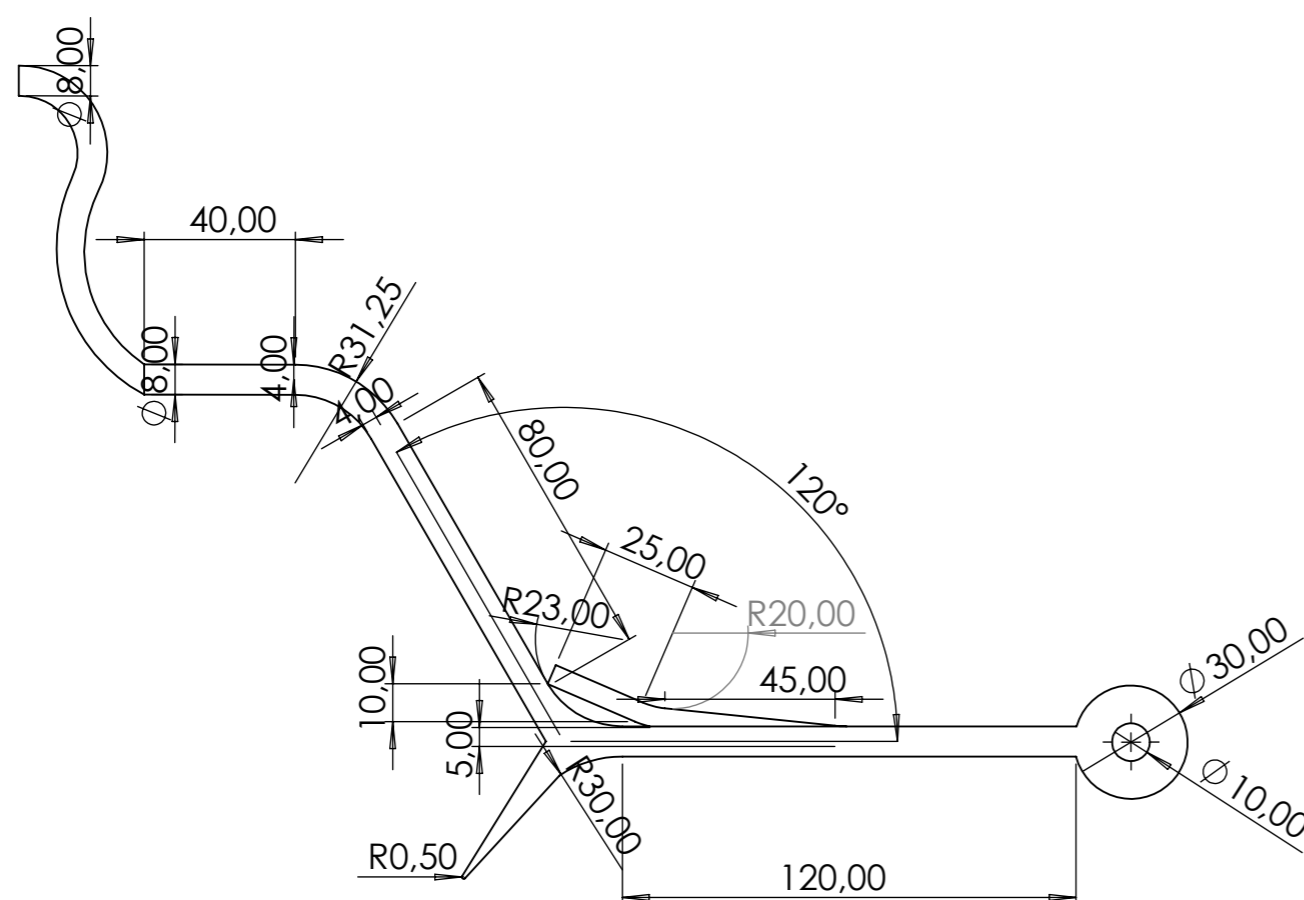
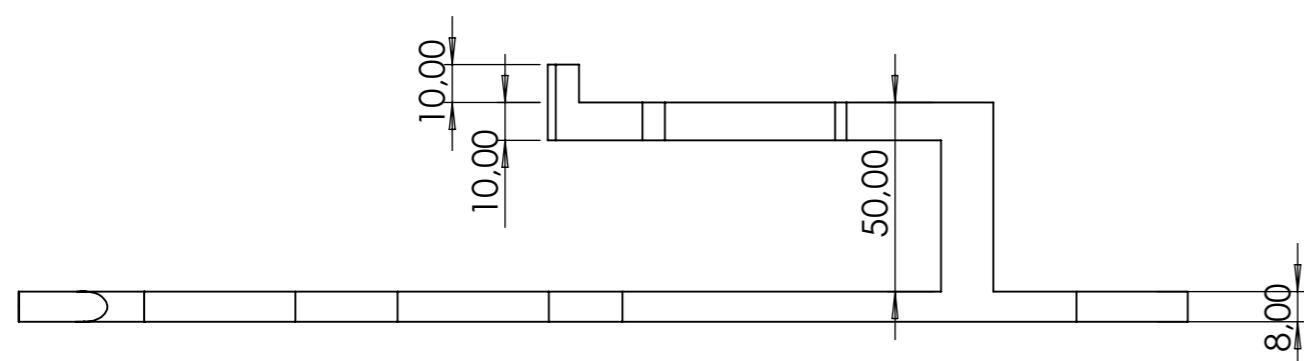
DIBUJADO POR:  
NAIARA ALGAR SERRANO





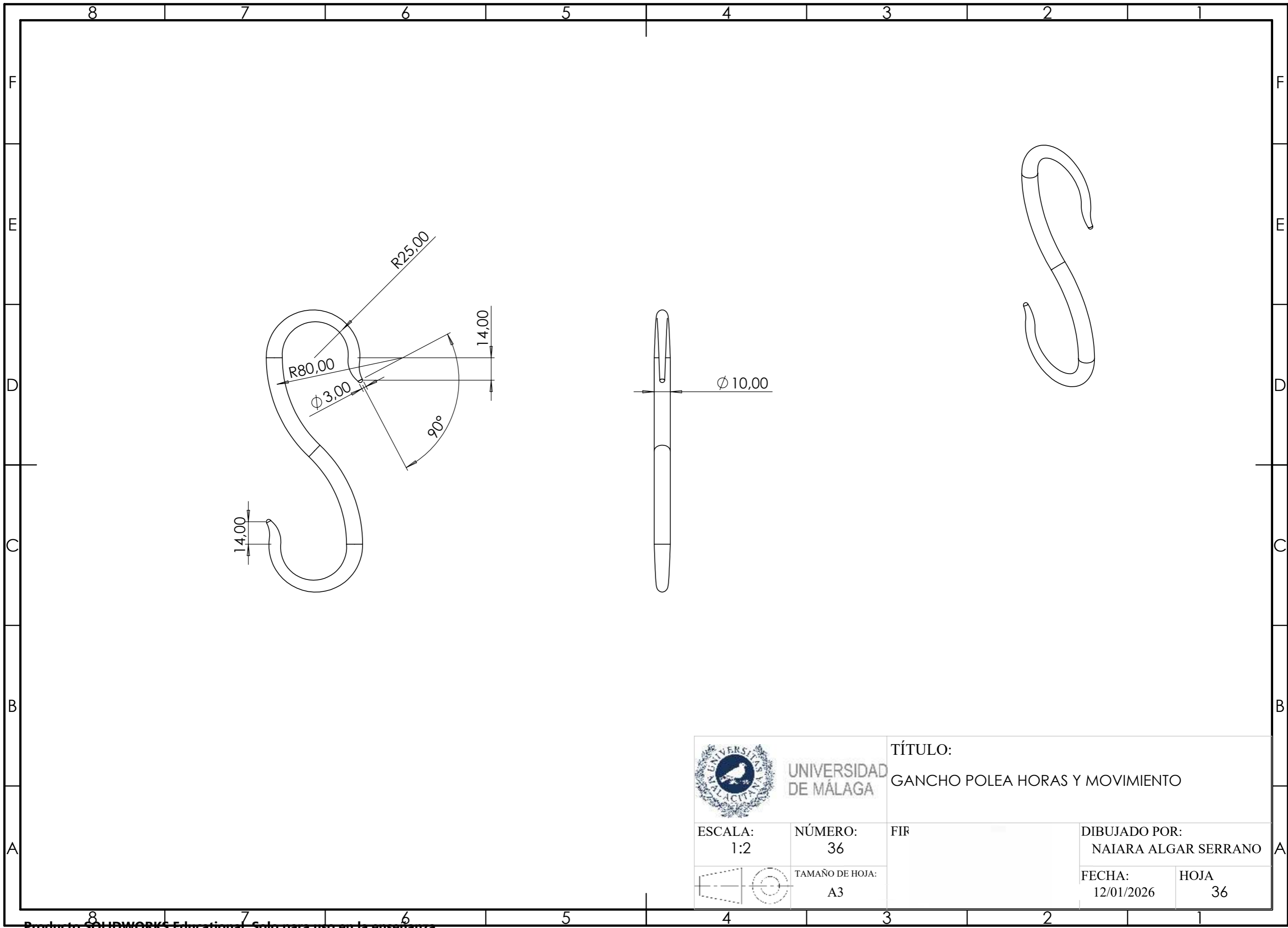
TAMAÑO DE HOJA:  
A3

FECHA:  
12/01/2026

HOJA  
34



 UNIVERSIDAD DE MÁLAGA	TÍTULO: ACTUADOR BLOQUEO HORAS		
	ESCALA: 1:2	NÚMERO: 35	FIRMA:
	TAMAÑO DE HOJA: A3	FECHA: 12/01/2026	HOJA 35



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

TÍTULO:  
GANCHO POLEA HORAS Y MOVIMIENTO

ESCALA:  
1:2

NÚMERO:  
36

FIR

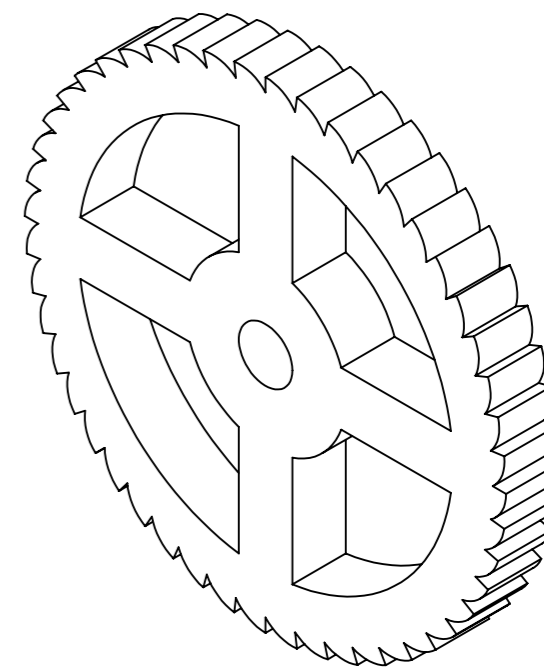
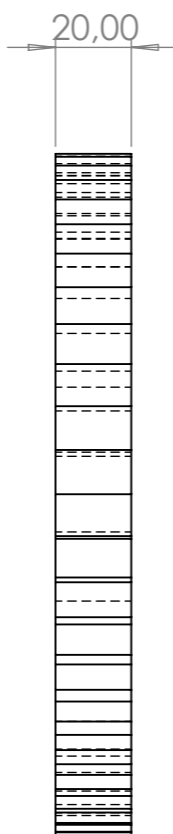
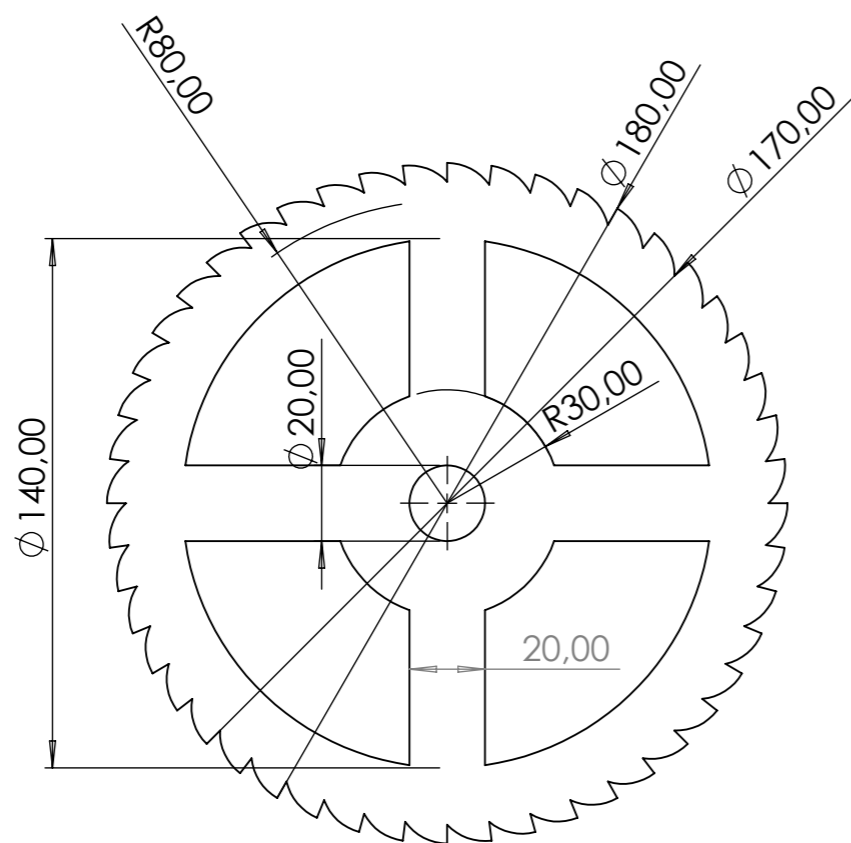
DIBUJADO POR:  
NAIARA ALGAR SERRANO





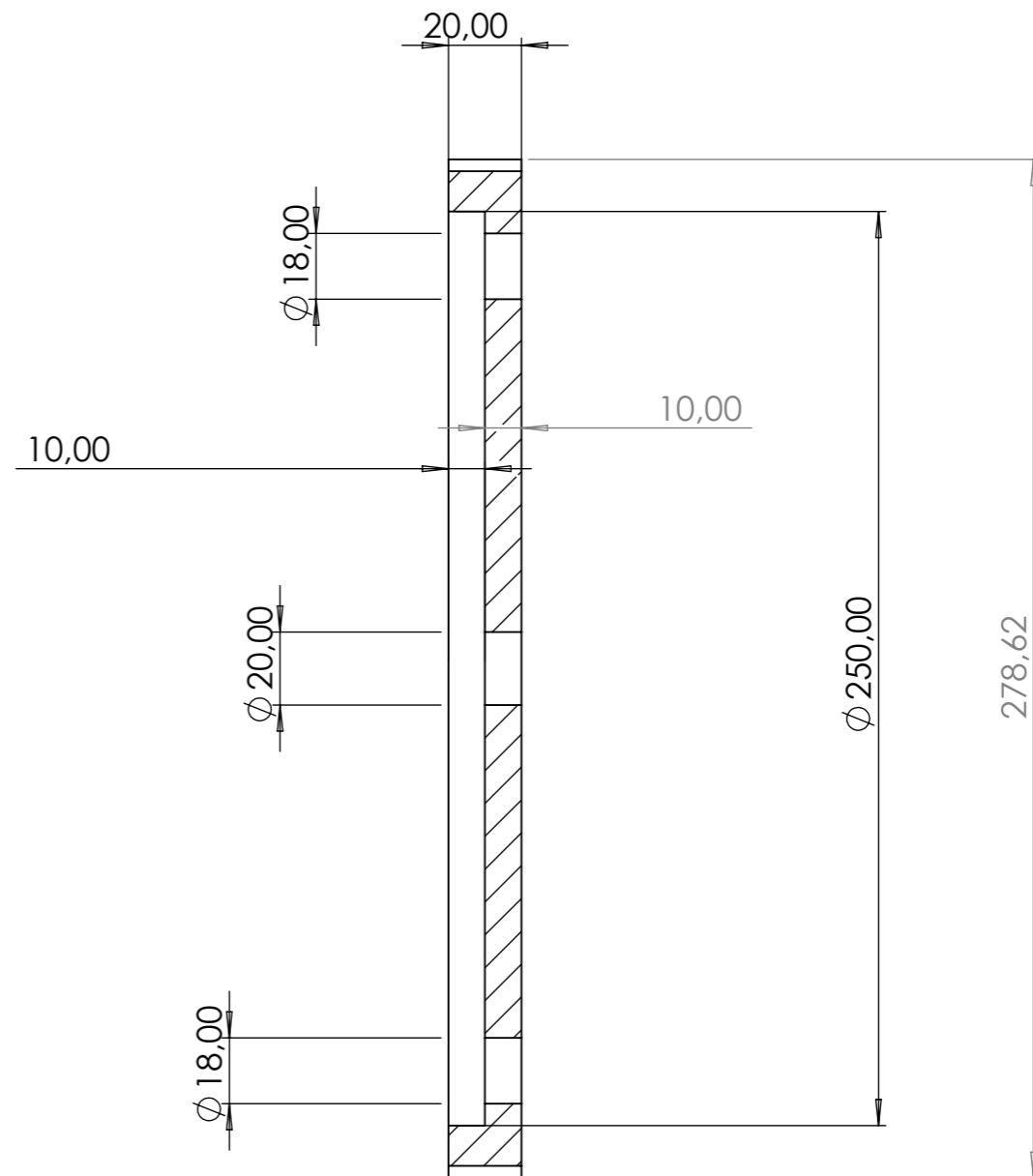
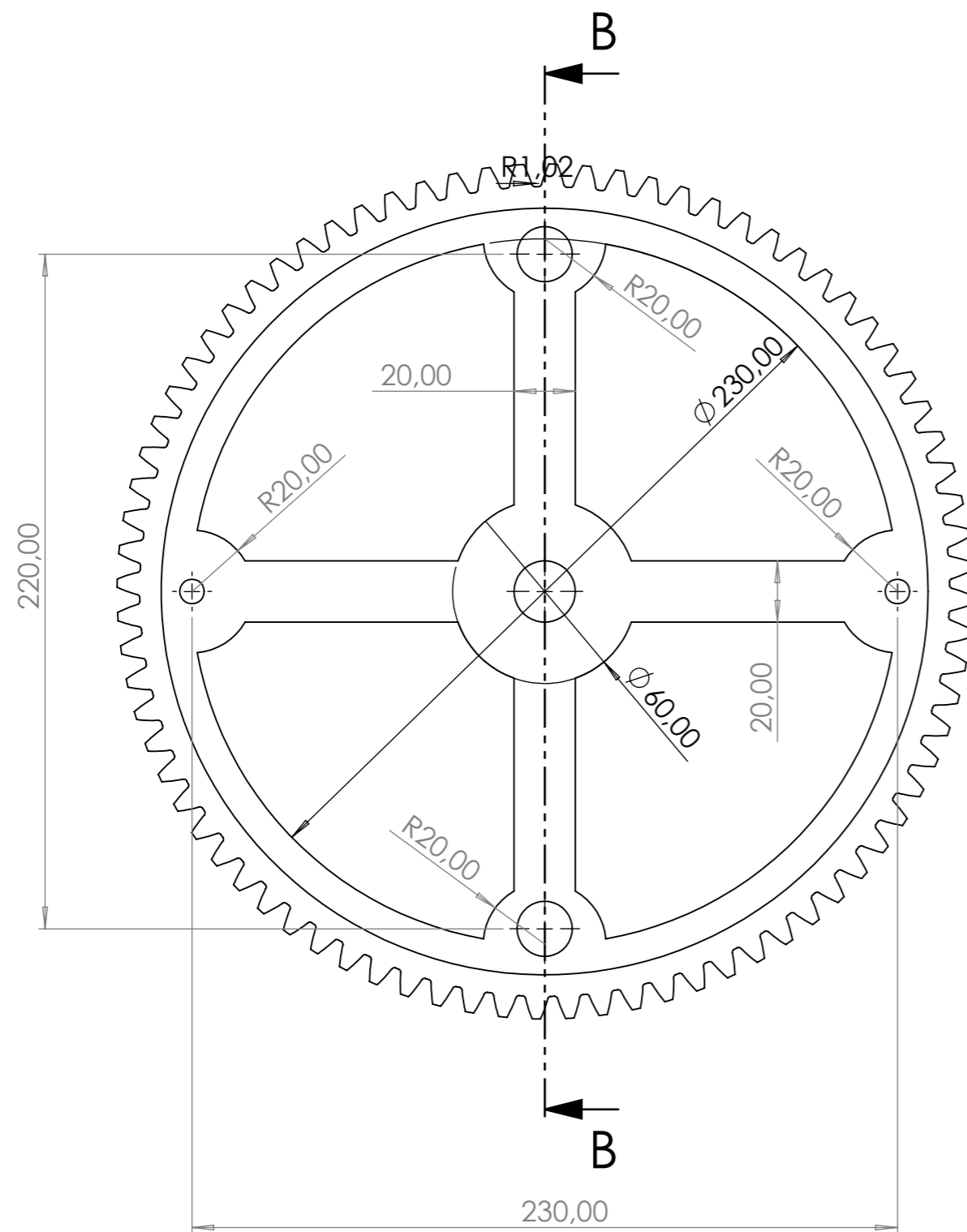
TAMAÑO DE HOJA:  
A3

FECHA:  
12/01/2026



HOJA  
36

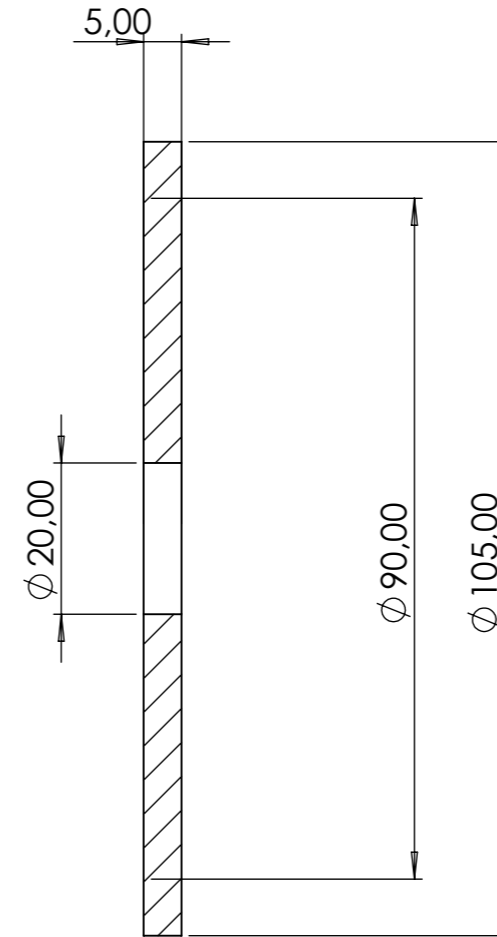
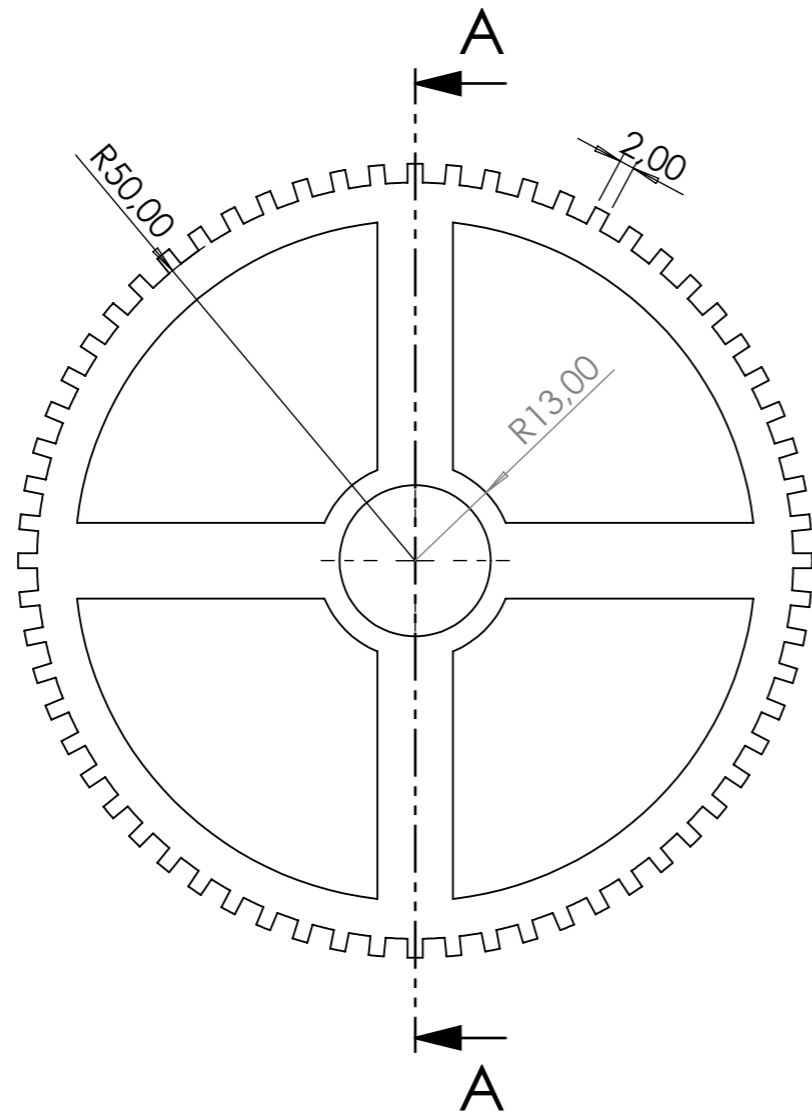


 UNIVERSIDAD DE MÁLAGA		TÍTULO: TRINQUETE MOVIMIENTO	
ESCALA: 1:2	NÚMERO: 37	FIRMA:	DIBUJADO POR: NAIARA ALGAR SERRANO
 TAMAÑO DE HOJA: A3		FECHA: 12/01/2026	HOJA: 37

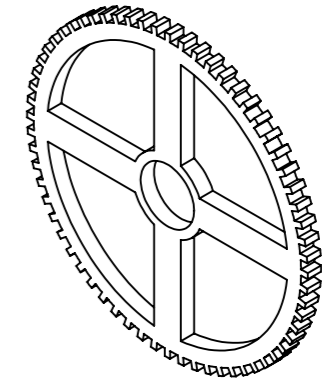


**SECCIÓN B-B**



		<b>TÍTULO:</b> RUEDA PRIMERA MOVIMIENTO	
<b>ESCALA:</b> 1:2	<b>NÚMERO:</b> 38	<b>FIRMA:</b>	<b>DIBUJADO POR:</b> NAIARA ALGAR SERRANO
		<b>TAMAÑO DE HOJA:</b> A3	<b>FECHA:</b> 12/01/2026
			<b>HOJA:</b> 38

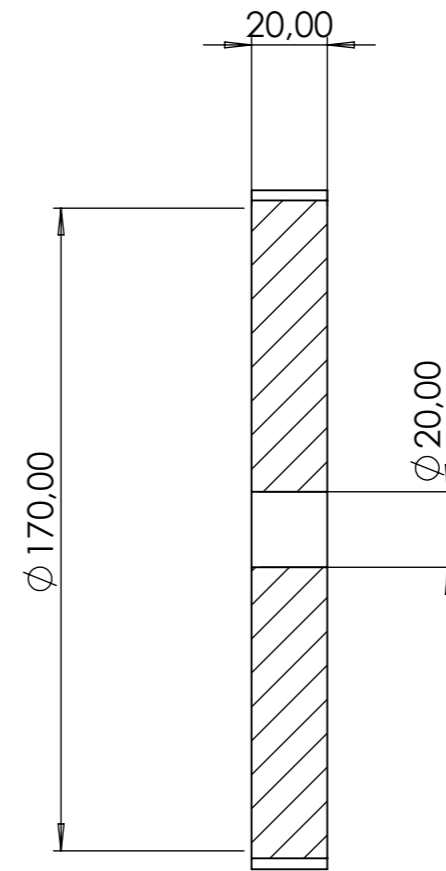
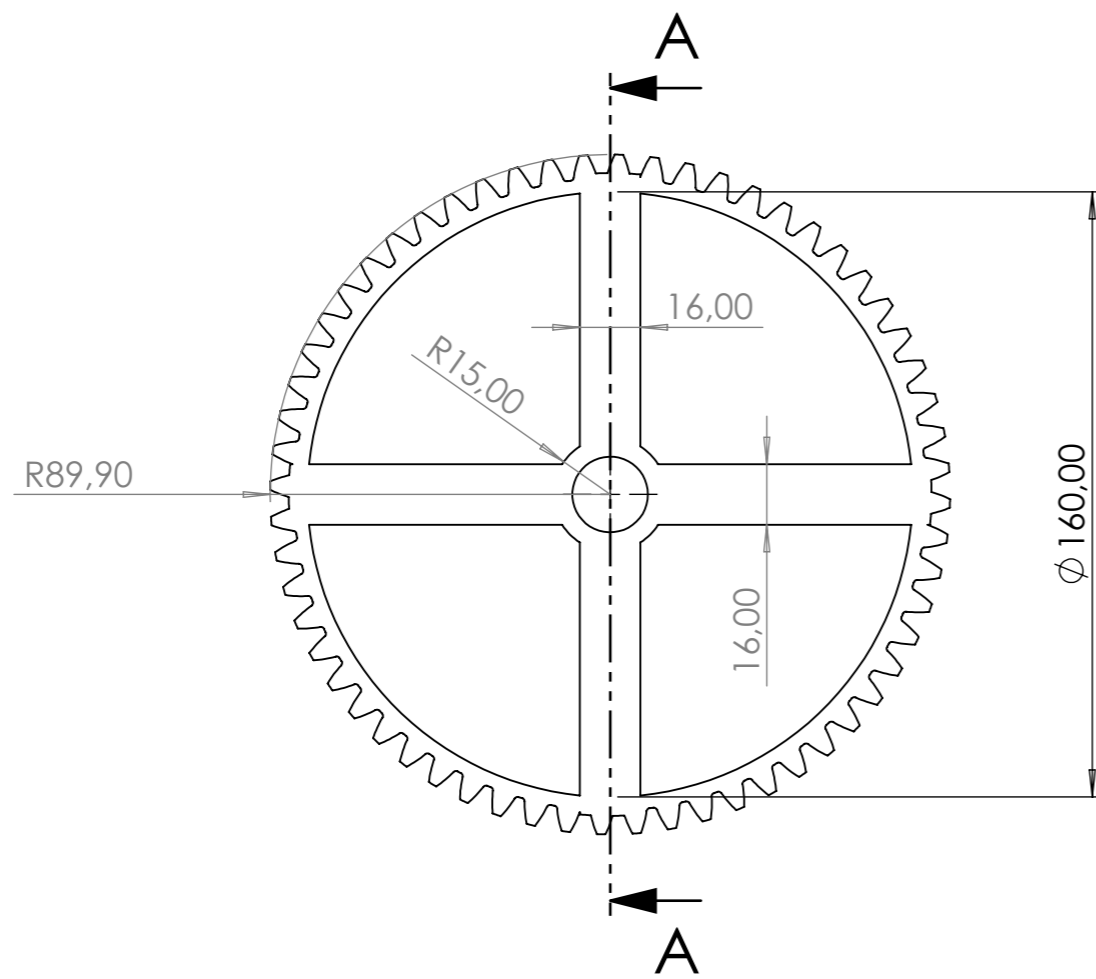


SECCIÓN A-A



ESCALA 1:2

 UNIVERSIDAD DE MÁLAGA		TÍTULO: RUEDA MINUTERA	
ESCALA: 1:1	NÚMERO: 39	FIRMA:	DIBUJADO POR: NAIARA ALGAR SERRANO
 TAMAÑO DE HOJA: A3		FECHA: 12/01/2026	HOJA: 39



SECCIÓN A-A



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA

TÍTULO:  
ENGRANAJE PEGADO MINUTERO

ESCALA:  
1:2

NÚMERO:  
40

FIRMA:

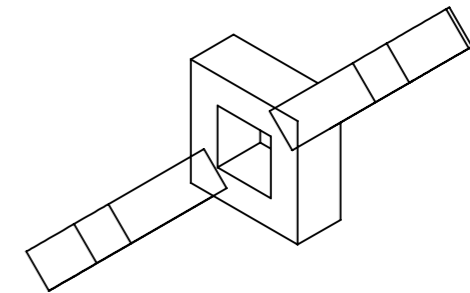
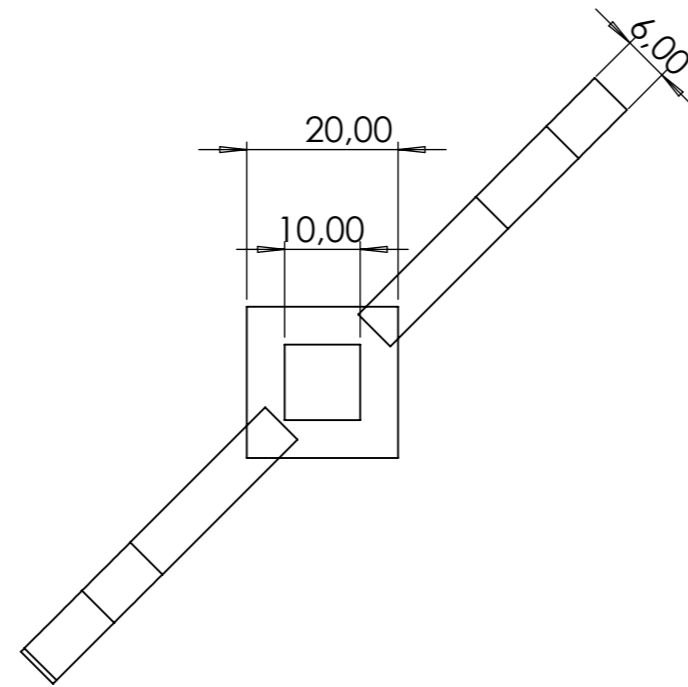
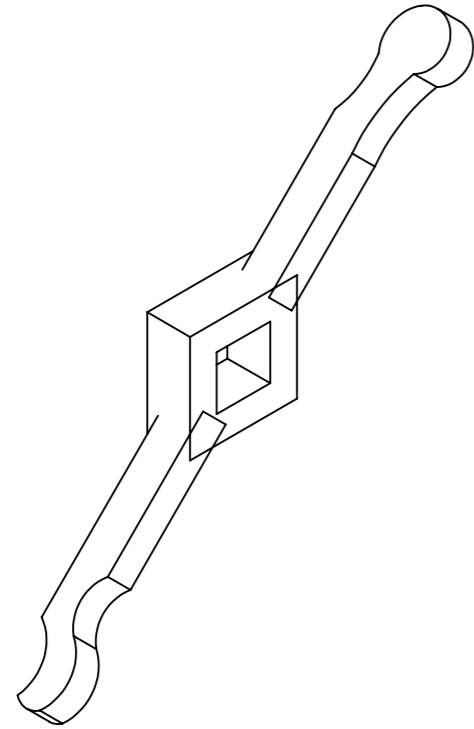
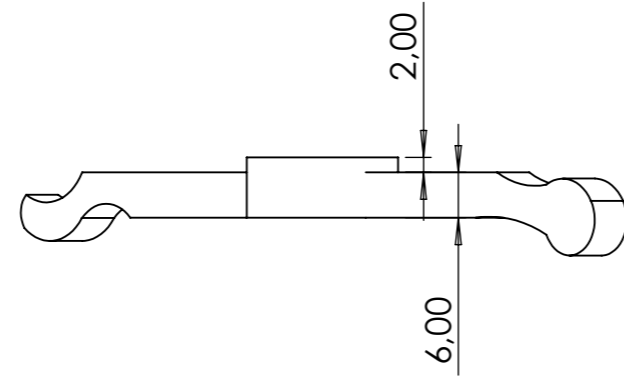
DIBUJADO POR:  
NAIARA ALGAR SERRANO



TAMAÑO DE HOJA:  
A3

FECHA:  
12/01/2026

HOJA  
40



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

TÍTULO:  
AGUJA PLACA MINUTERO

ESCALA:  
1:1

NÚMERO:  
41

FIR

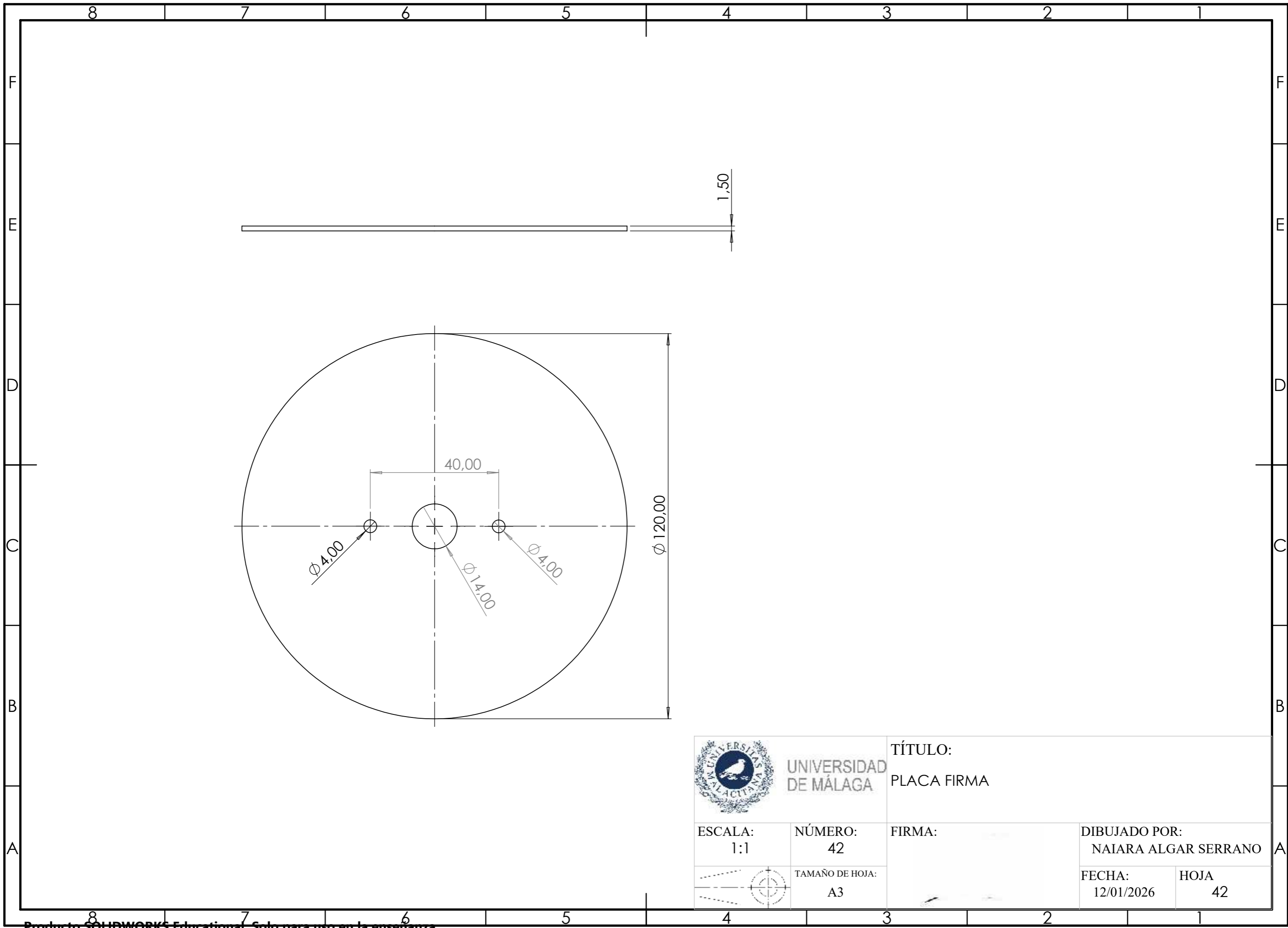
DIBUJADO POR:  
NAIARA ALGAR SERRANO



TAMAÑO DE HOJA:  
A3

FECHA:  
12/01/2026

HOJA  
41



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

TÍTULO:  
PLACA FIRMA

ESCALA:  
1:1

NÚMERO:  
42

FIRMA:

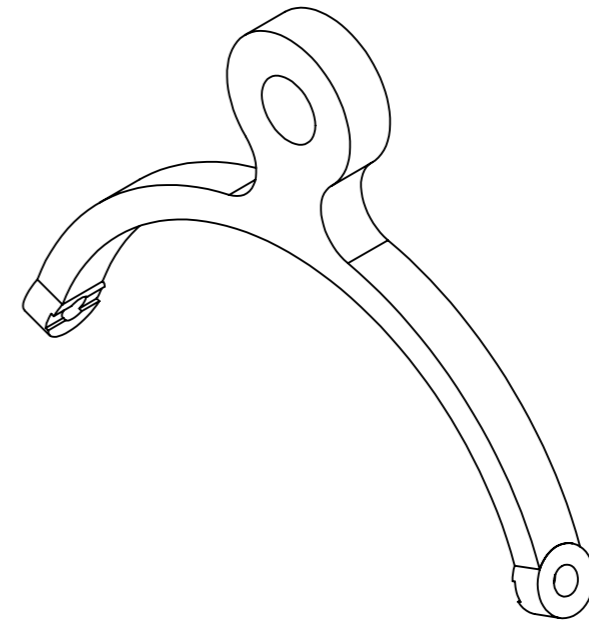
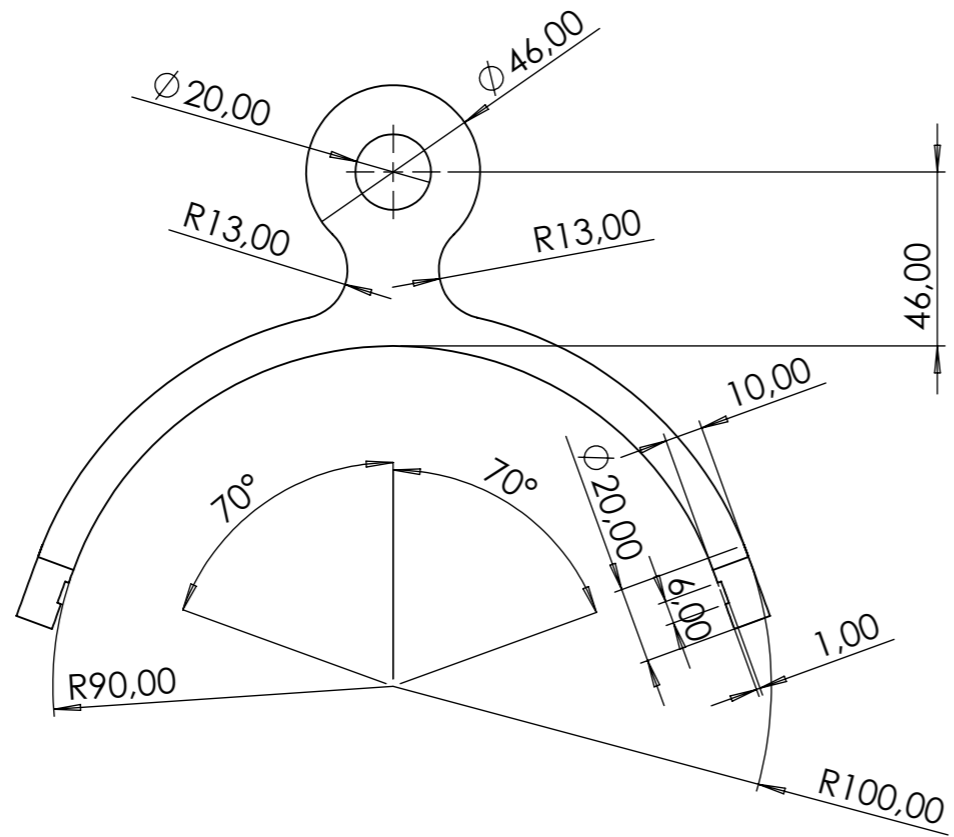
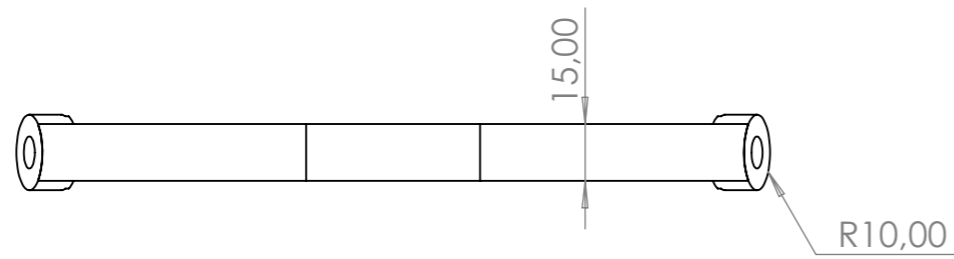
DIBUJADO POR:  
NAIARA ALGAR SERRANO



TAMAÑO DE HOJA:  
A3

FECHA:  
12/01/2026

HOJA  
42



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA

TÍTULO:  
ARCO ÁNCORA

ESCALA:  
1:2

NÚMERO:  
43

FIR

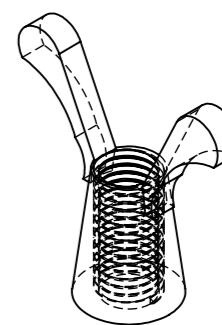
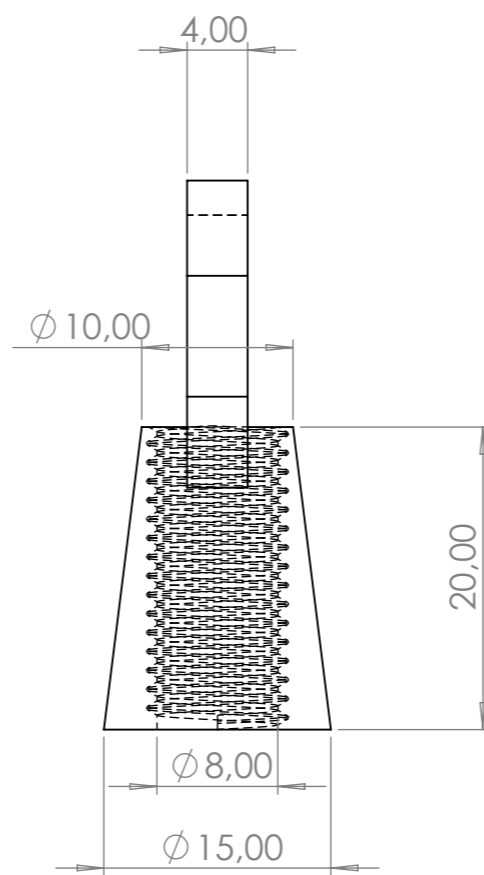
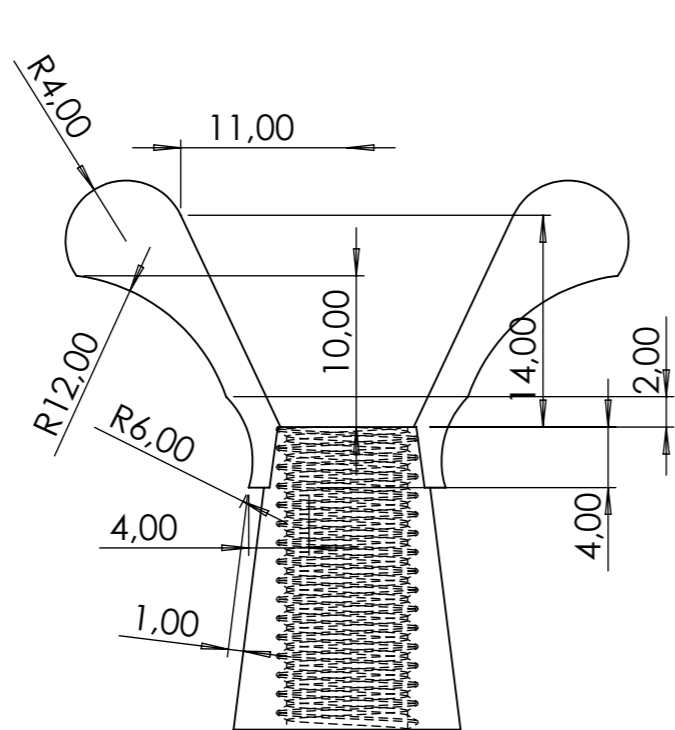
DIBUJADO POR:  
NAIARA ALGAR SERRANO





TAMAÑO DE HOJA:  
A3

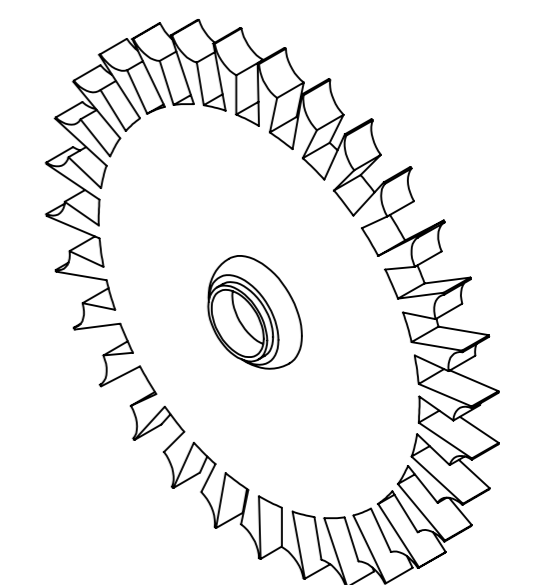
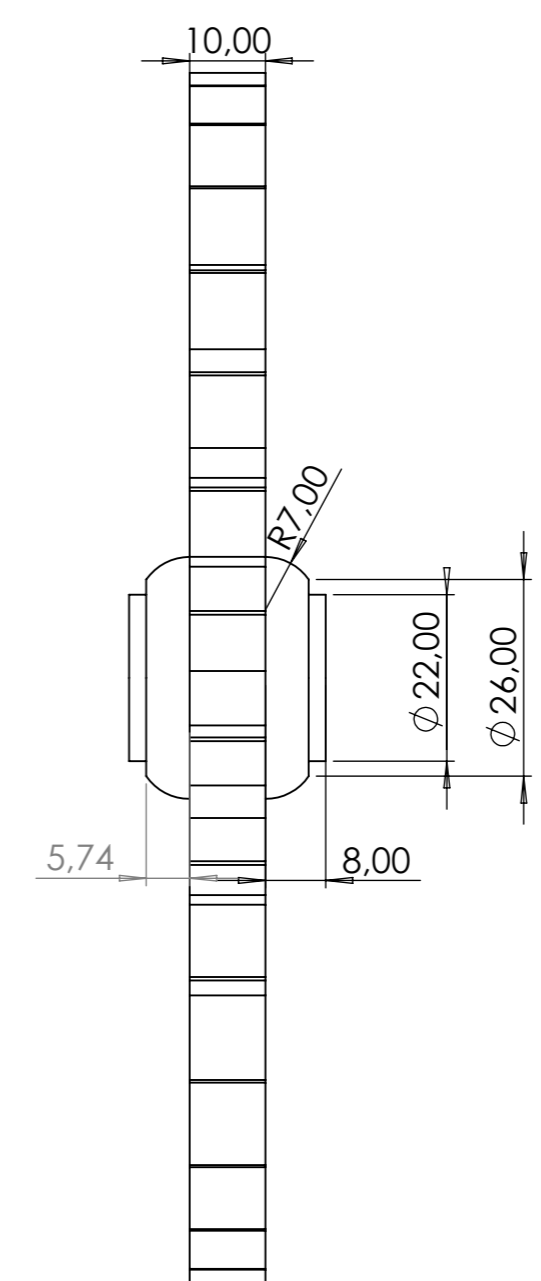
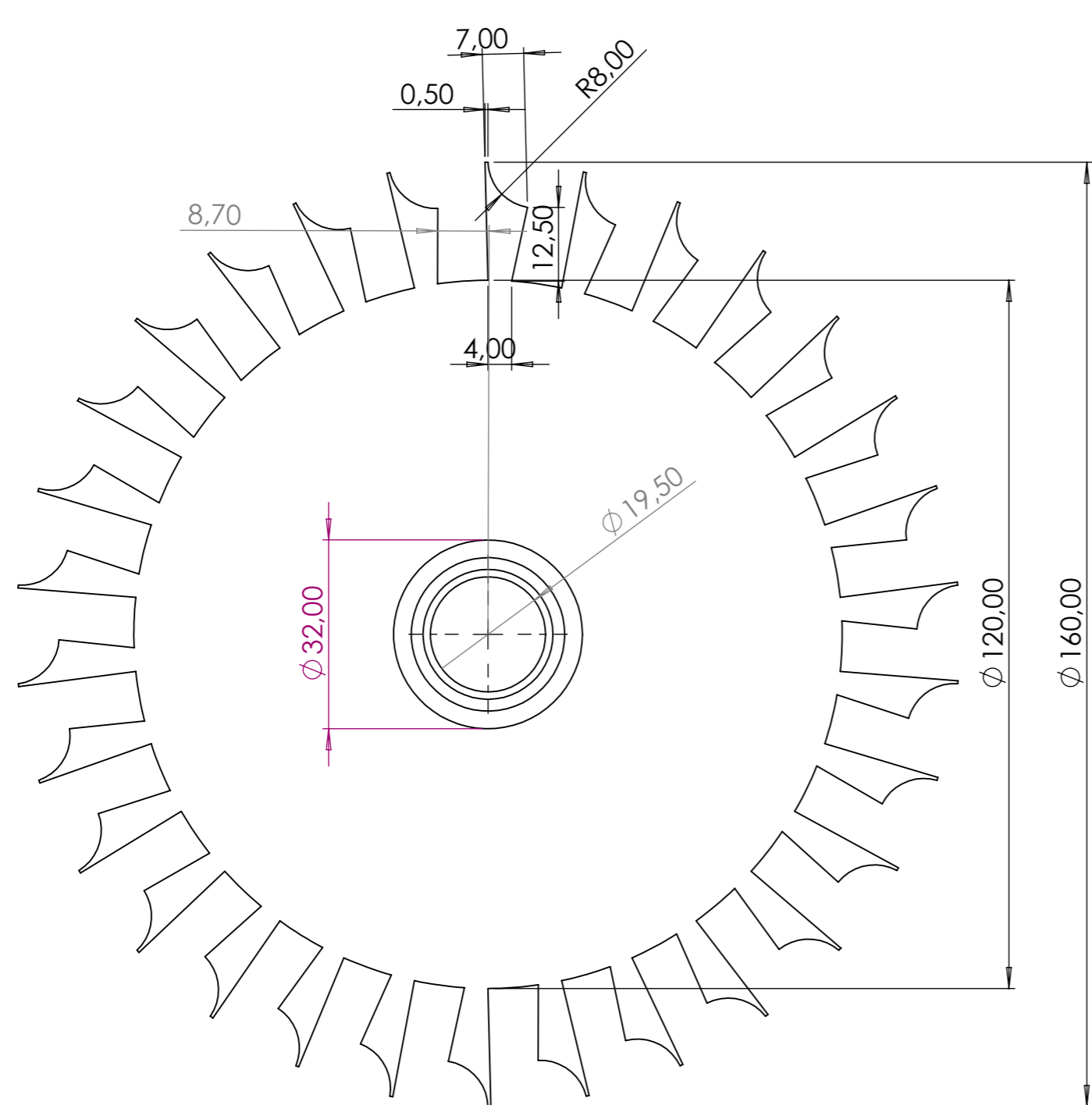
FECHA:  
12/01/2026

HOJA  
43





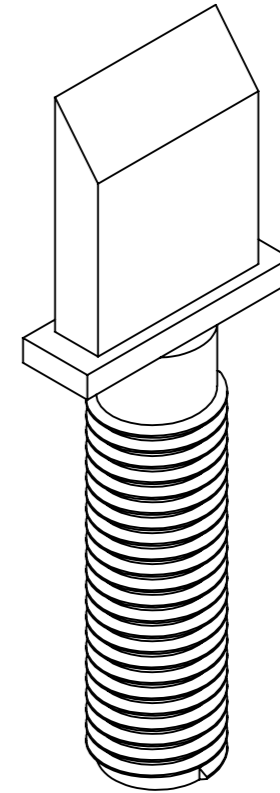
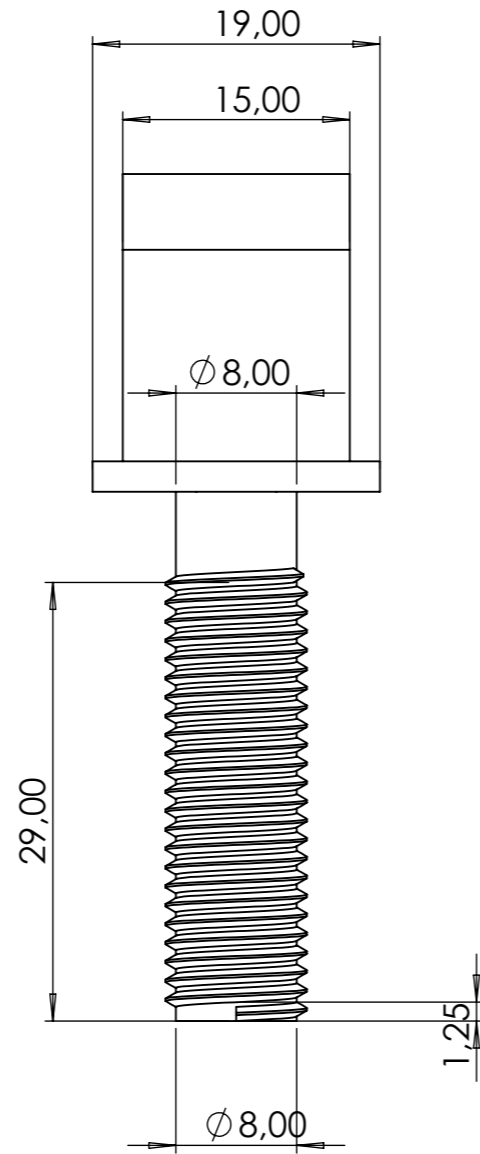
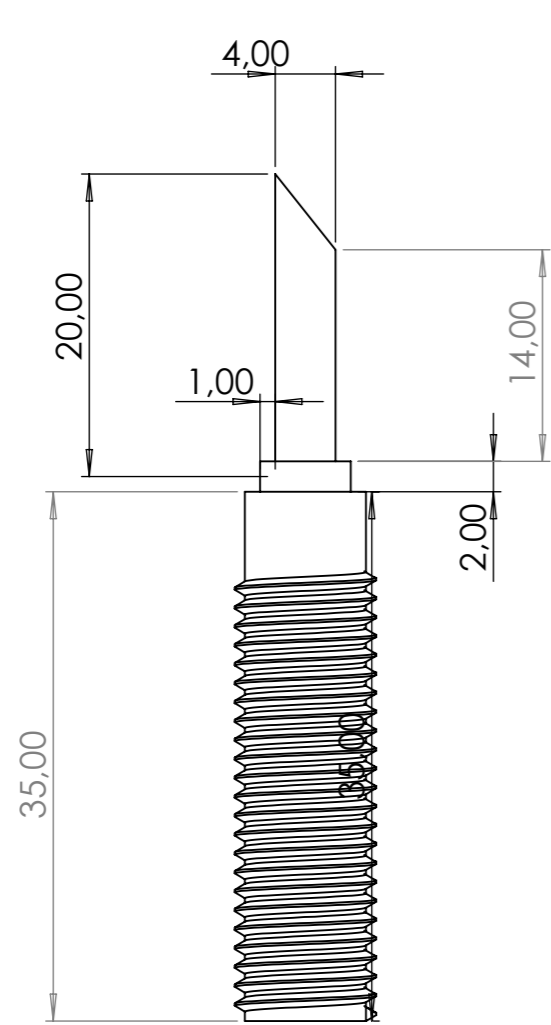
ESCALA 1:1

 <b>UNIVERSIDAD DE MÁLAGA</b>		<b>TÍTULO:</b> PALOMETA ÁNCORA	
<b>ESCALA:</b> 2:1	<b>NÚMERO:</b> 44	<b>FIRMA:</b>	<b>DIBUJADO POR:</b> NAIARA ALGAR SERRANO
 <b>TAMAÑO DE HOJA:</b> A3		<b>FECHA:</b> 12/01/2026	<b>HOJA:</b> 44



ESCALA 1:2

 <b>UNIVERSIDAD DE MÁLAGA</b>		<b>TÍTULO:</b> RUEDA ESCAPE	
<b>ESCALA:</b> 1:1	<b>NÚMERO:</b> 45	<b>FIRMA:</b>	<b>DIBUJADO POR:</b> NAIARA ALGAR SERRANO
 <b>TAMAÑO DE HOJA:</b> A3		<b>FECHA:</b> 12/01/2026	<b>HOJA:</b> 45



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA

TÍTULO:  
PALETA ÁNCORA

ESCALA:  
2:1

NÚMERO:  
46

FI

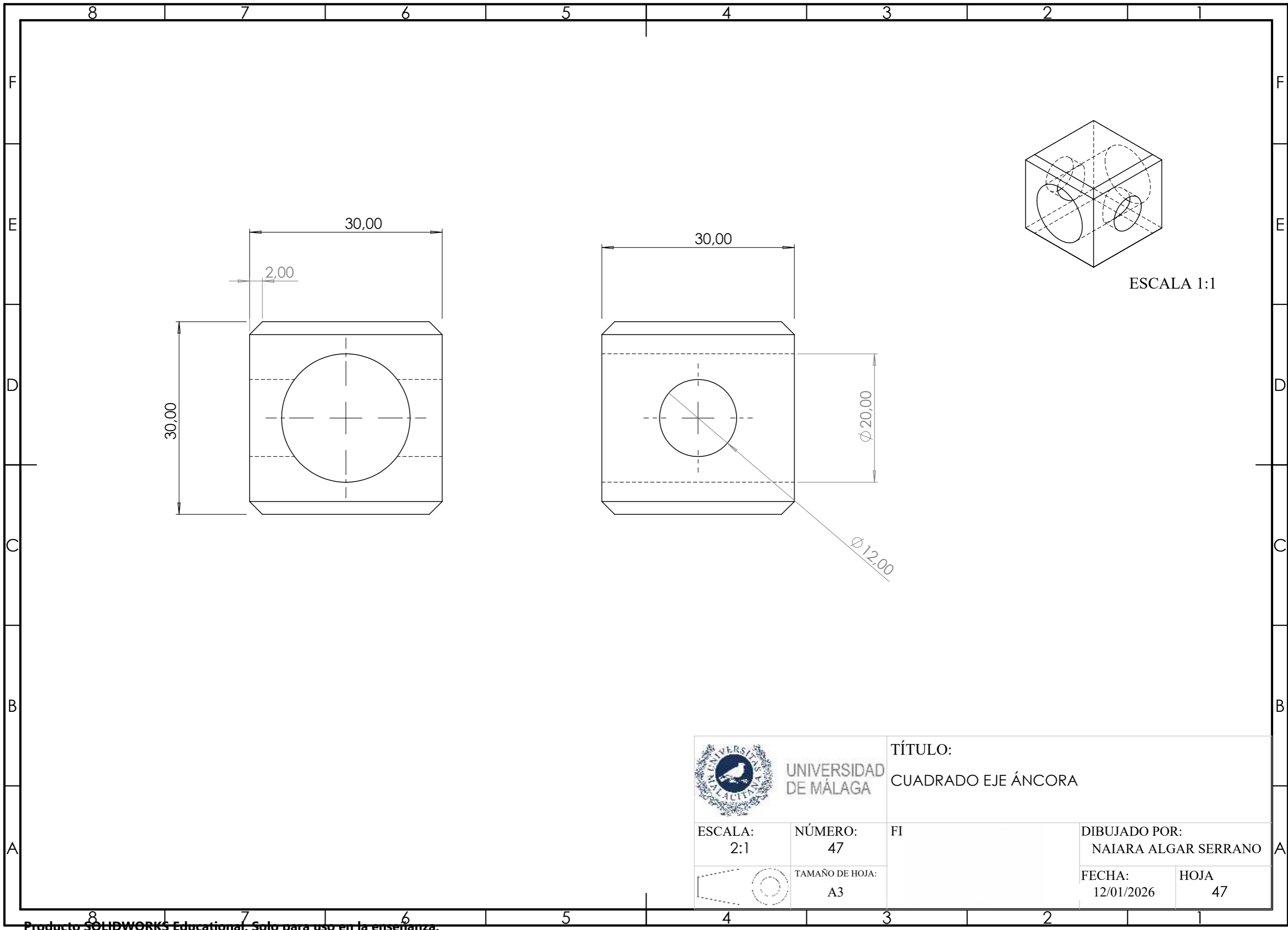
DIBUJADO POR:  
NAIARA ALGAR SERRANO



TAMAÑO DE HOJA:  
A3

FECHA:  
12/01/2026

HOJA  
46



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

TÍTULO:  
CUADRADO EJE ÁNCORA

ESCALA:  
2:1

NÚMERO:  
47

FI

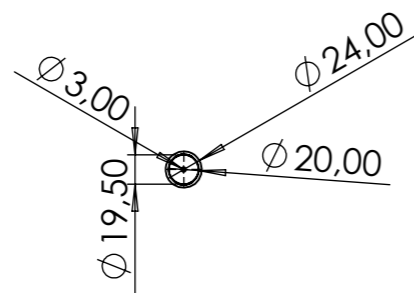
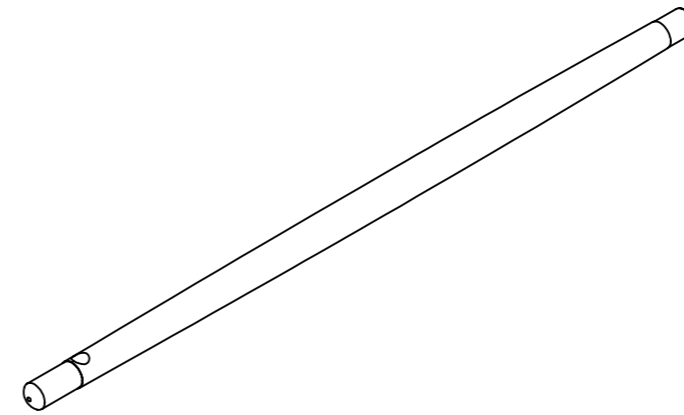
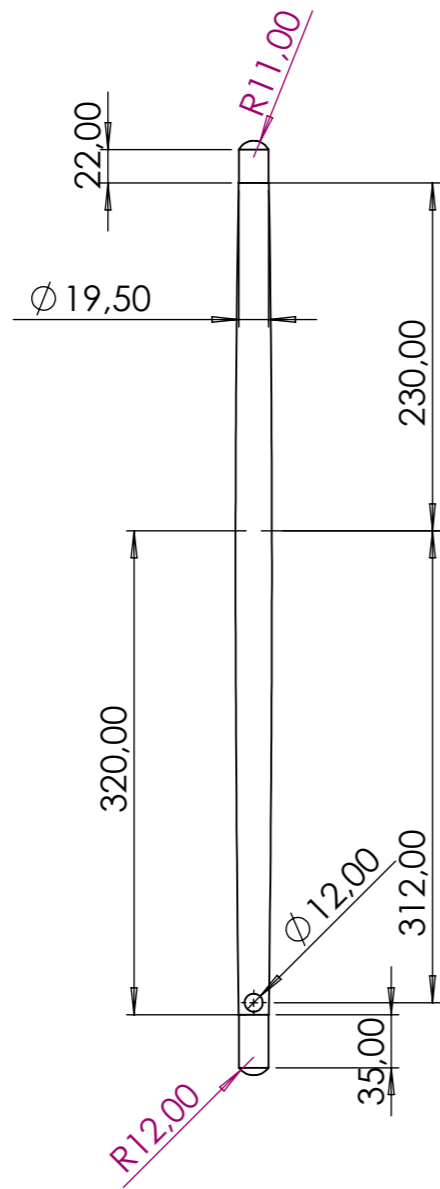
DIBUJADO POR:  
NAIARA ALGAR SERRANO



TAMAÑO DE HOJA:  
A3

FECHA:  
12/01/2026

HOJA  
47



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA

TÍTULO:  
EJE REDONDO ÁNCORA

ESCALA:  
1:5

NÚMERO:  
48

FIRMA:

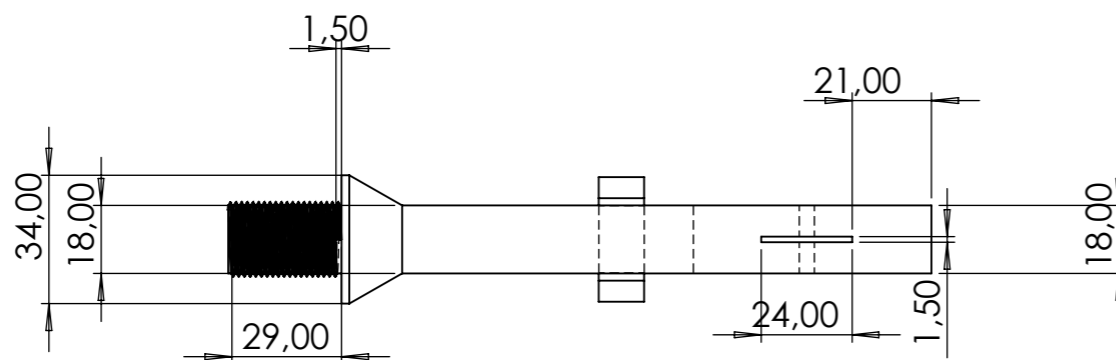
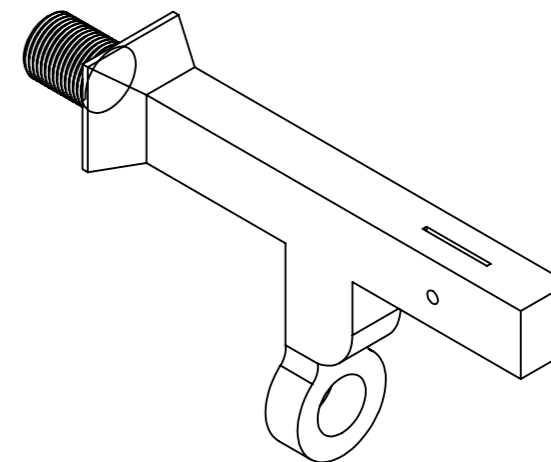
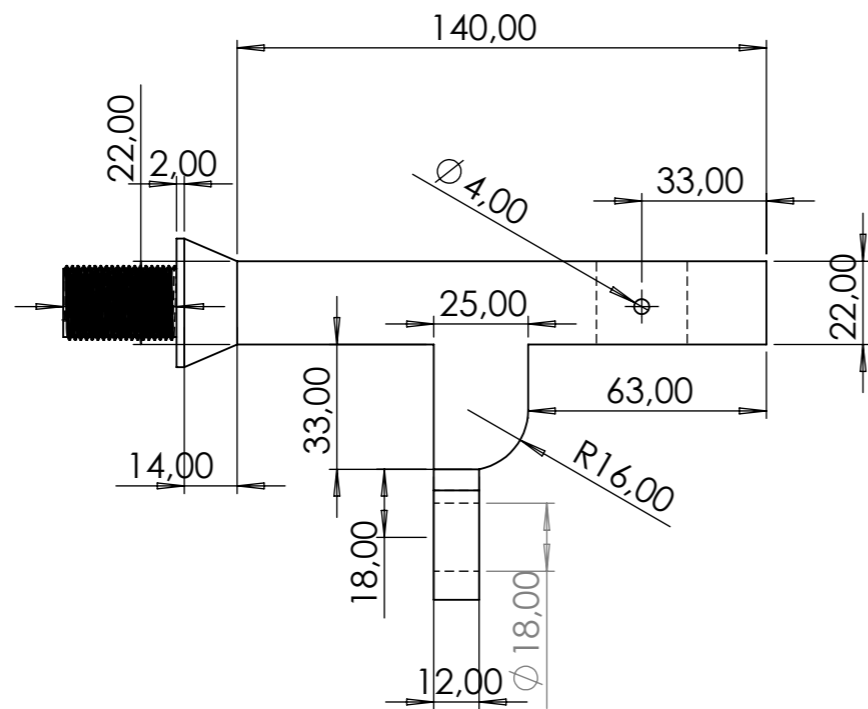
DIBUJADO POR:  
NAIARA ALGAR SERRANO



TAMAÑO DE HOJA:  
A3

FECHA:  
12/01/2026

HOJA  
48



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA

TÍTULO:  
AMARRE PÉNDULO

ESCALA:  
1:2

NÚMERO:  
49

FIRMA:

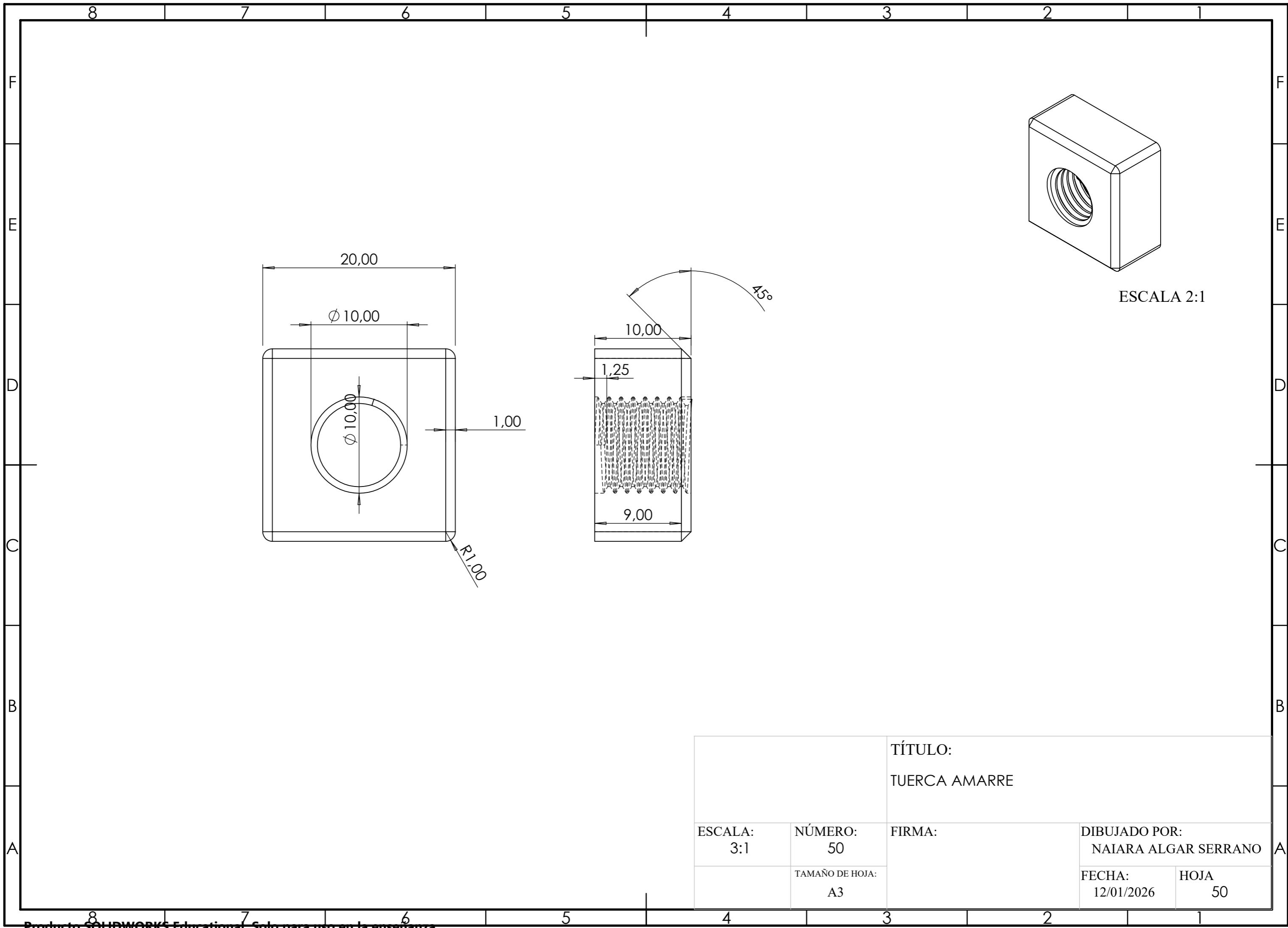
DIBUJADO POR:  
NAIARA ALGAR SERRANO



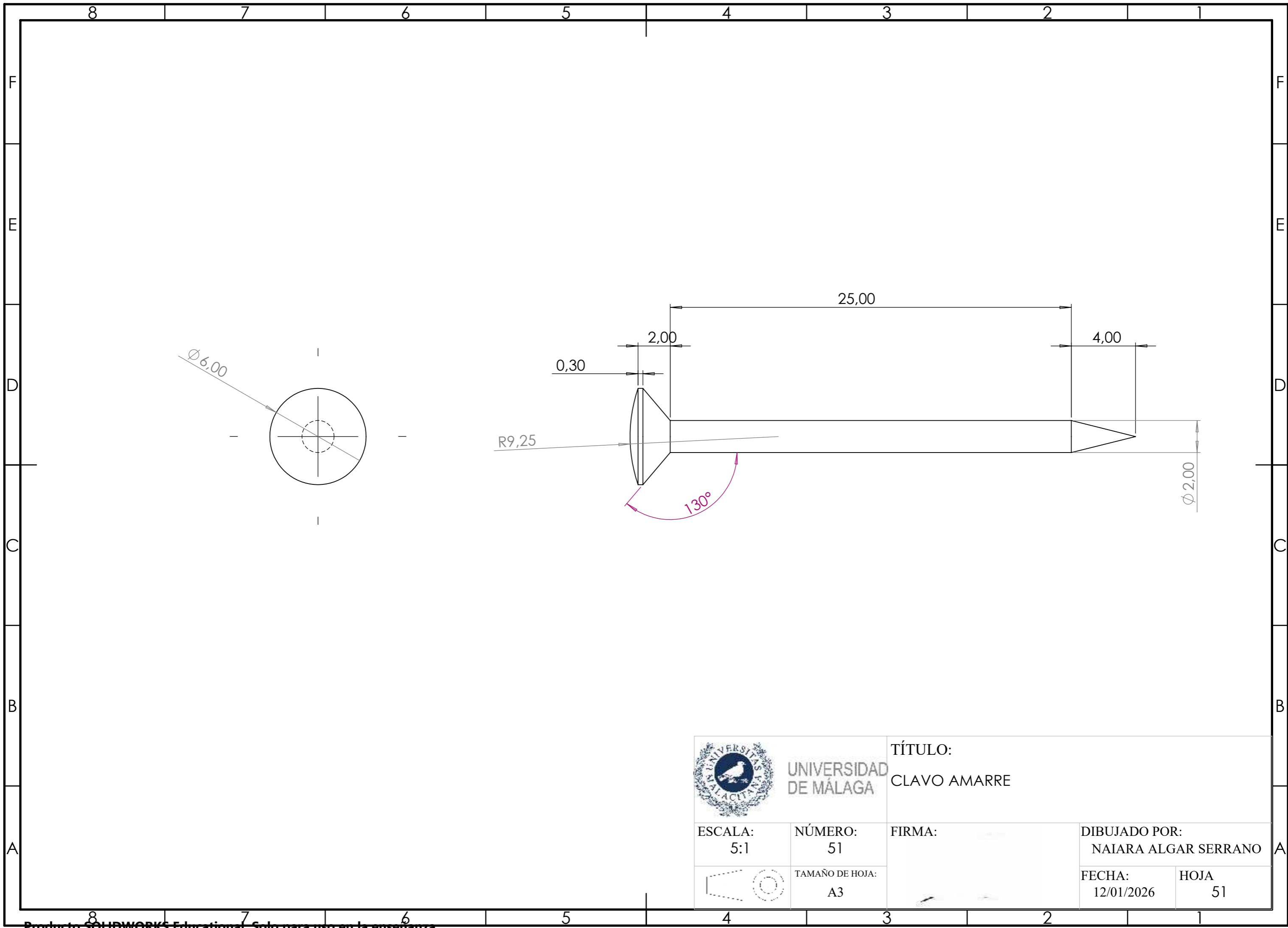
TAMAÑO DE HOJA:  
A3

FECHA:  
12/01/2026

HOJA  
49



		TÍTULO: TUERCA AMARRE	
ESCALA: 3:1	NÚMERO: 50	FIRMA:	DIBUJADO POR: NAIARA ALGAR SERRANO
	TAMAÑO DE HOJA: A3		FECHA: 12/01/2026



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

TÍTULO:  
CLAVO AMARRE

ESCALA:  
5:1

NÚMERO:  
51

FIRMA:

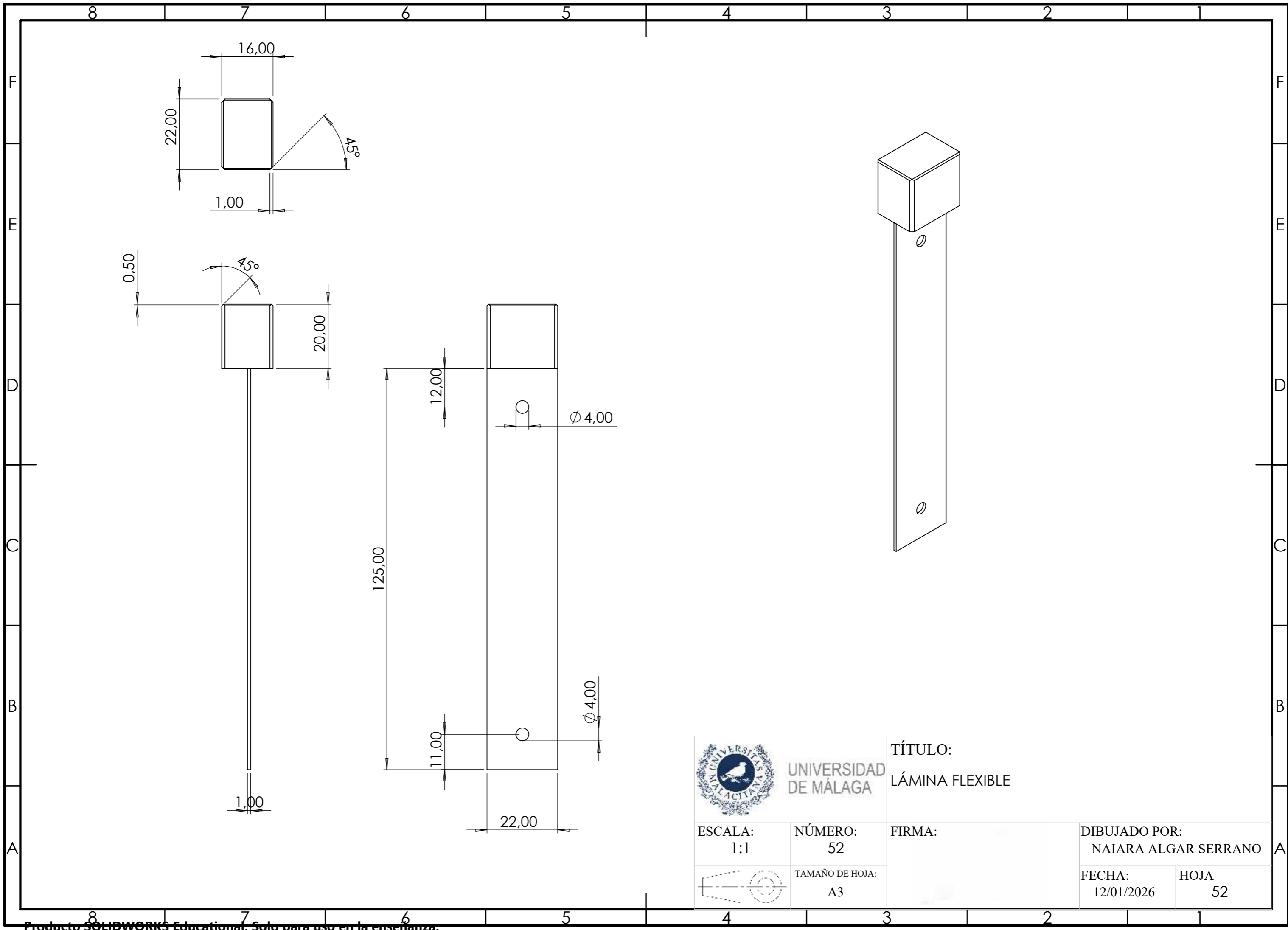
DIBUJADO POR:  
NAIARA ALGAR SERRANO



TAMAÑO DE HOJA:  
A3

FECHA:  
12/01/2026

HOJA  
51



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

TÍTULO:  
LÁMINA FLEXIBLE

ESCALA:  
1:1

NÚMERO:  
52

FIRMA:

DIBUJADO POR:  
NAIARA ALGAR SERRANO



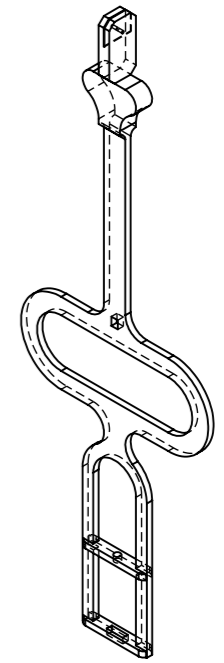
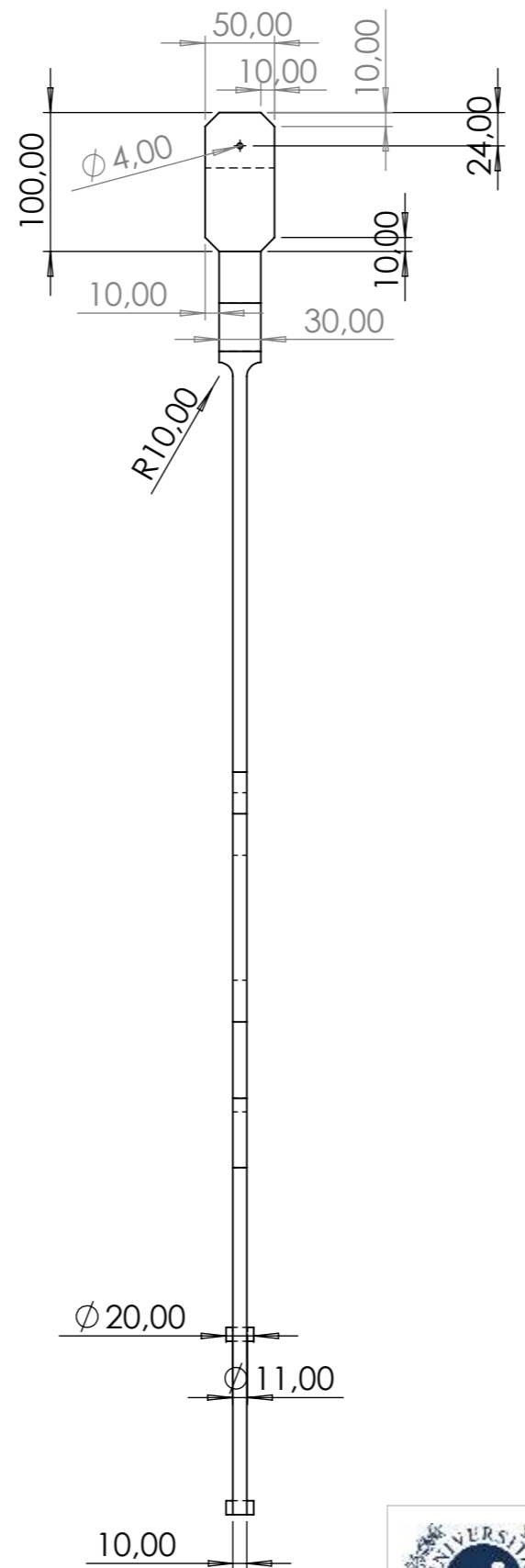
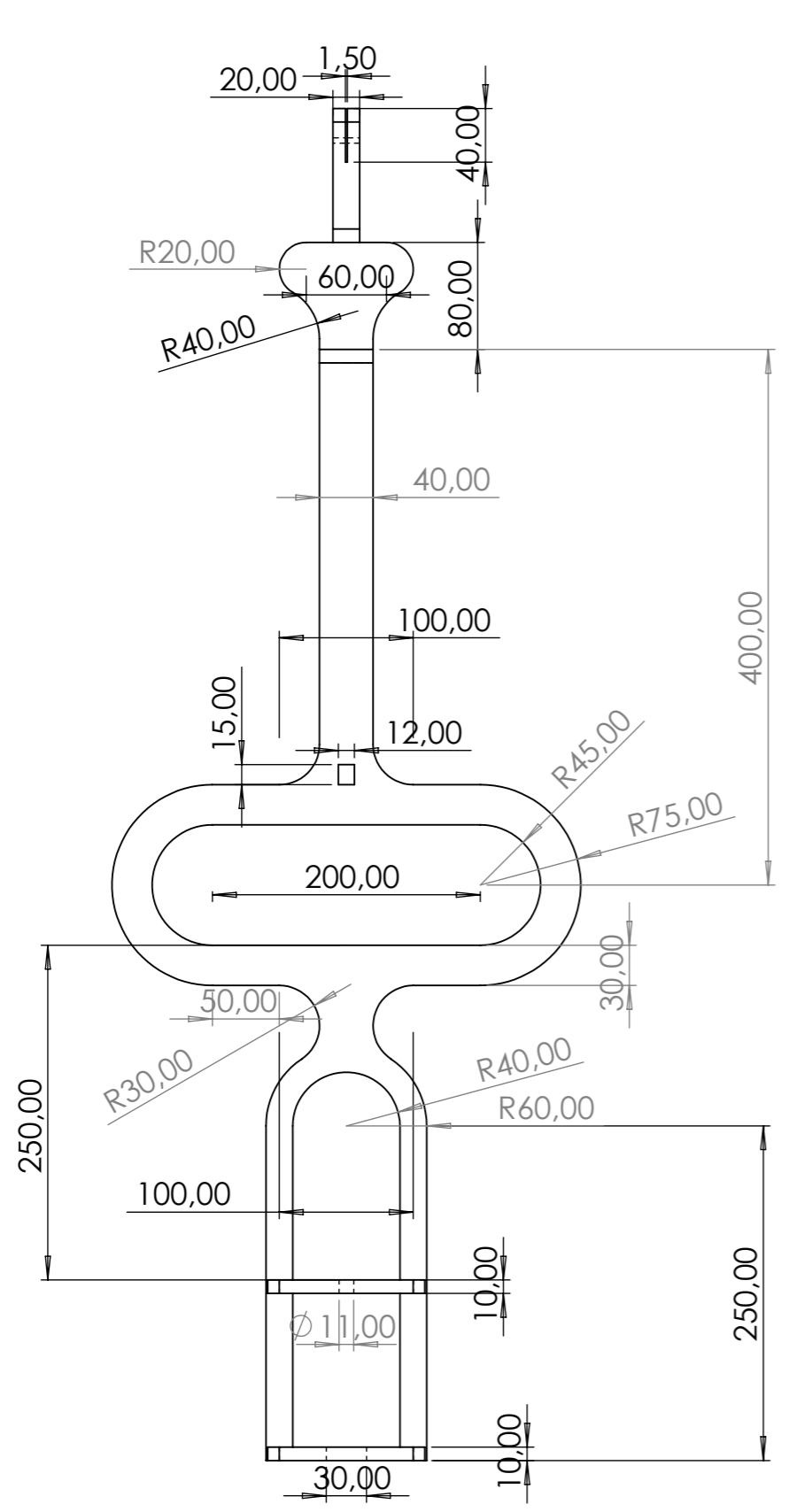
TAMAÑO DE HOJA:  
A3

FECHA:  
12/01/2026



HOJA  
52

8 7 6 5 4 3 2 1

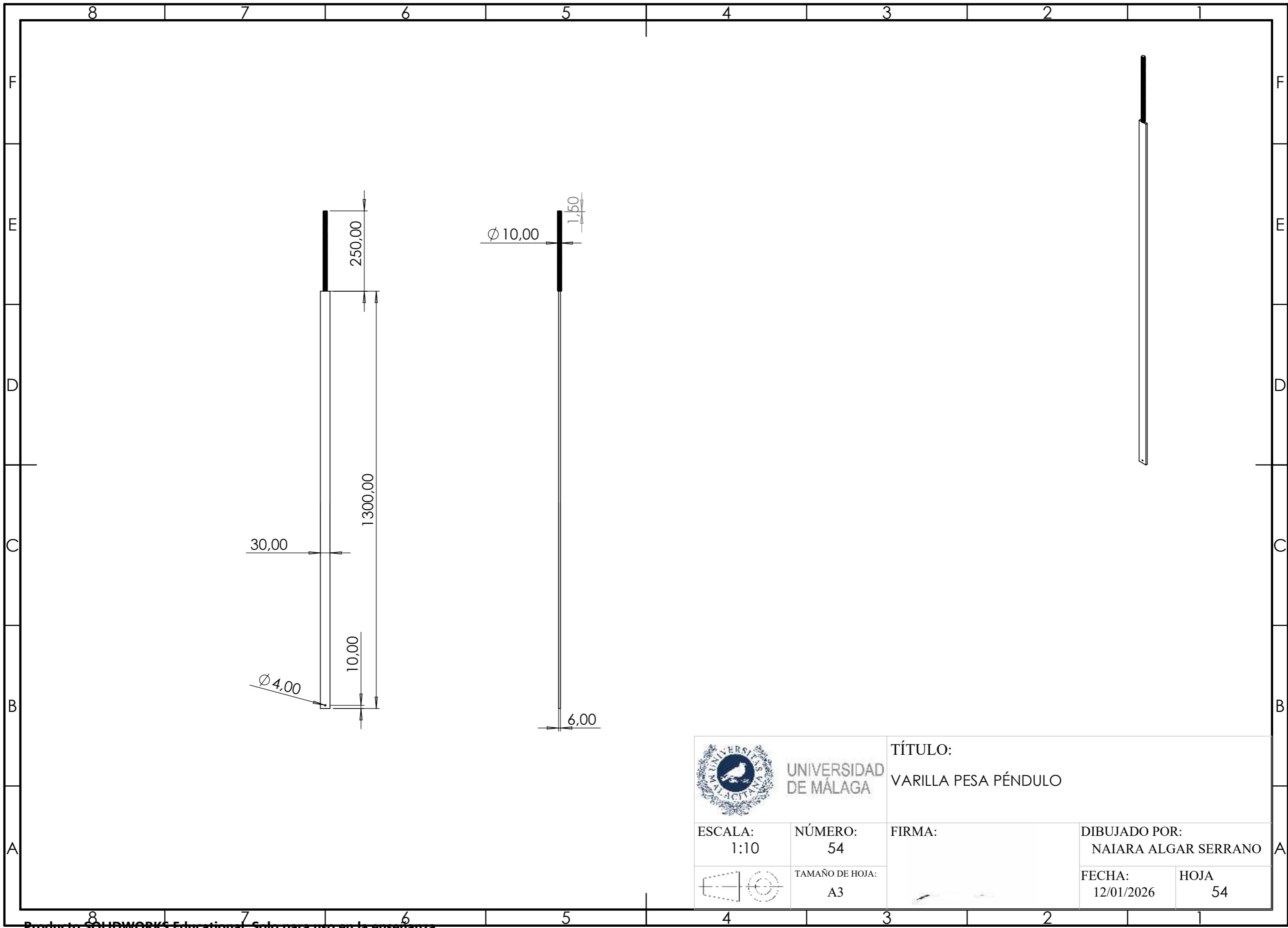
F  
E  
D  
C  
B  
A



ESCALA 1:10

 UNIVERSIDAD DE MÁLAGA	TÍTULO: VARILLA AMARRE PÉNDULO		
	ESCALA: 1:5	NÚMERO: 53	FIRMA:
 TAMAÑO DE HOJA: A3	DIBUJADO POR: NAIARA ALGAR SERRANO		HOJA 53
	FECHA: 12/01/2026		

8 7 6 5 4 3 2 1



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

TÍTULO:  
VARILLA PESA PÉNDULO

ESCALA:  
1:10

NÚMERO:  
54

FIRMA:

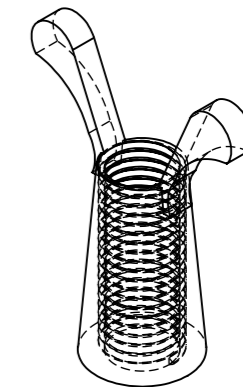
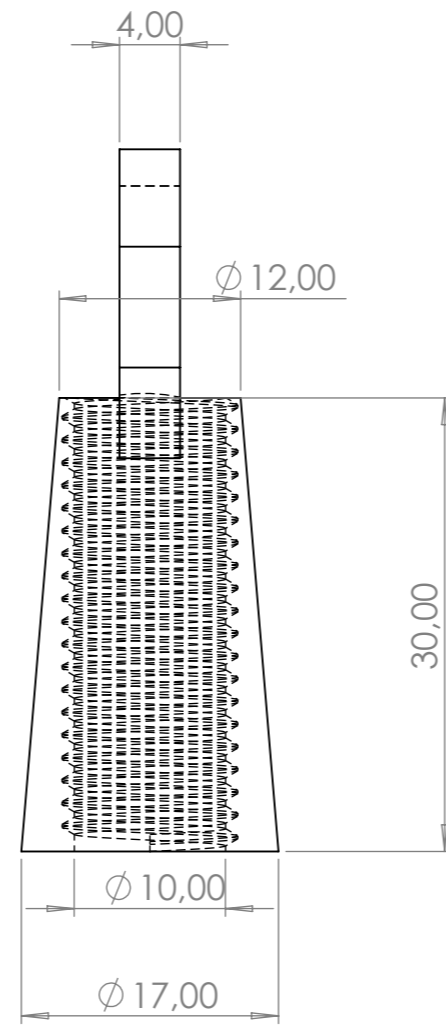
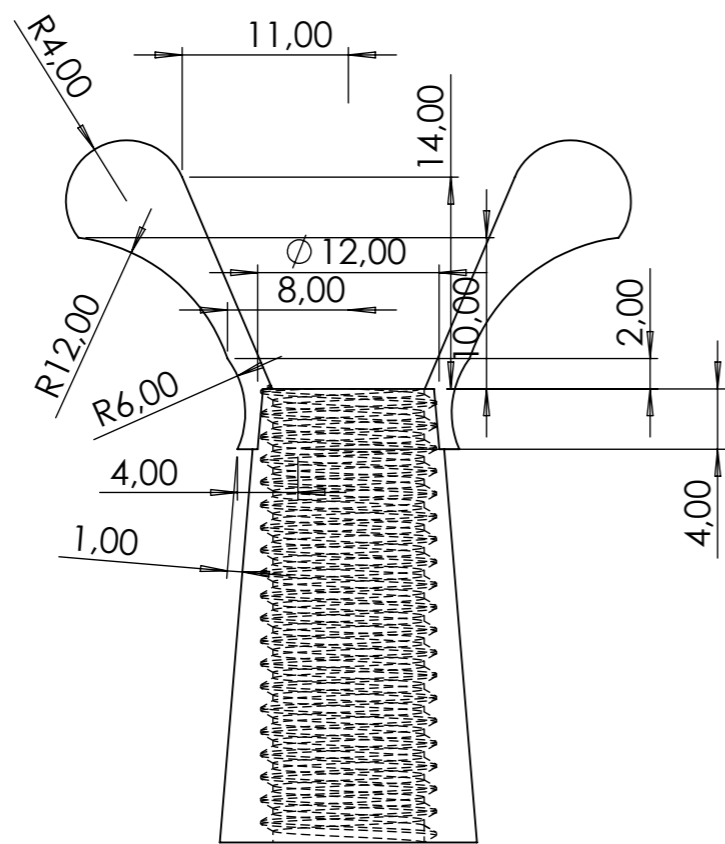
DIBUJADO POR:  
NAIARA ALGAR SERRANO



TAMAÑO DE HOJA:  
A3

FECHA:  
12/01/2026

HOJA  
54



ESCALA 1:1



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA

TÍTULO:  
PALOMETA PÉNDULO

ESCALA:  
2:1

NÚMERO:  
55

FIRMA:

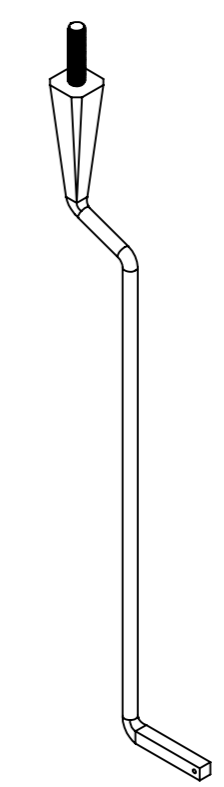
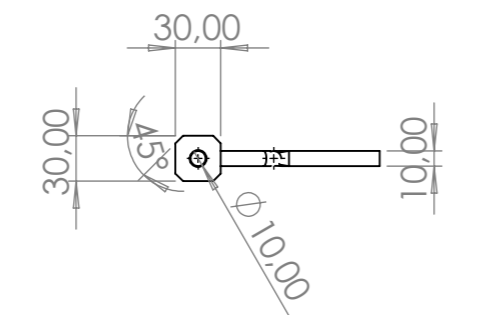
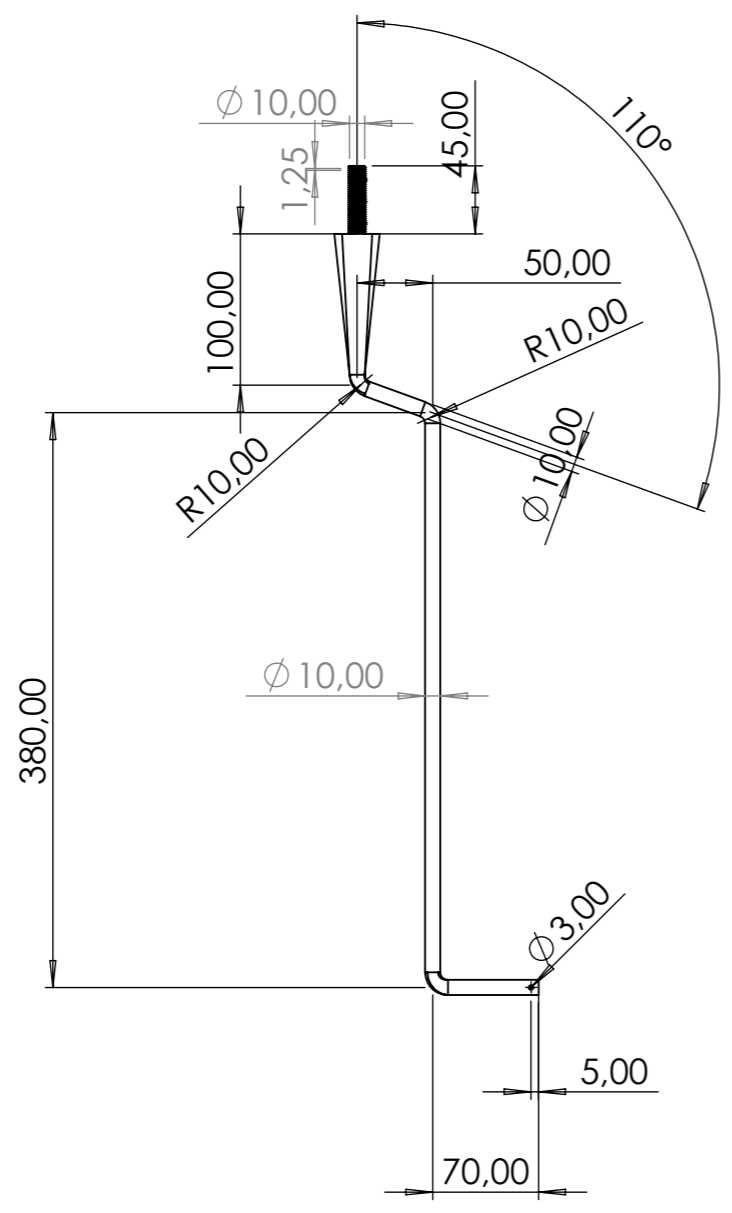
DIBUJADO POR:  
NAIARA ALGAR SERRANO





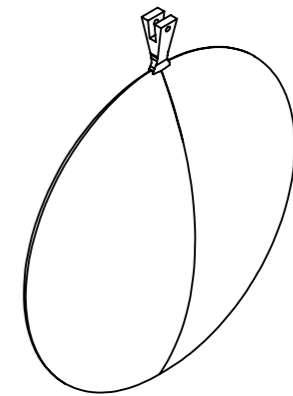
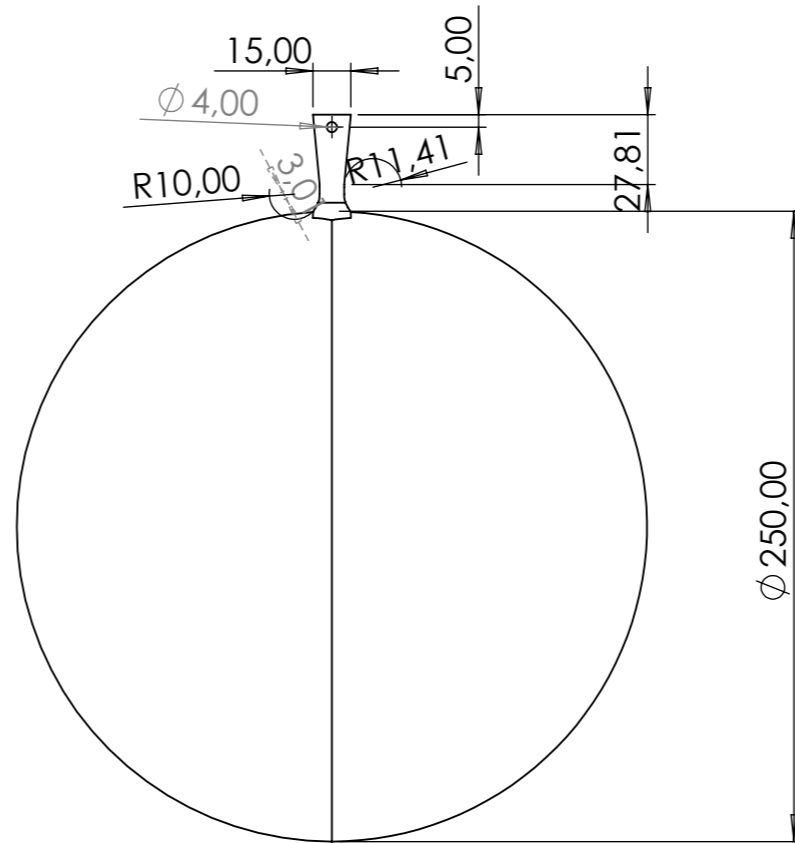
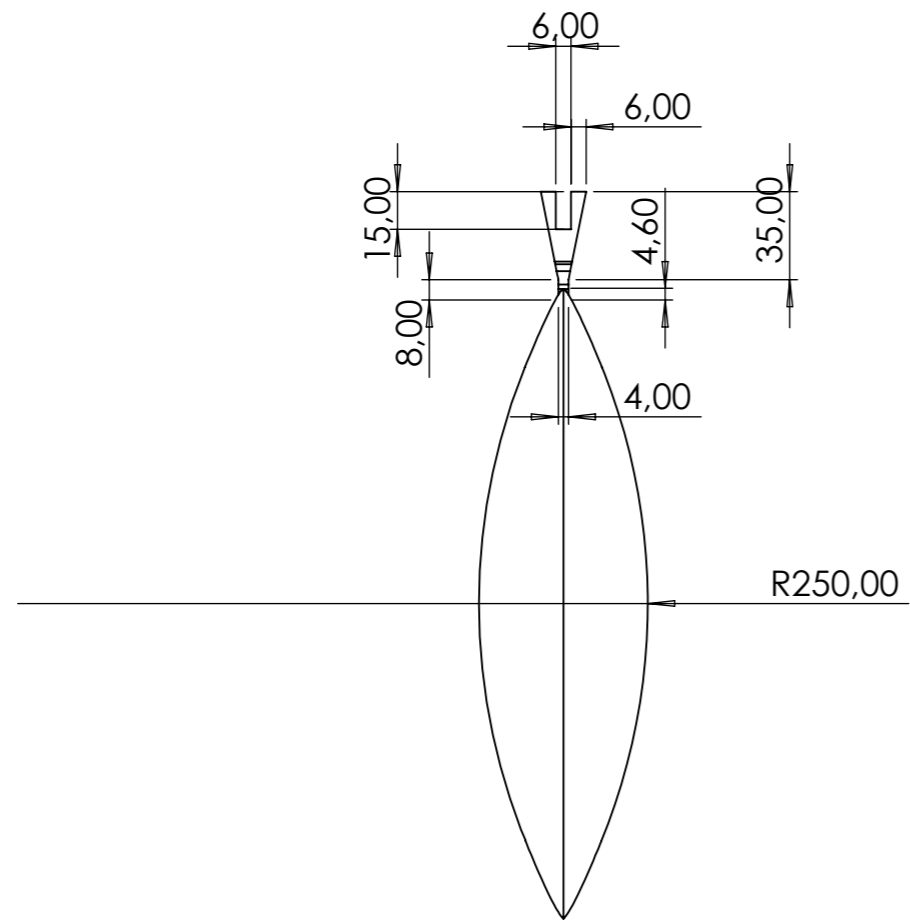
TAMAÑO DE HOJA:  
A3

FECHA:  
12/01/2026



HOJA  
55

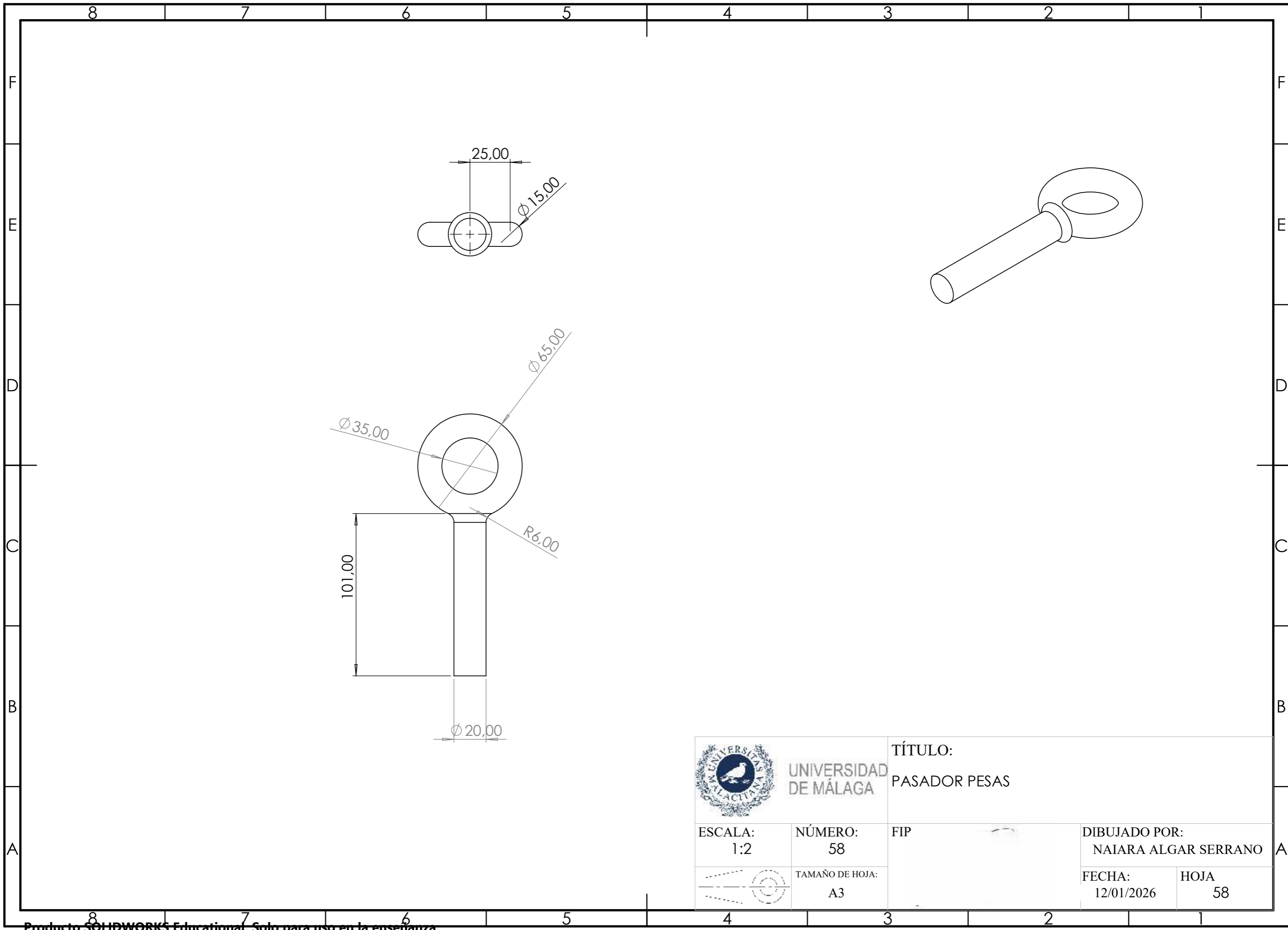


 <b>UNIVERSIDAD DE MÁLAGA</b>		<b>TÍTULO:</b> TENEDOR	
<b>ESCALA:</b> 1:5	<b>NÚMERO:</b> 56	<b>FIRMA:</b>	<b>DIBUJADO POR:</b> NAIARA ALGAR SERRANO
 <b>TAMAÑO DE HOJA:</b> A3		<b>FECHA:</b> 12/01/2026	<b>HOJA:</b> 56



ESCALA 1:5

 UNIVERSIDAD DE MÁLAGA		TÍTULO: PESA PÉNDULO	
ESCALA: 1:3	NÚMERO: 57	FIR	DIBUJADO POR: NAIARA ALGAR SERRANO
 TAMAÑO DE HOJA: A3		FECHA: 12/01/2026	HOJA: 57



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

TÍTULO:  
PASADOR PESAS

ESCALA:  
1:2

NÚMERO:  
58

FIP

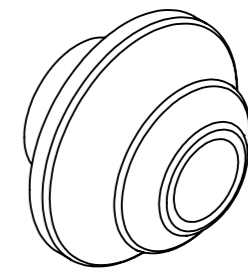
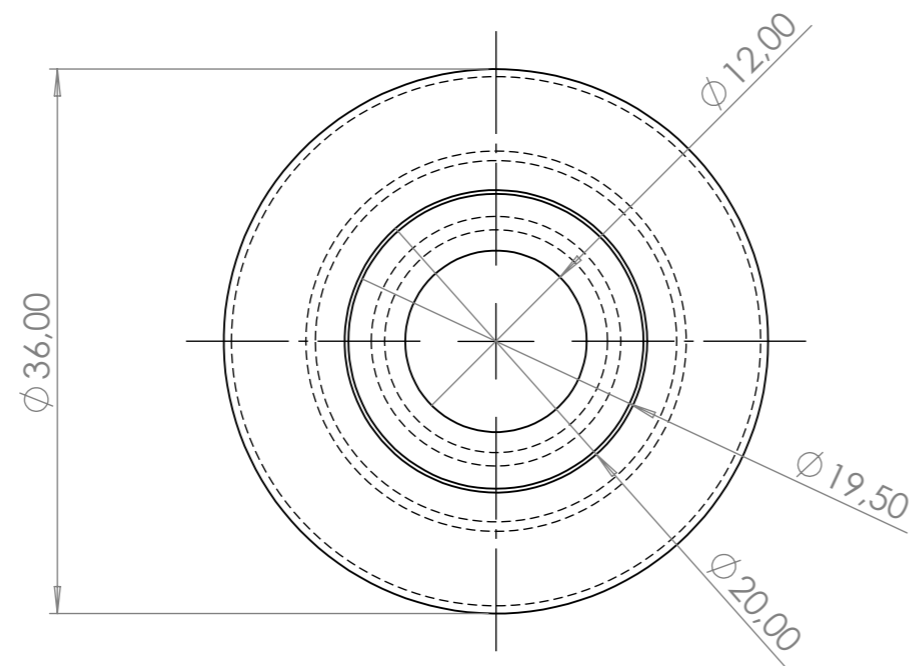
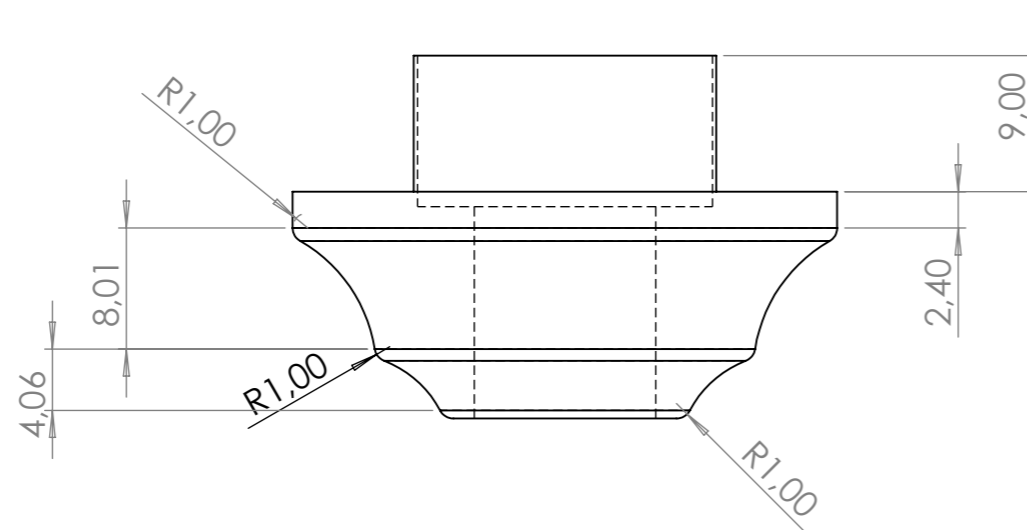
DIBUJADO POR:  
NAIARA ALGAR SERRANO



TAMAÑO DE HOJA:  
A3

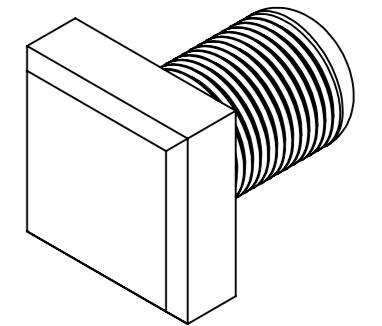
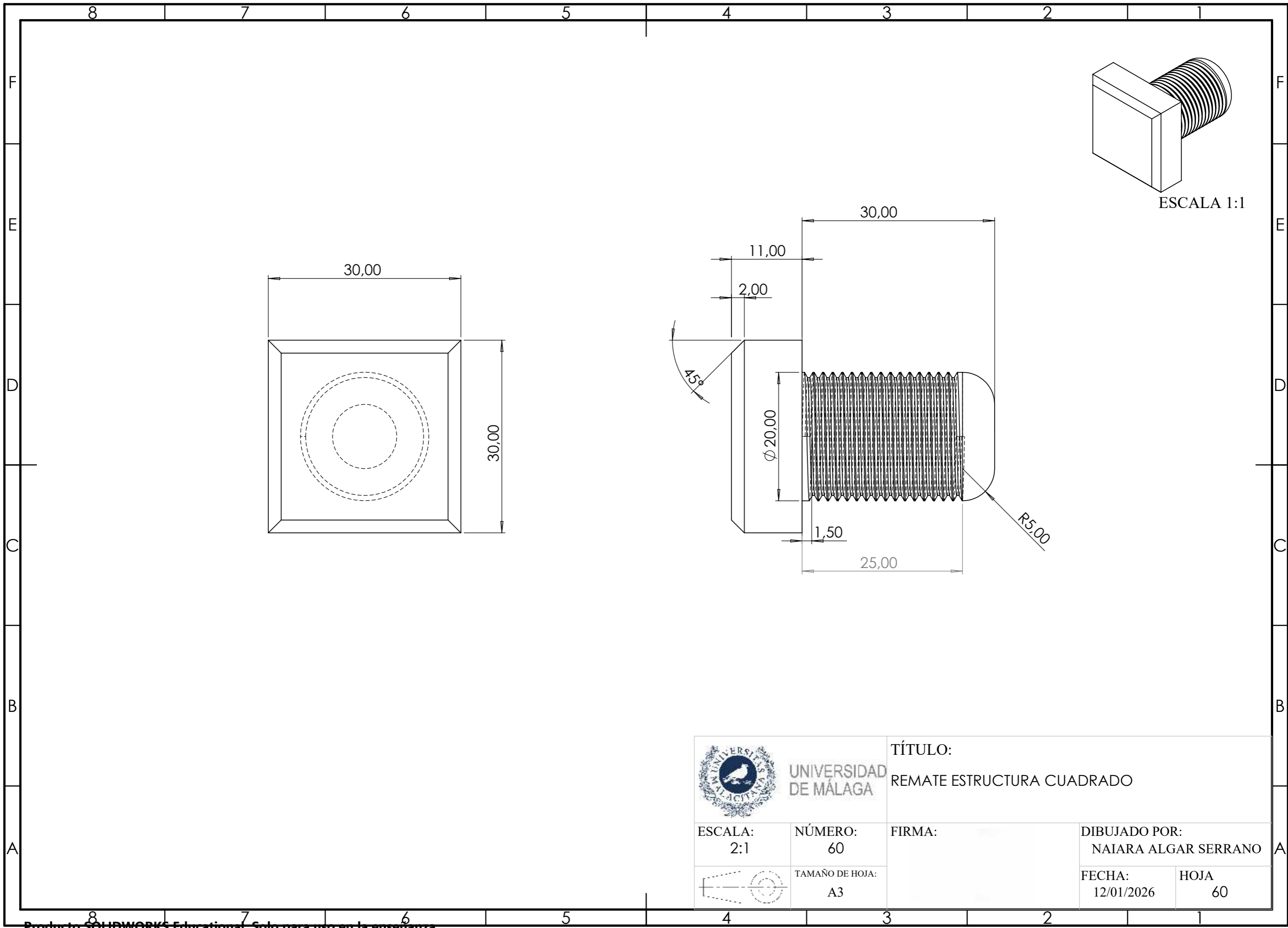
FECHA:  
12/01/2026

HOJA  
58

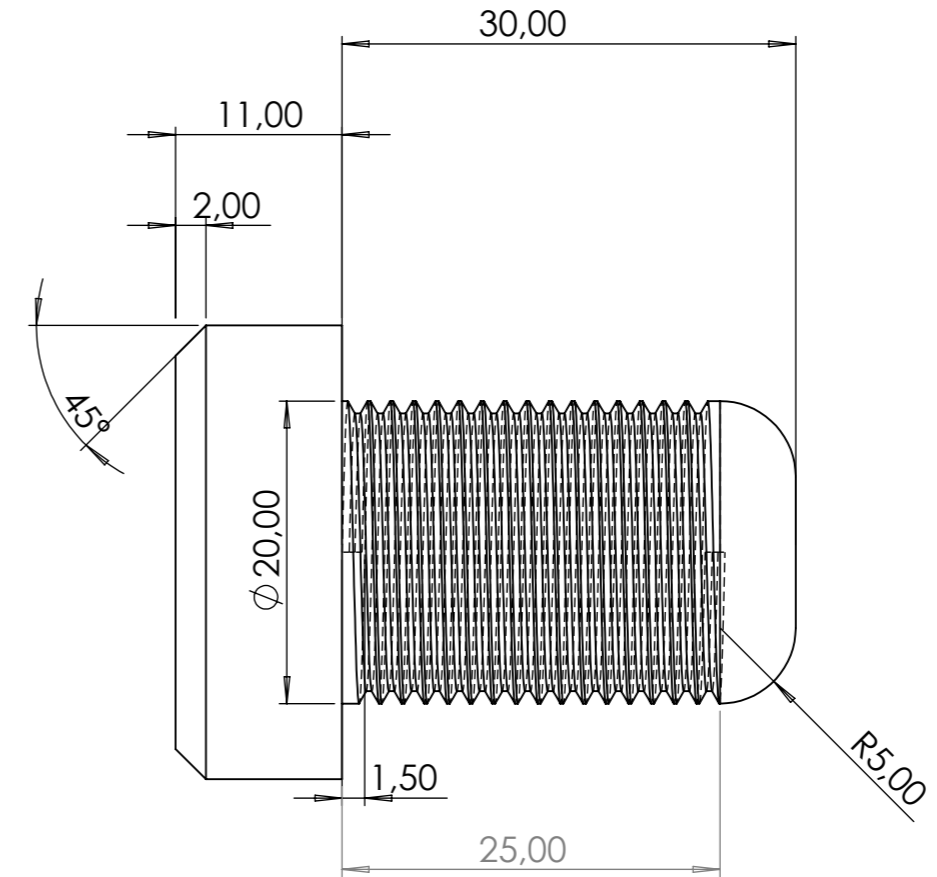
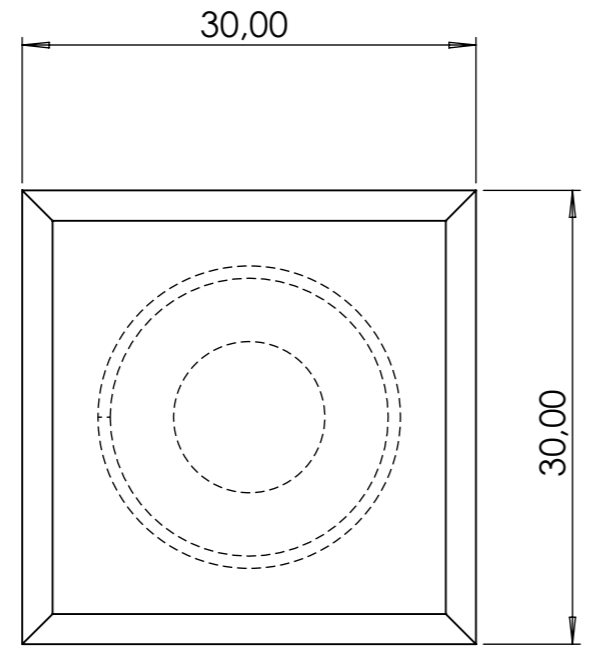


ESCALA 1:1

 UNIVERSIDAD DE MÁLAGA	TÍTULO: TOPE EJES		
	ESCALA: 2:1	NÚMERO: 59	FIF
	TAMAÑO DE HOJA: A3	FECHA: 12/01/2026	HOJA 59



ESCALA 1:1



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

TÍTULO:  
REMATE ESTRUCTURA CUADRADO

ESCALA:  
2:1

NÚMERO:  
60

FIRMA:

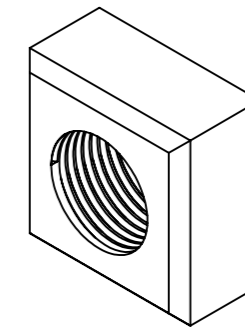
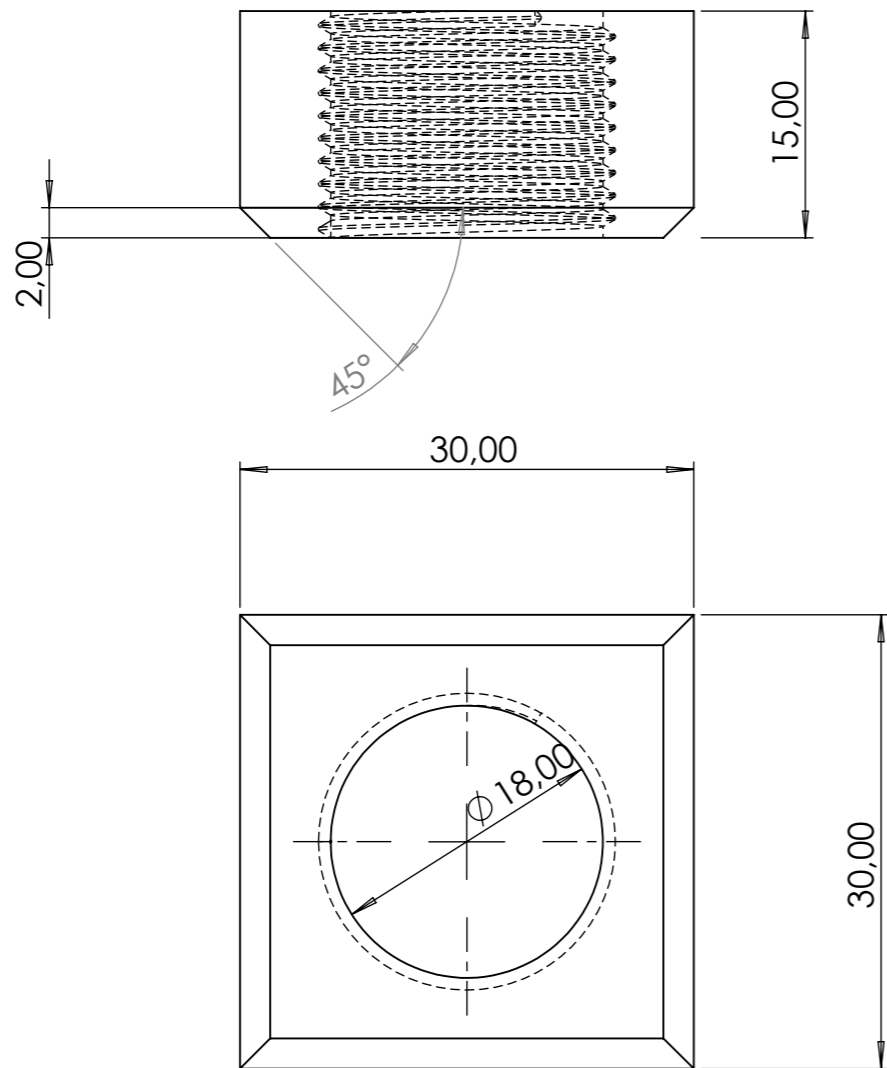
DIBUJADO POR:  
NAIARA ALGAR SERRANO





TAMAÑO DE HOJA:  
A3

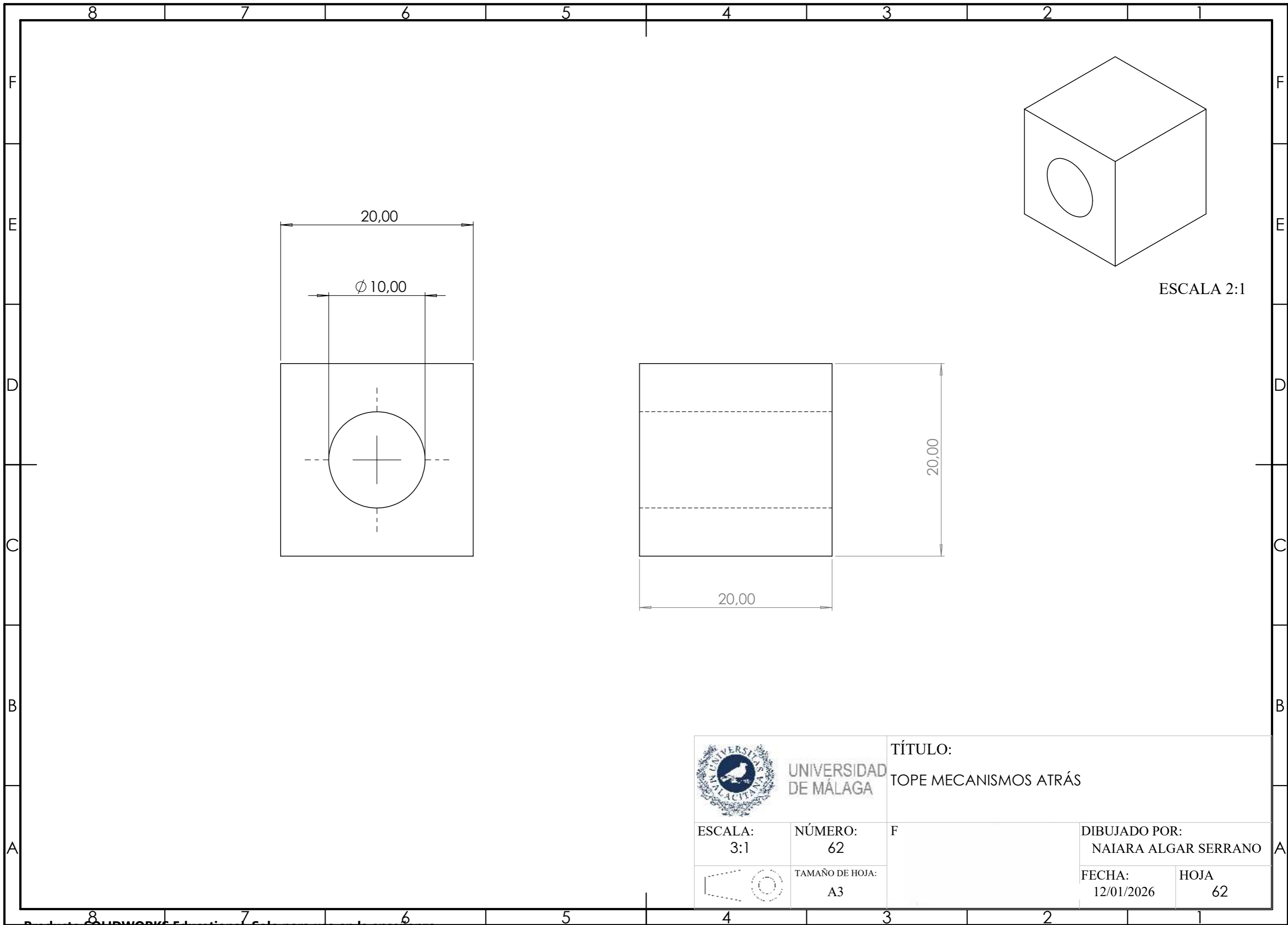
FECHA:  
12/01/2026

HOJA  
60





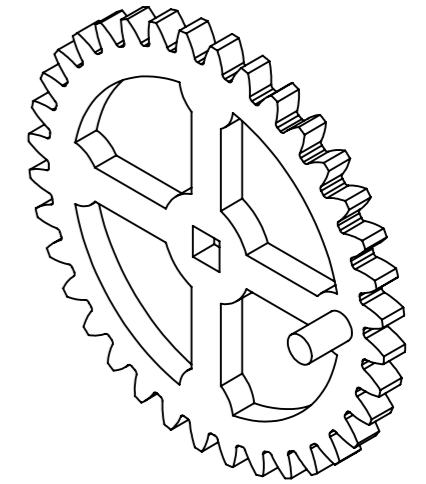
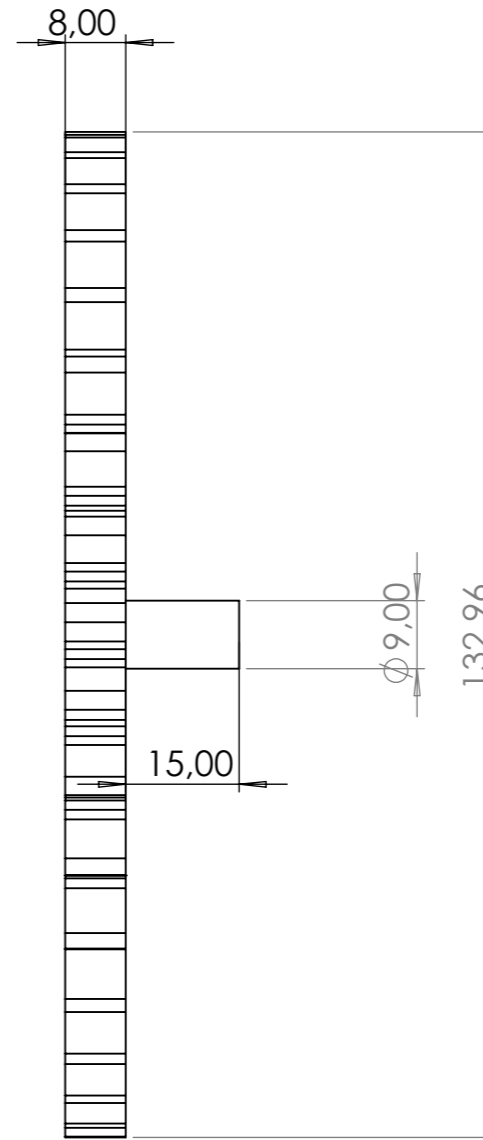
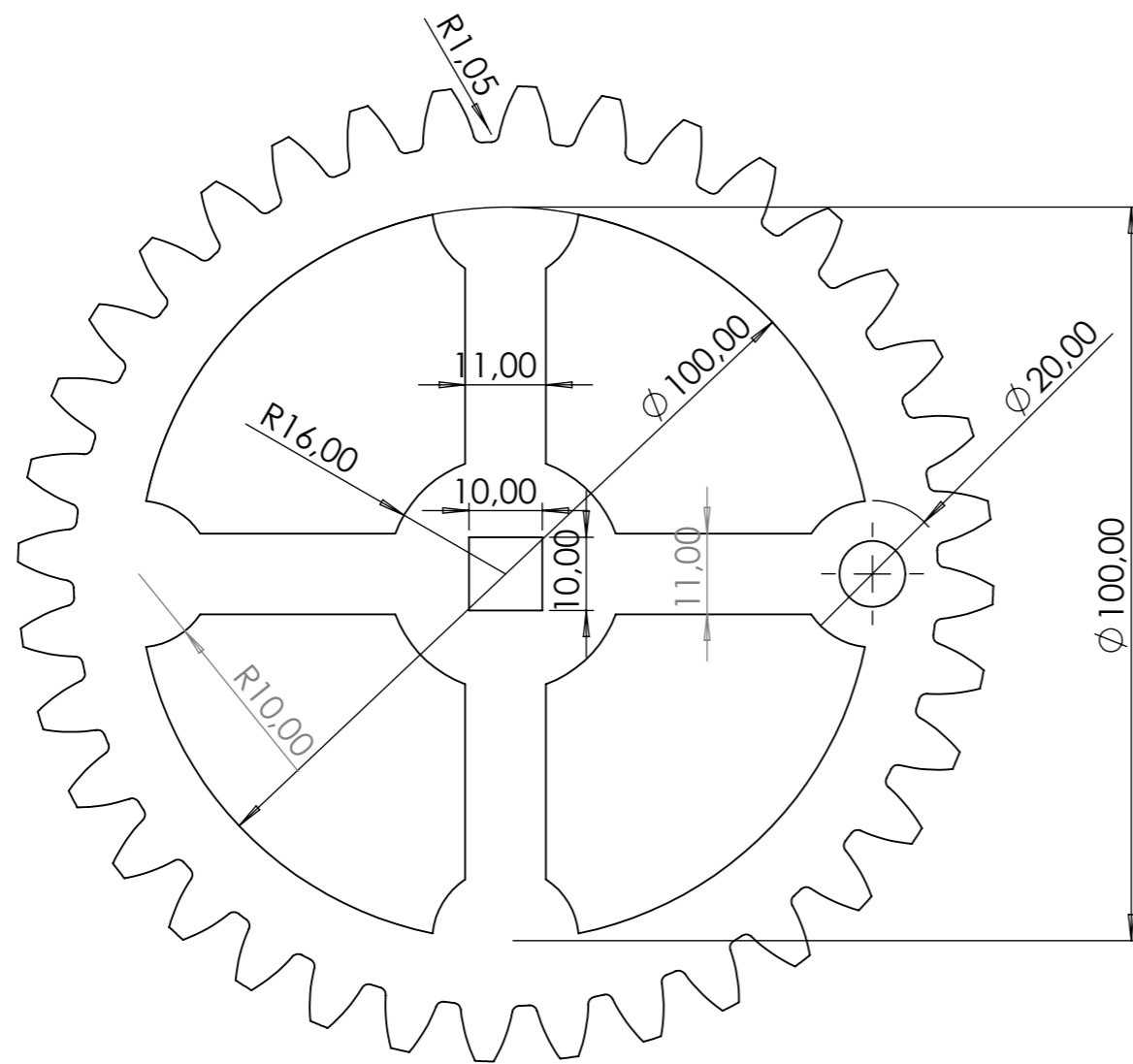
ESCALA 1:1

 UNIVERSIDAD DE MÁLAGA		TÍTULO: CASQUILLO AJUSTE EJES	
ESCALA: 2:1	NÚMERO: 61	FIRMA:	DIBUJADO POR: NAIARA ALGAR SERRANO
 TAMAÑO DE HOJA: A3		FECHA: 12/01/2026	HOJA: 61





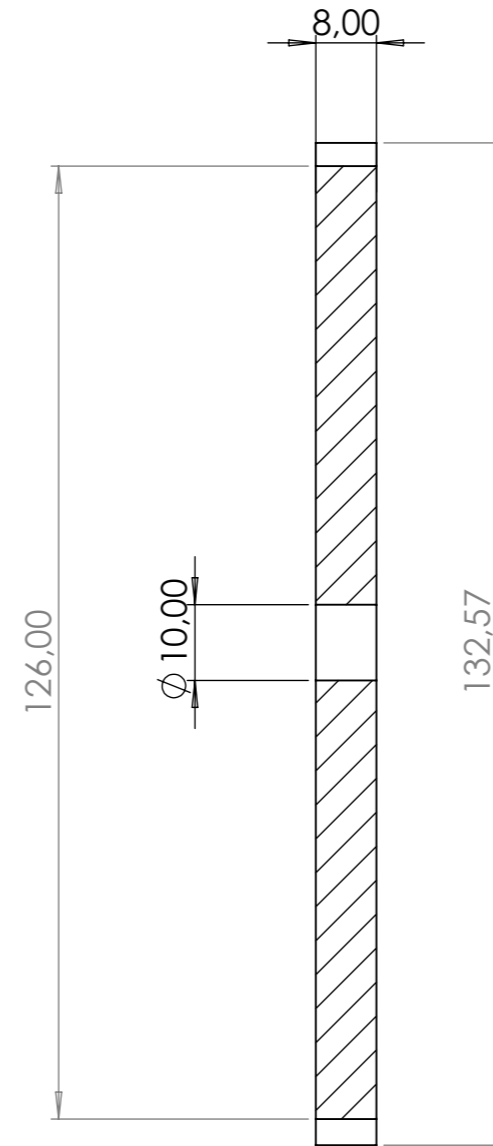
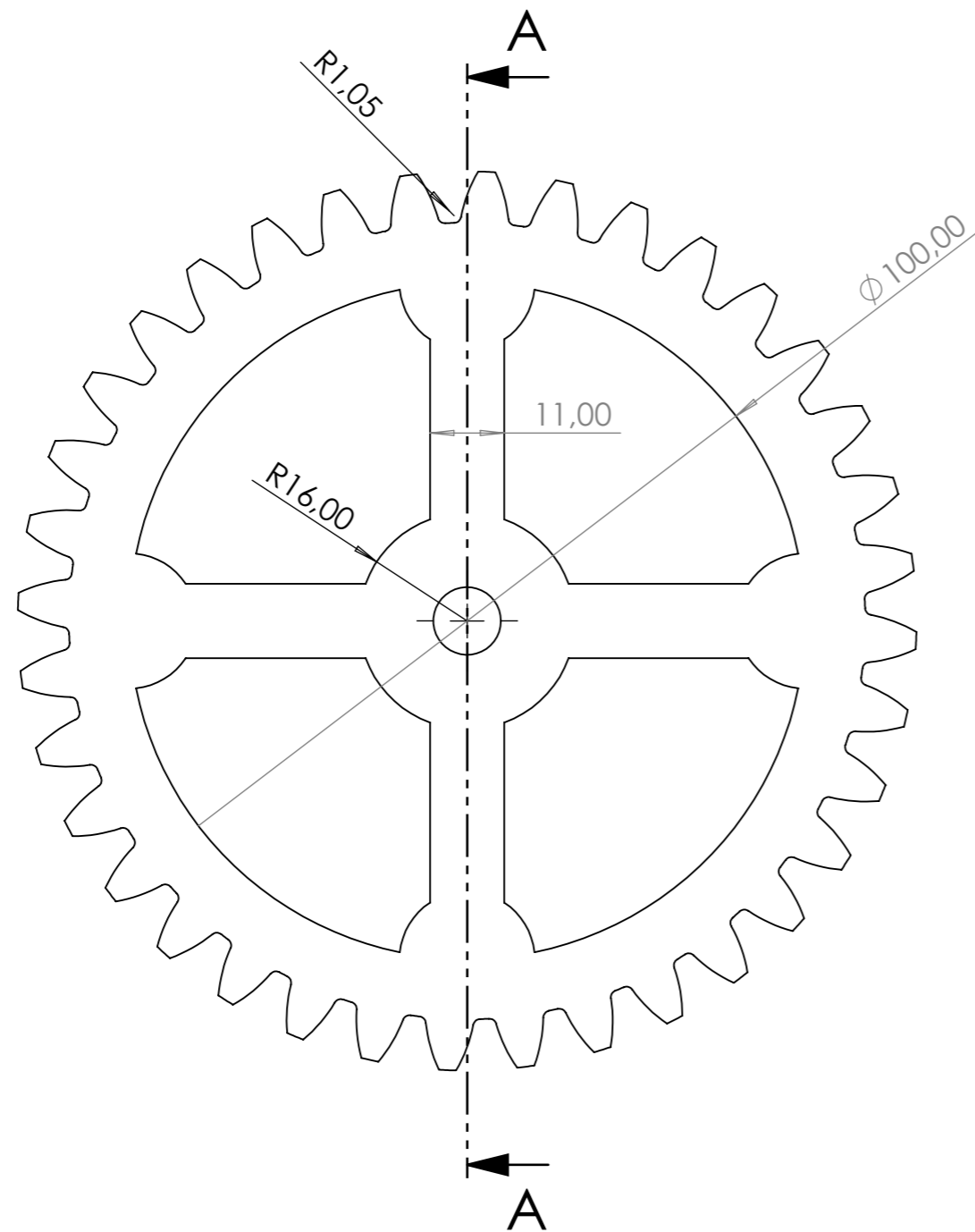
ESCALA 2:1

 <b>UNIVERSIDAD DE MÁLAGA</b>		<b>TÍTULO:</b> TOPE MECANISMOS ATRÁS	
<b>ESCALA:</b> 3:1	<b>NÚMERO:</b> 62	F	<b>DIBUJADO POR:</b> NAIARA ALGAR SERRANO
 <b>TAMAÑO DE HOJA:</b> A3			<b>FECHA:</b> 12/01/2026

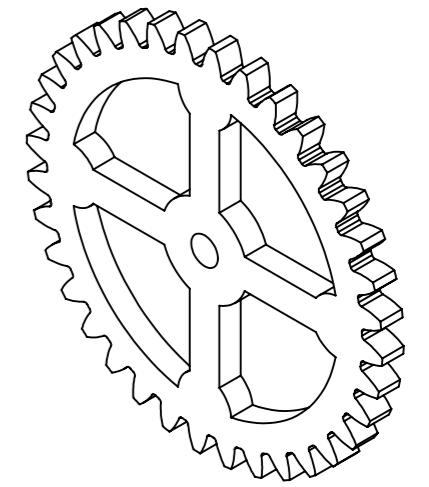


ESCALA 1:2



	<b>UNIVERSIDAD DE MÁLAGA</b>	<b>TÍTULO:</b> ENGRANAJE ATRÁS 1 PIVOTE	
		<b>ESCALA:</b> 1:1	<b>NÚMERO:</b> 63
	<b>TAMAÑO DE HOJA:</b> A3	<b>FECHA:</b> 12/01/2026	<b>HOJA:</b> 63

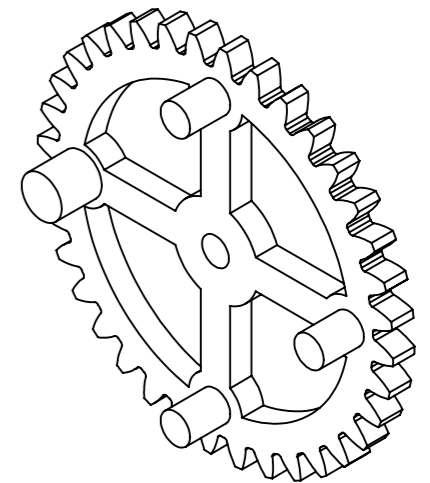
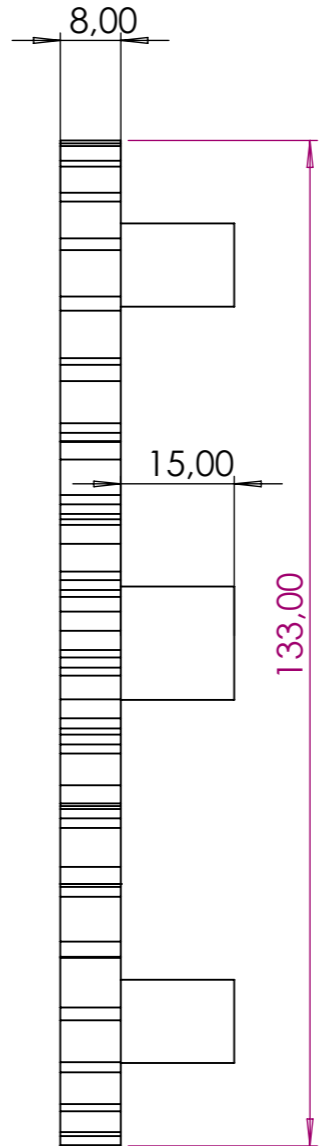
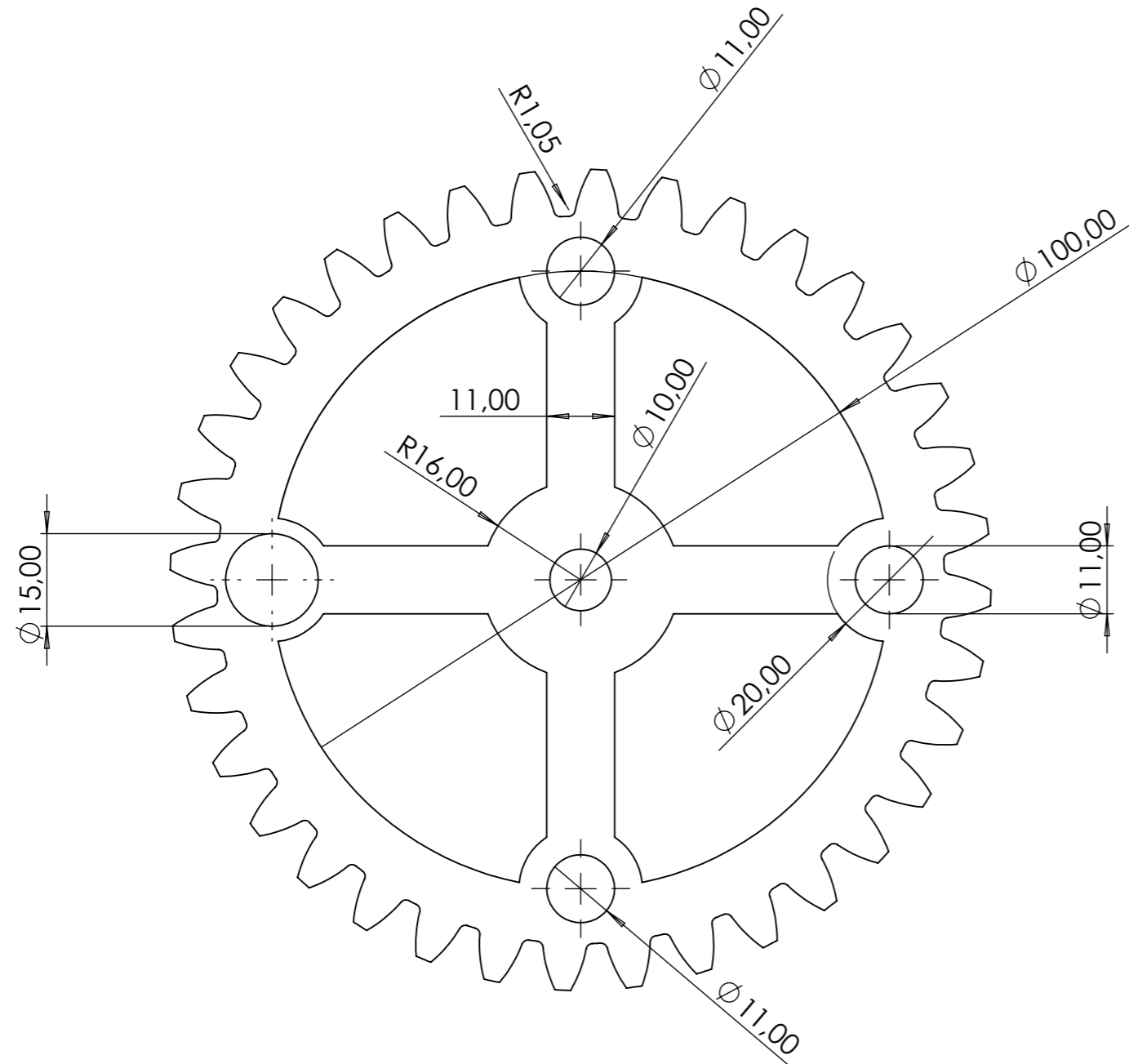


SECCIÓN A-A





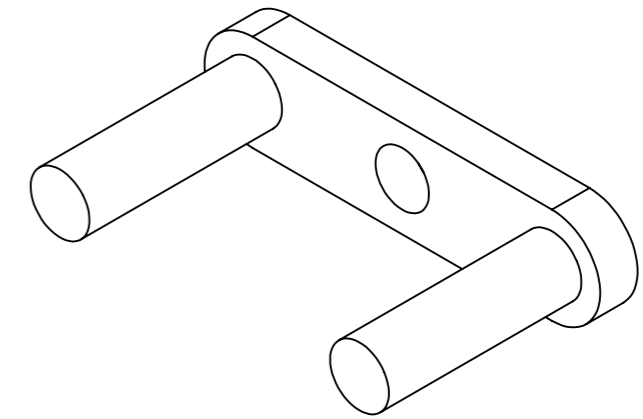
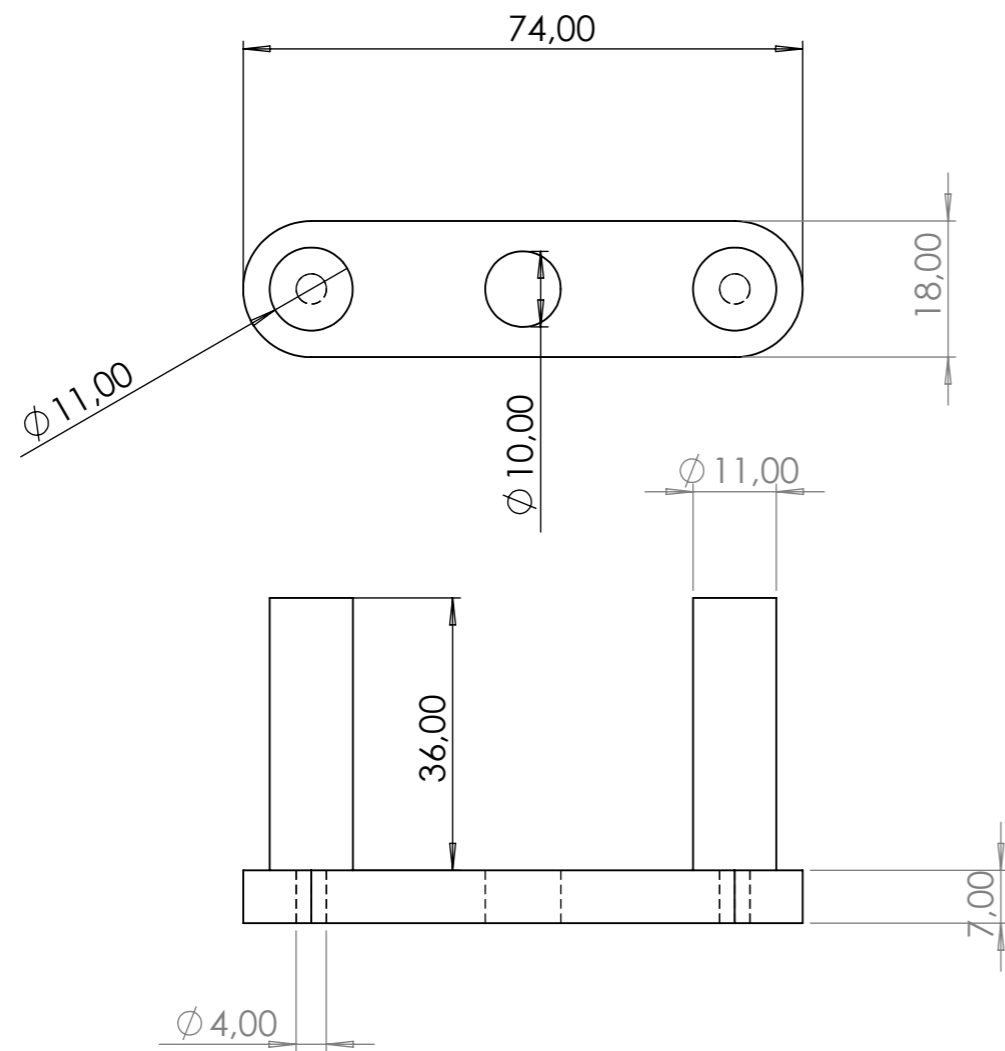
ESCALA 1:2

 UNIVERSIDAD DE MÁLAGA		TÍTULO: ENGRANAJE ATRÁS	
ESCALA: 1:1	NÚMERO: 64	FIRMA:	DIBUJADO POR: NAIARA ALGAR SERRANO
 TAMAÑO DE HOJA: A3		FECHA: 12/01/2026	HOJA: 64

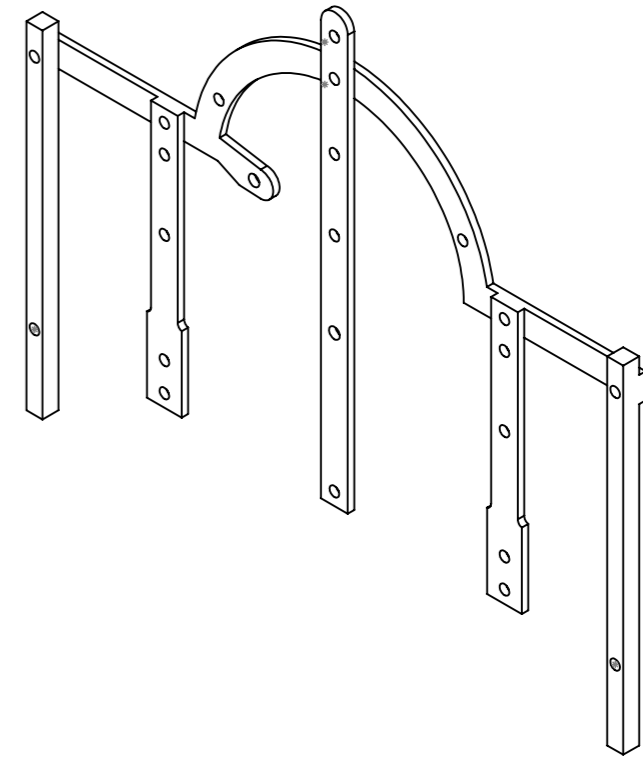
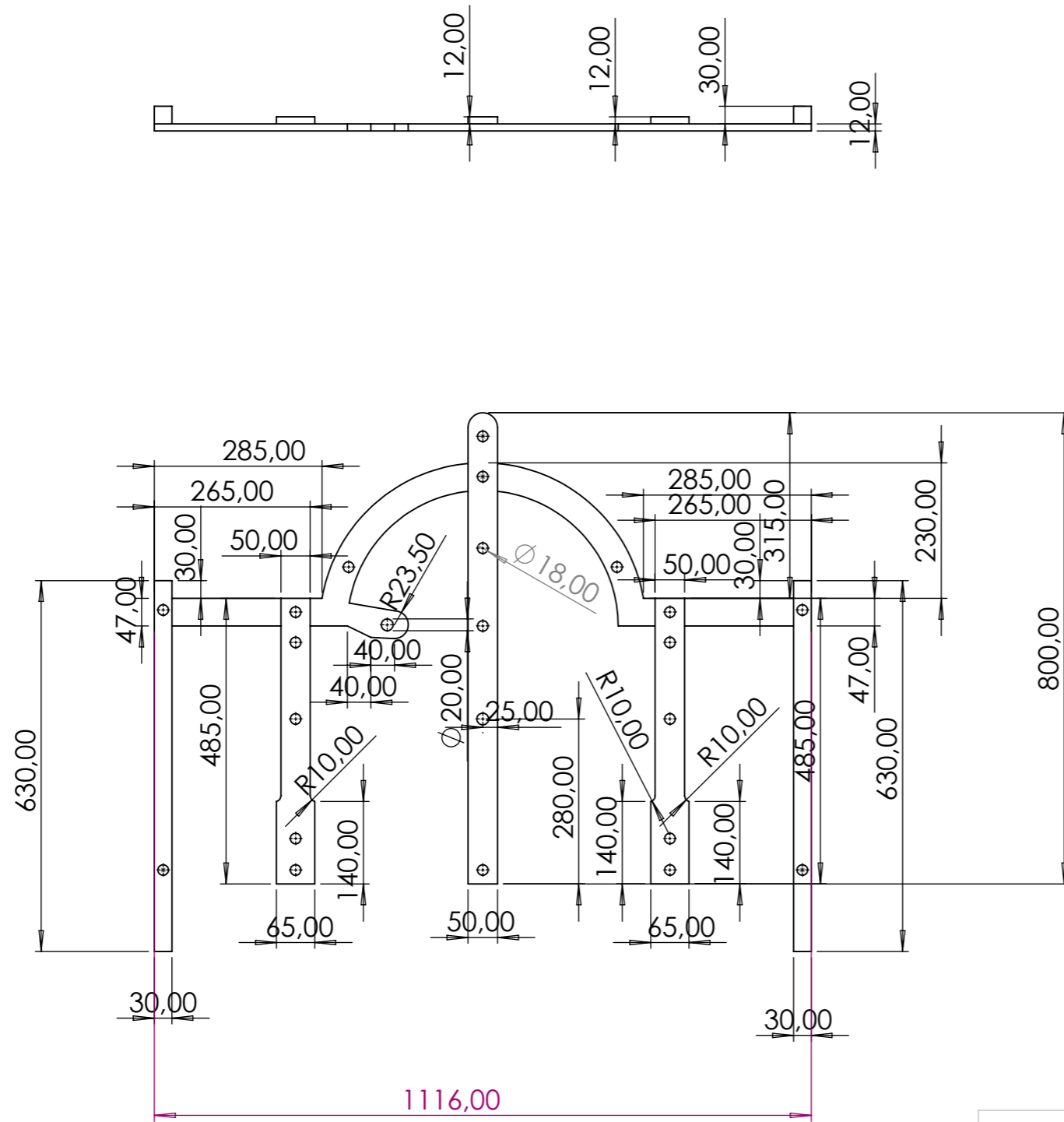




ESCALA 1:2

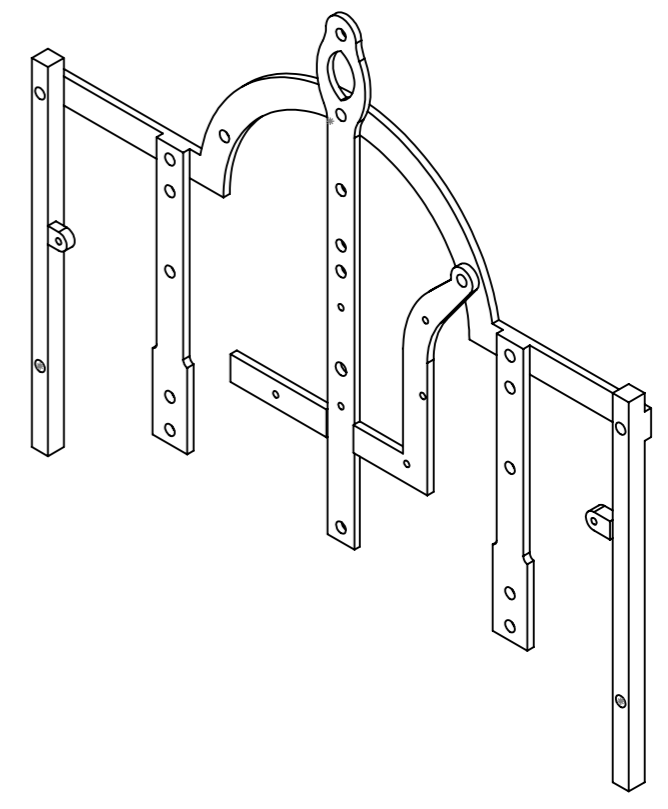
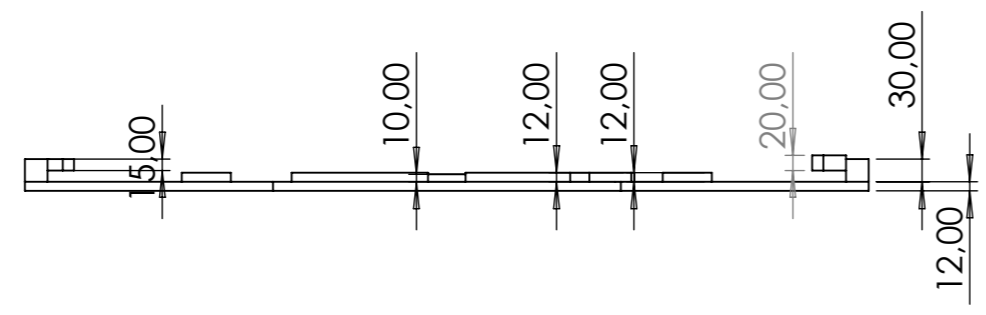
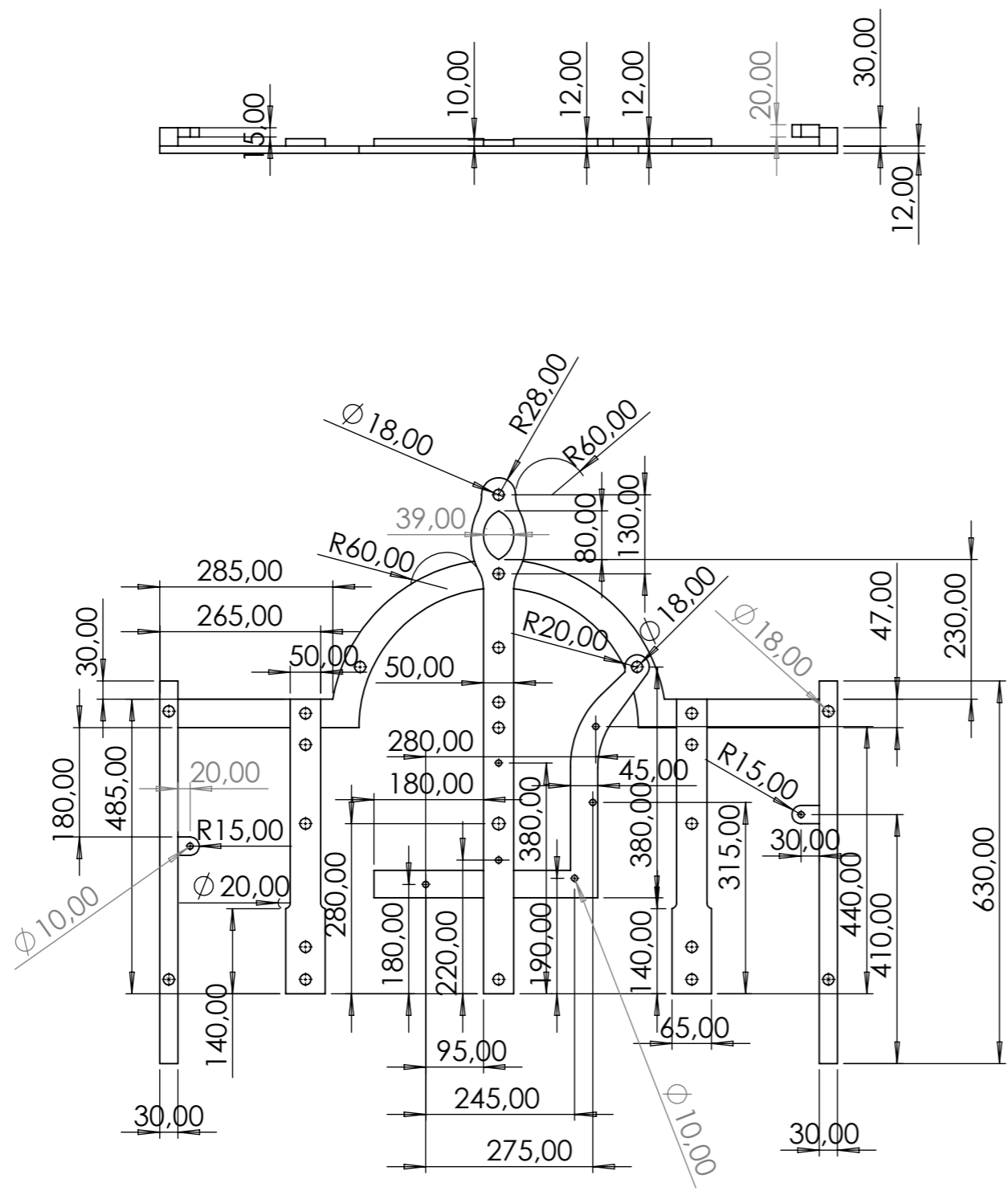
 <b>UNIVERSIDAD DE MÁLAGA</b>		<b>TÍTULO:</b> ENGRANAJE ATRÁS 4 PIVOTES	
<b>ESCALA:</b> 1:1	<b>NÚMERO:</b> 65	<b>FIRMAR:</b>	<b>DIBUJADO POR:</b> NAIARA ALGAR SERRANO
		<b>TAMAÑO DE HOJA:</b> A3	<b>FECHA:</b> 12/01/2026
			<b>HOJA:</b> 65





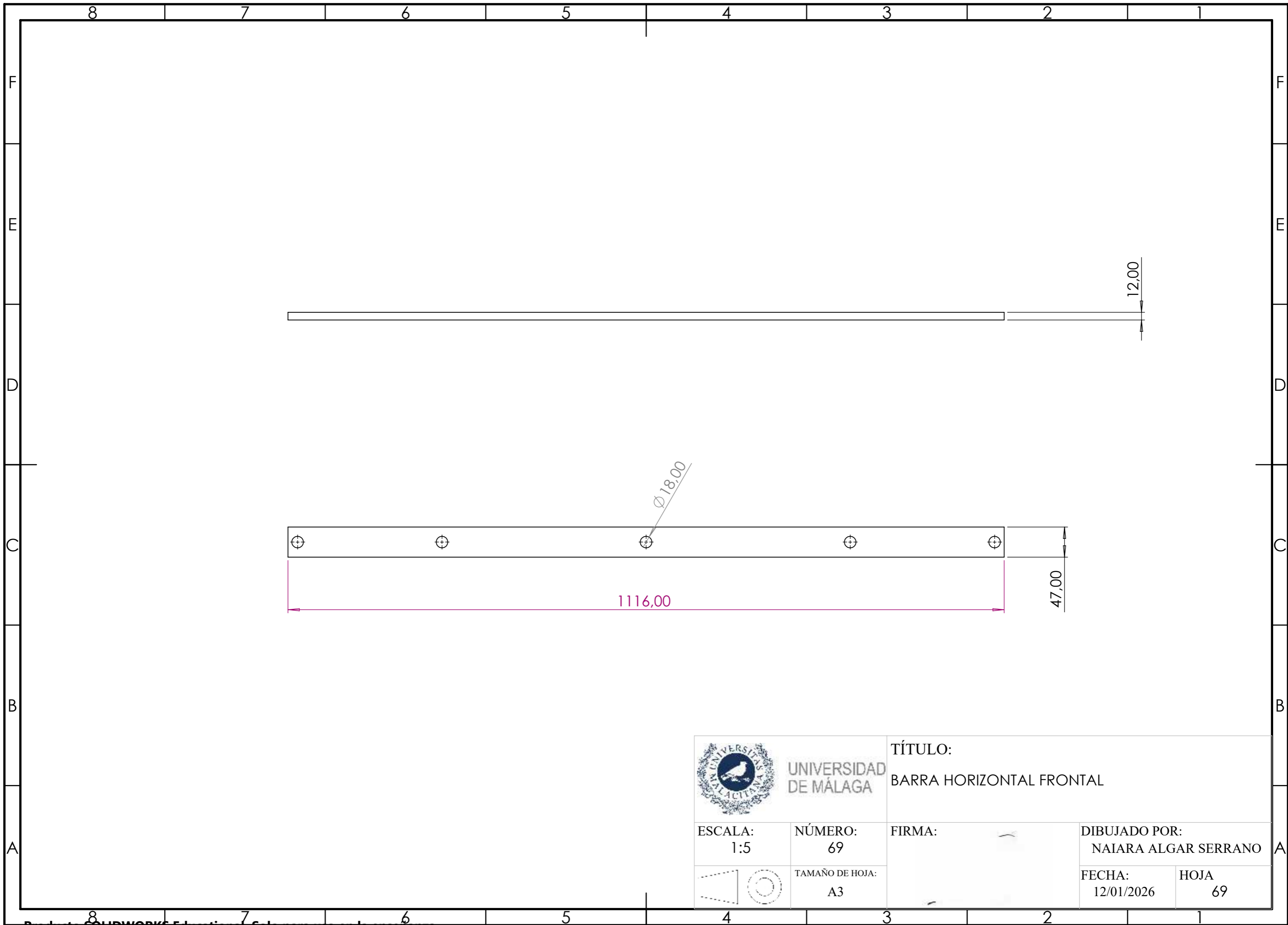
 UNIVERSIDAD DE MÁLAGA		TÍTULO: PIVOTE DOBLE	
ESCALA: 1:1	NÚMERO: 66	FI	DIBUJADO POR: NAIARA ALGAR SERRANO
 TAMAÑO DE HOJA: A3		FECHA: 12/01/2026	HOJA: 66



 UNIVERSIDAD DE MÁLAGA		TÍTULO: ARCO DELANTERO	
ESCALA: 1:10	NÚMERO: 67	FIRMA:	DIBUJADO POR: NAIARA ALGAR SERRANO
 TAMAÑO DE HOJA: A3		FECHA: 12/01/2026	HOJA: 67



 <b>UNIVERSIDAD DE MÁLAGA</b>		<b>TÍTULO:</b> ARCO TRASERO	
<b>ESCALA:</b> 1:10	<b>NÚMERO:</b> 68	<b>FIRMA:</b>	<b>DIBUJADO POR:</b> NAIARA ALGAR SERRANO
		<b>TAMAÑO DE HOJA:</b> A3	<b>FECHA:</b> 12/01/2026
			<b>HOJA</b> 68



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

TÍTULO:  
BARRA HORIZONTAL FRONTAL

ESCALA:  
1:5

NÚMERO:  
69

FIRMA:

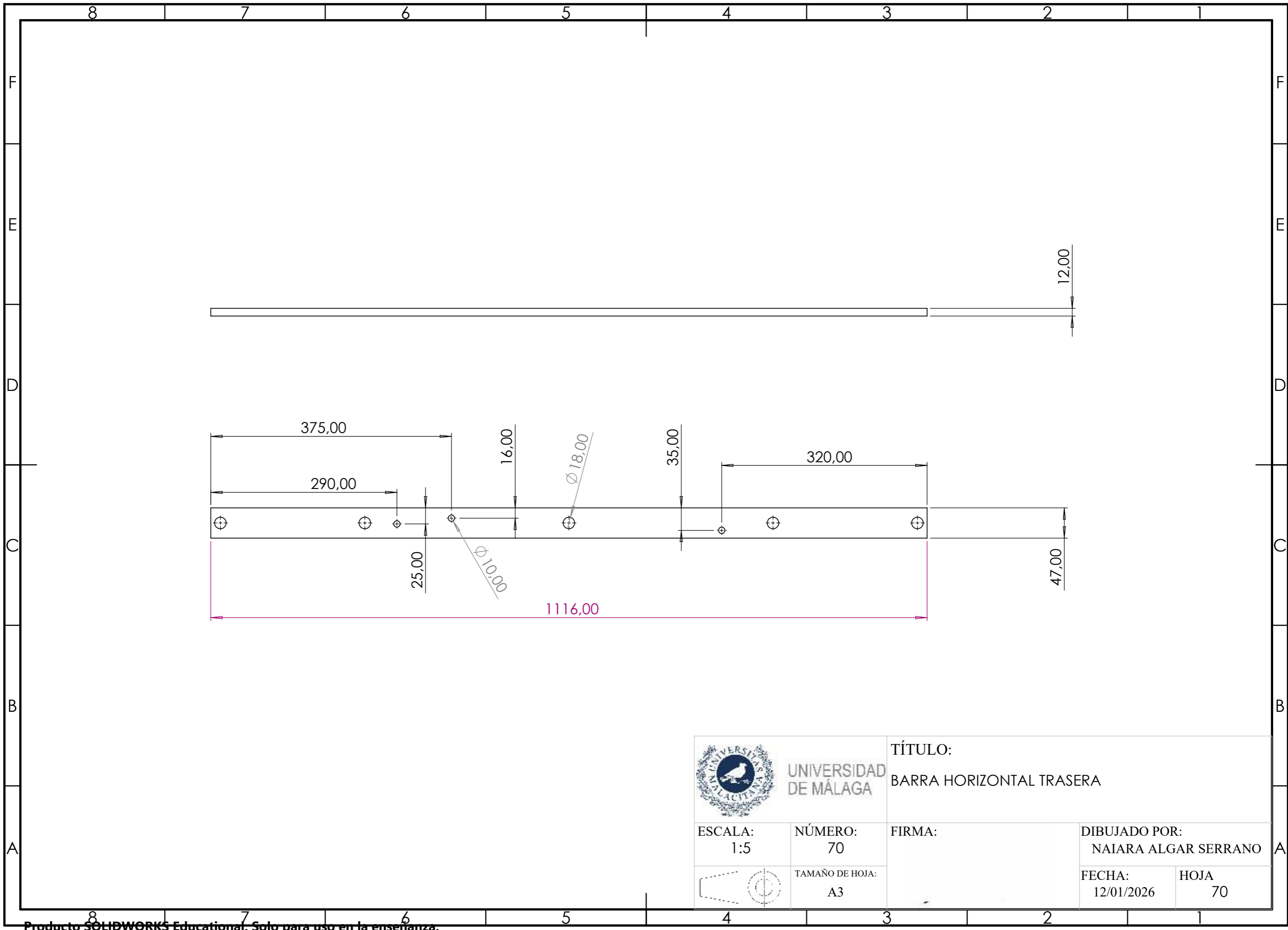
DIBUJADO POR:  
NAIARA ALGAR SERRANO



TAMAÑO DE HOJA:  
A3

FECHA:  
12/01/2026

HOJA  
69



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

TÍTULO:  
BARRA HORIZONTAL TRASERA

ESCALA:  
1:5

NÚMERO:  
70

FIRMA:

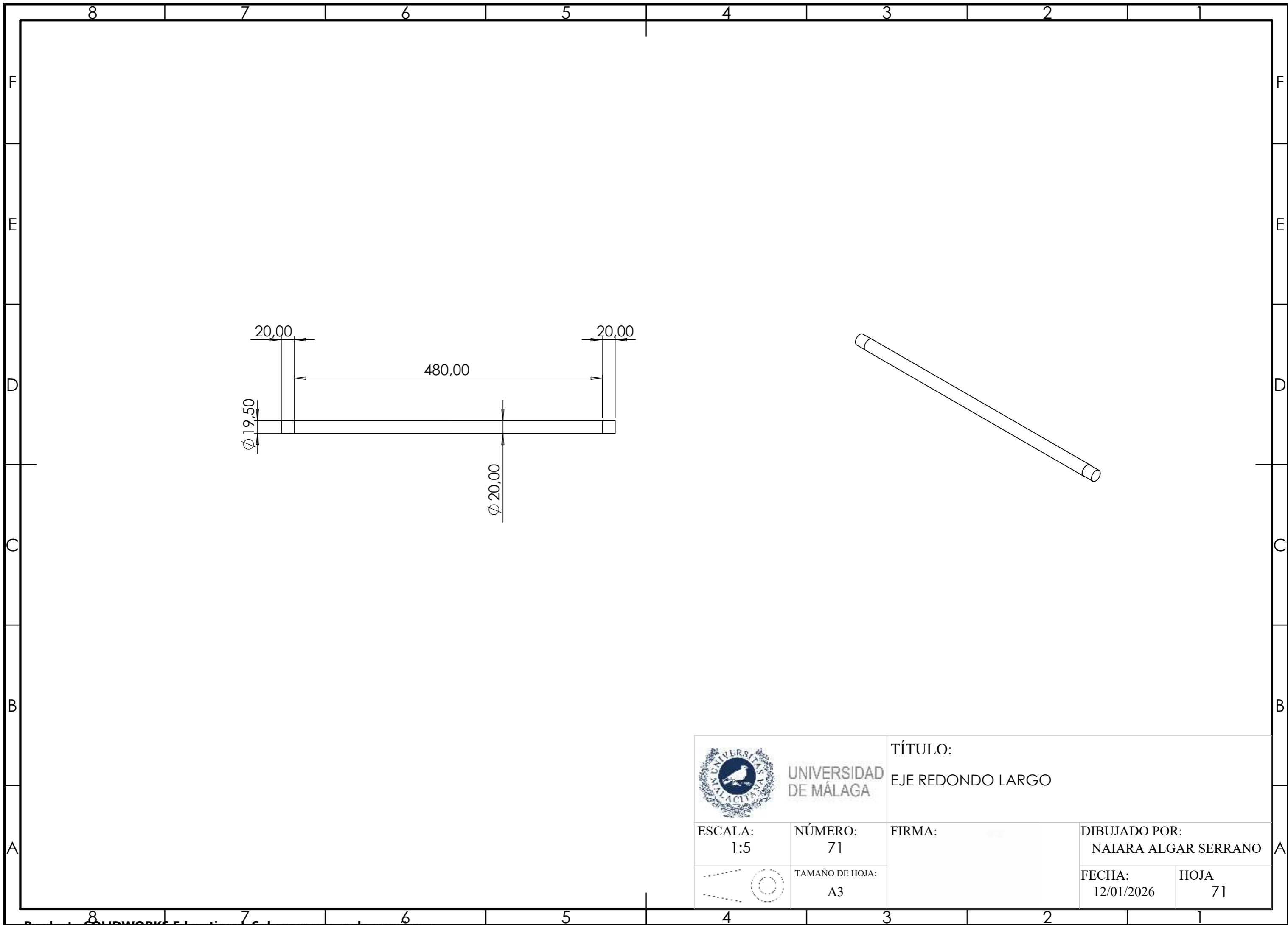
DIBUJADO POR:  
NAIARA ALGAR SERRANO





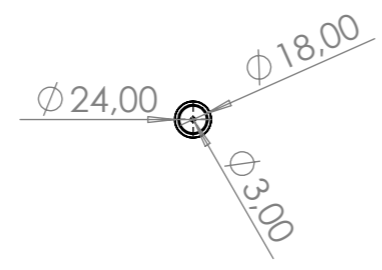
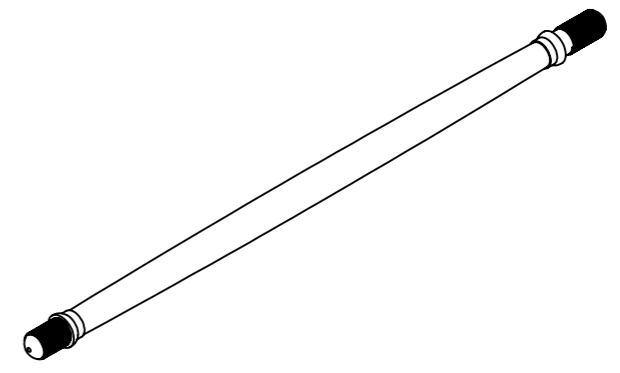
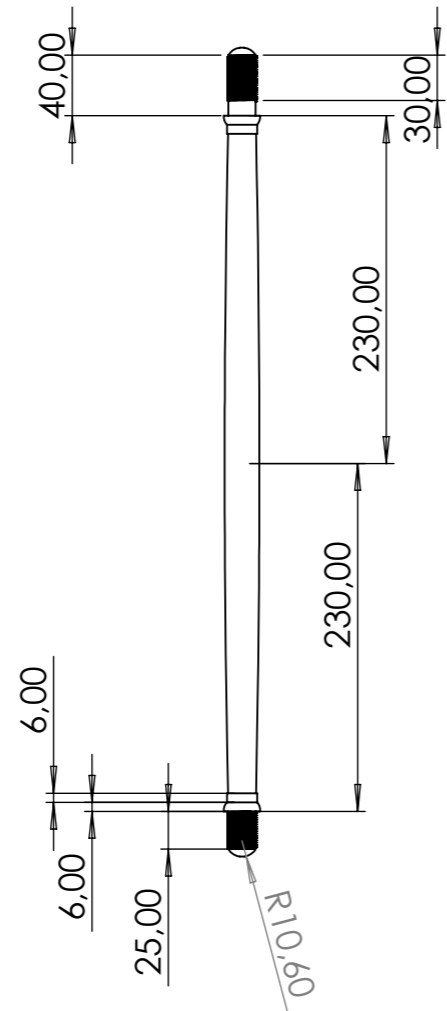
TAMAÑO DE HOJA:  
A3

FECHA:  
12/01/2026

HOJA  
70



 <b>UNIVERSIDAD DE MÁLAGA</b>		<b>TÍTULO:</b> EJE REDONDO LARGO	
<b>ESCALA:</b> 1:5	<b>NÚMERO:</b> 71	<b>FIRMA:</b>	<b>DIBUJADO POR:</b> NAIARA ALGAR SERRANO
 <b>TAMAÑO DE HOJA:</b> A3			<b>FECHA:</b> 12/01/2026



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

TÍTULO:  
EJES REDONDOS TOPES

ESCALA:  
1:5

NÚMERO:  
72

FIRMA:

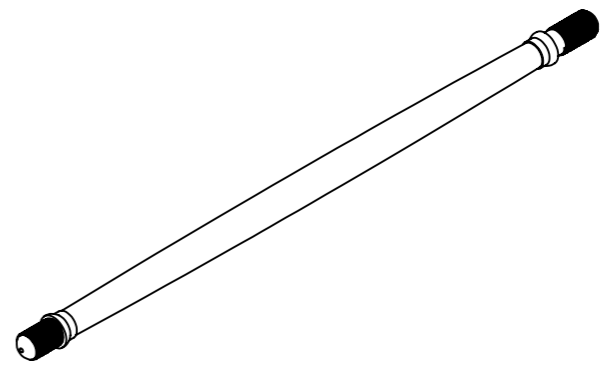
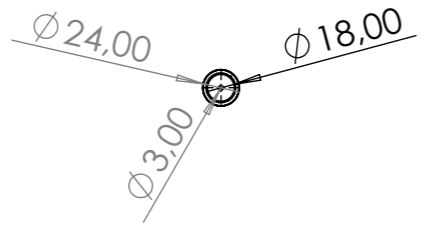
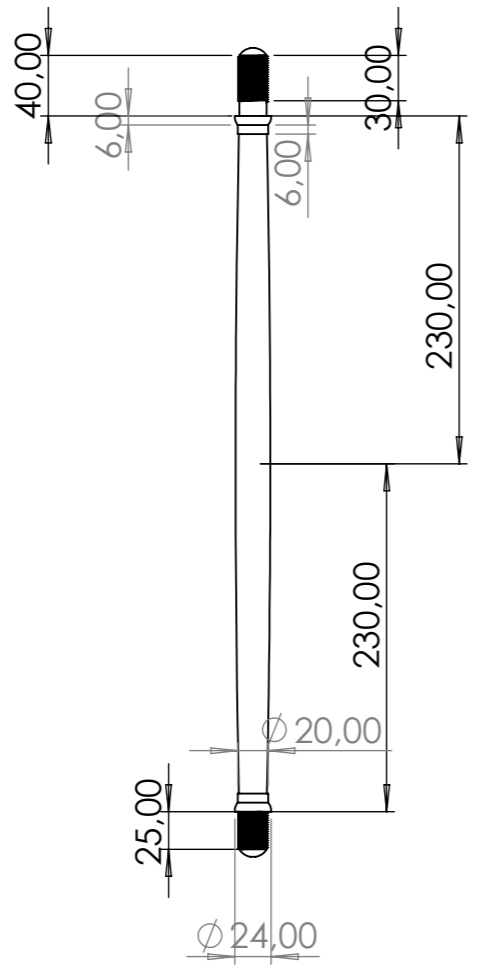
DIBUJADO POR:  
NAIARA ALGAR SERRANO





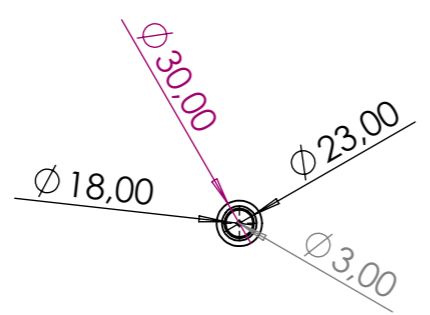
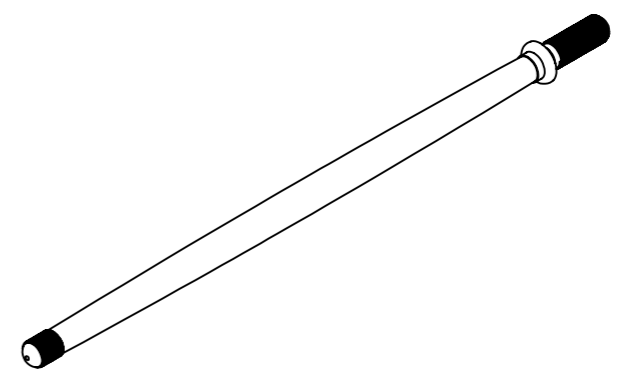
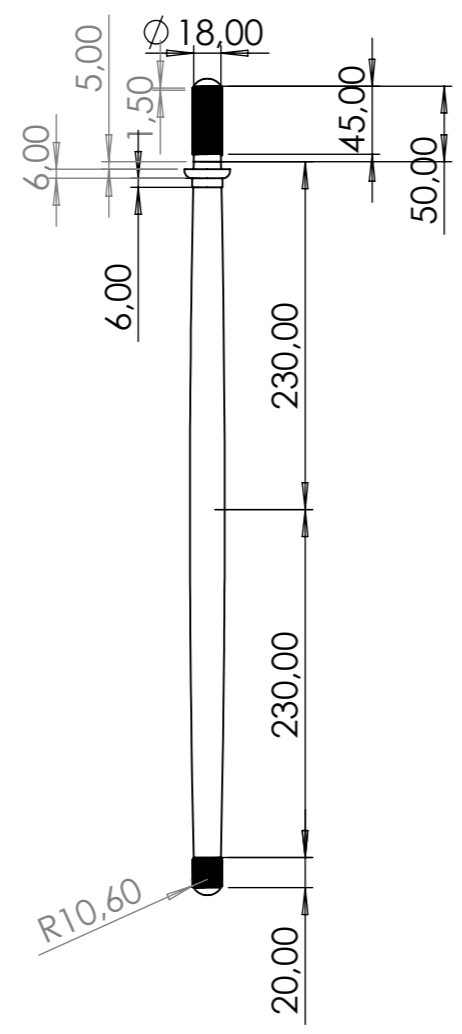
TAMAÑO DE HOJA:  
A3



FECHA:  
12/01/2026

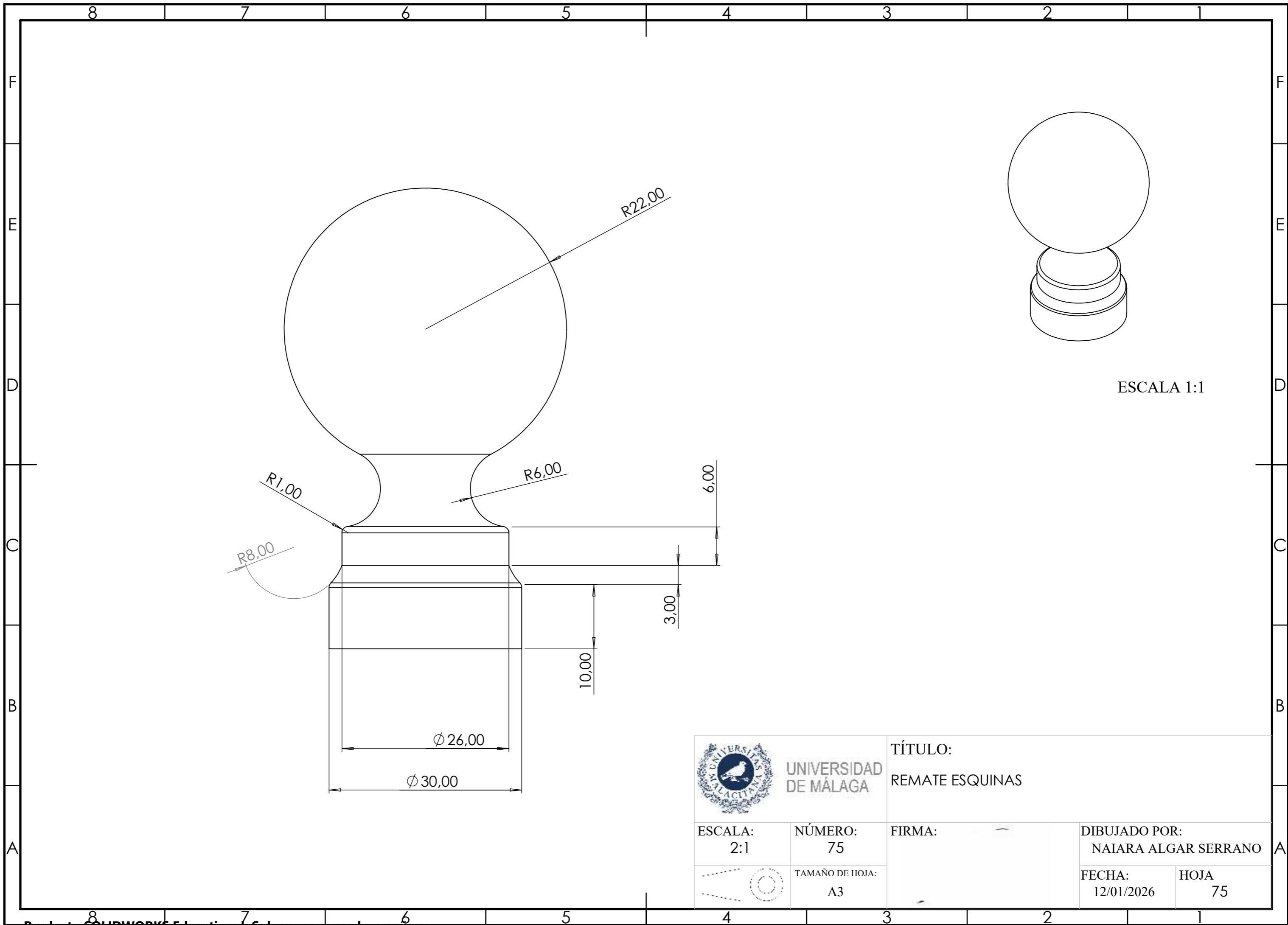
HOJA  
72



 UNIVERSIDAD DE MÁLAGA		TÍTULO: EJES REDONDOS CORTOS TOPES	
ESCALA: 1:5	NÚMERO: 73	FIP	DIBUJADO POR: NAIARA ALGAR SERRANO
		TAMAÑO DE HOJA: A3	FECHA: 12/01/2026
			HOJA 73



 <b>UNIVERSIDAD DE MÁLAGA</b>		<b>TÍTULO:</b> EJES REDONDOS 1 TOPE	
<b>ESCALA:</b> 1:5	<b>NÚMERO:</b> 74	<b>FIRMA:</b>	<b>DIBUJADO POR:</b> NAIARA ALGAR SERRANO
		<b>TAMAÑO DE HOJA:</b> A3	<b>FECHA:</b> 12/01/2026
			<b>HOJA</b> 74



ESCALA 1:1



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

TÍTULO:  
REMATE ESQUINAS

ESCALA:  
2:1

NÚMERO:  
75

FIRMA:

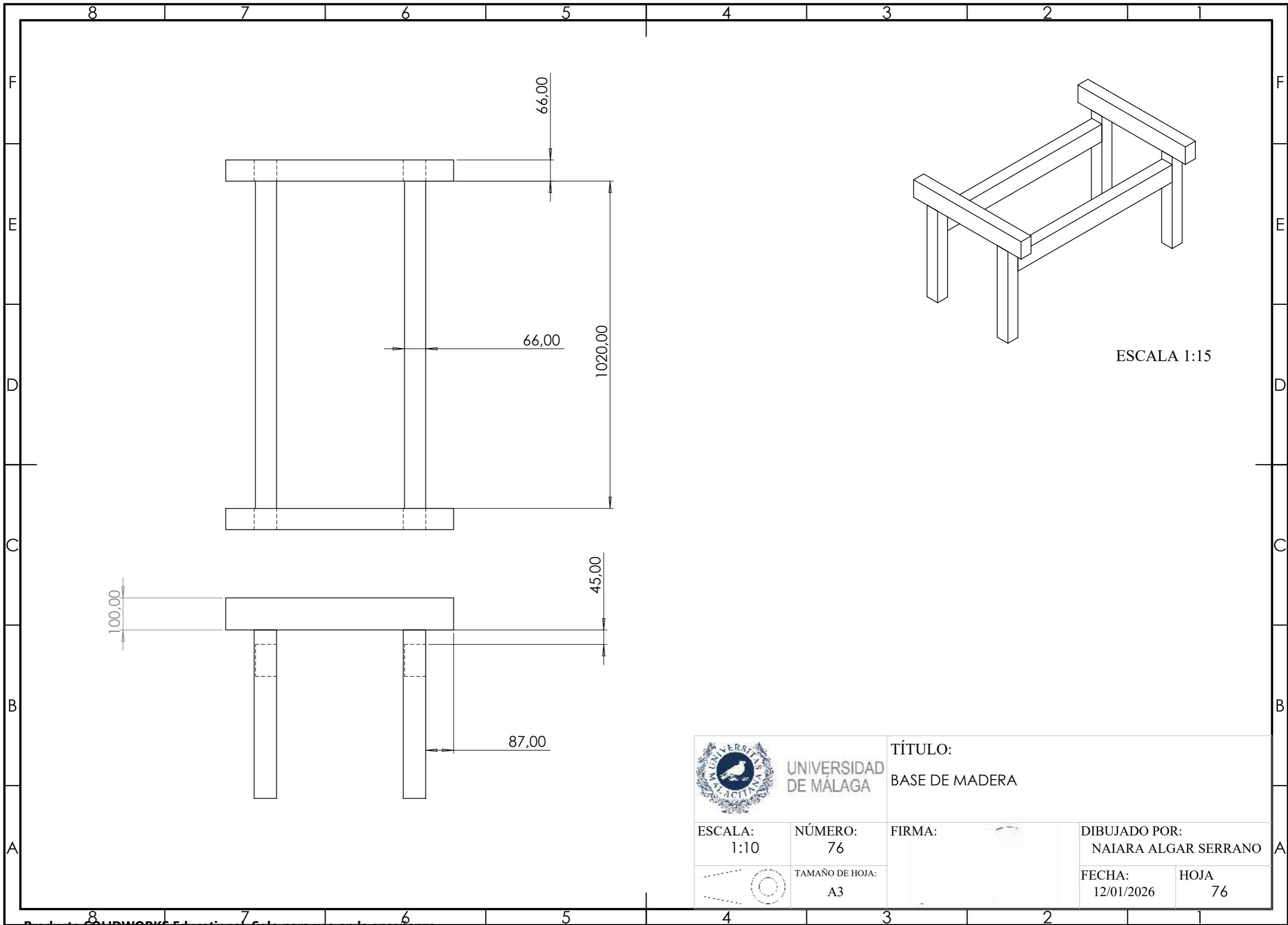
DIBUJADO POR:  
NAIARA ALGAR SERRANO

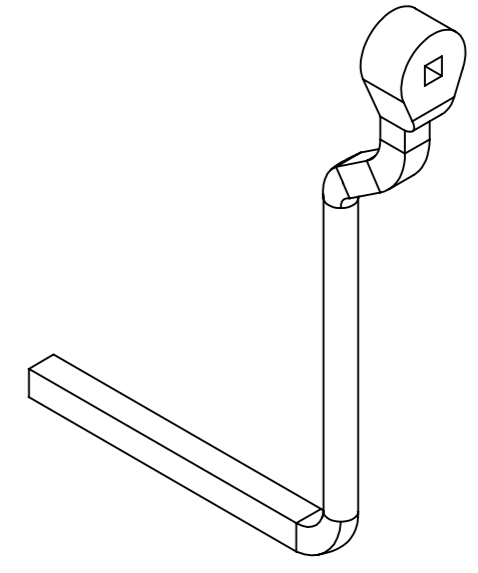
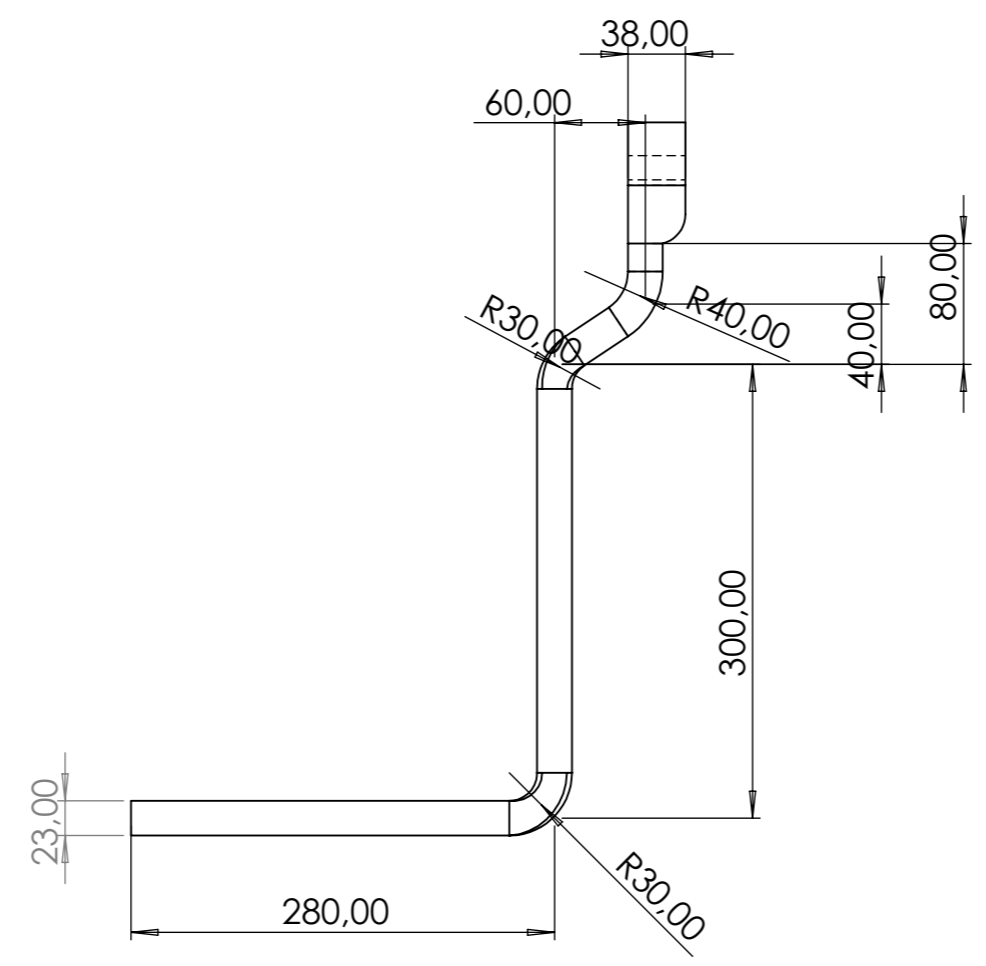
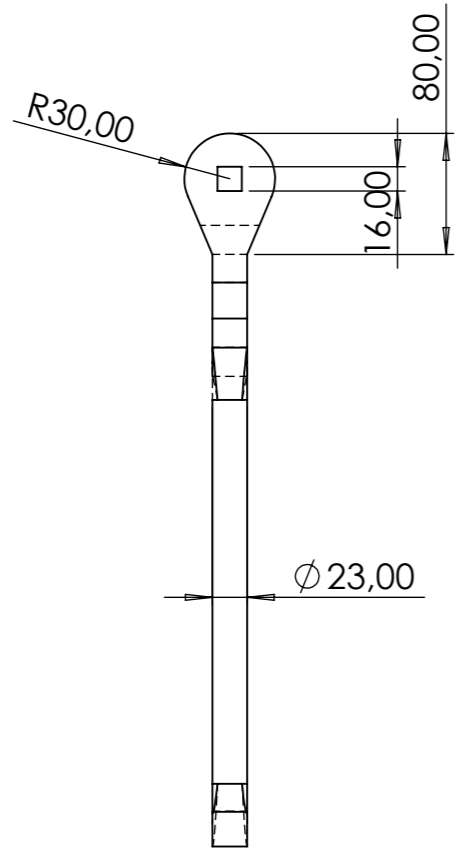




TAMAÑO DE HOJA:  
A3

FECHA:  
12/01/2026

HOJA  
75





 UNIVERSIDAD DE MÁLAGA		TÍTULO: MANIVELA	
ESCALA: 1:5	NÚMERO: 77	FIRMA:	DIBUJADO POR: NAIARA ALGAR SERRANO
 TAMAÑO DE HOJA: A3		FECHA: 12/01/2026	HOJA 77

## BIBLIOGRAFÍA

- Barquero C, J. D. (2010). Diccionario enciclopédico profesional de alta relojería. Furtwangen.
- Barra L, C. (2012). Relojes: en la medida del tiempo.
- Becket G, E. (1874). A Rudimentary Treatise on Clocks and Watches and Bells. Lockwood & Co.
- Belda G, P-G. (1954). Manual de relojería. Paraninfo.
- Feixa, C. (2003). Del reloj de arena al reloj digital.
- [14] [16] Gazeley, W. J. (1901). "Clock and watch escapements". Van Nostrand Reinhold Company.
- Glasgow, D. (1885). Watch and clock making. Cassel & Co.
- [12] Guillemin, A. (1882). El mundo físico. Montaner y Simon.
- Jendritzki, H. (1984). "El manual suizo del relojero reparador". SCRIPTAR S.A.
- [19] Jendritzki, H. (1985) "La reparación de las péndolas antiguas". SCRIPTAR S. A.
- Izquierdo, P. (2003). Manual del reloj mecánico. Desmontaje y montaje.
- Knespl, D. (2024). Progress versus tradition- Traditional craftsmanship and attempts at industrial tower clock production in the Czech lands in the 19<sup>th</sup> century.
- Reid, T. (1832). Treatise on Clock and Watch Making: Theoretical and Practical. Blackie and Sons.
- Ruiz i Engra, A. (2023). Metodología de inventario de relojes públicos o de torre.
- Suberbiola M, J. (2007). La introducción del reloj mecánico en Málaga y Granada (1491-1492). Universidad de Málaga.
- [10] Thorpe, B. (1904). Watch and clocks escapements. The Keystone.

## WEBGRAFÍA

- [1] <https://es.wikipedia.org/wiki/Sechat>
- [2] <https://pedradesign.es/esculturas/como-funciona-el-reloj-de-sol/>
- [3] <https://castor-watches.com/reloj-de-agua-enciclopedia-del-tiempo-y-los-relojes/>
- [4] <https://curiosfera-historia.com/historia-del-reloj-de-agua-clepsidra/>
- [5] [https://es.wikipedia.org/wiki/Reloj\\_de\\_arena](https://es.wikipedia.org/wiki/Reloj_de_arena)
- [6] <https://www.hablemosderelojes.com/t/relojes-de-fuego/232710>
- [7] <https://www.hablemosderelojes.com/t/relojes-de-fuego/232710>
- [8] <https://www.chinadesdeelsur.com/2022/04/su-song-y-la-torre-del-reloj.html>
- [9] <https://www.nist.gov/news-events/news/2014/02/new-era-atomic-clocks>
- [11] <https://engines.egr.uh.edu/episode/1307>
- [13] <https://relojesymas.es/relojes1/escape/escape1.html>
- [15] <https://johnmanders.wordpress.com/2020/05/21/the-grasshopper/>
- [17] <https://www.timewornwatches.co.uk/movements/the-escapement/>
- [18] <https://monochrome-watches.com/omega-co-axial-escapement-technical-perspective/>
- <https://pedradesign.es/esculturas/como-funciona-el-reloj-de-sol/>
- [https://historia.nationalgeographic.com.es/a/inventos-medievales\\_6644](https://historia.nationalgeographic.com.es/a/inventos-medievales_6644)
- [https://es.wikipedia.org/wiki/Reloj\\_de\\_arena](https://es.wikipedia.org/wiki/Reloj_de_arena)
- <https://www.decorarconarte.com/relojes/historia-de-los-relojes-de-sol/>
- [https://es.wikipedia.org/wiki/Historia\\_de\\_la\\_relojer%C3%ADa](https://es.wikipedia.org/wiki/Historia_de_la_relojer%C3%ADa)
- <https://castor-watches.com/reloj-de-agua-enciclopedia-del-tiempo-y-los-relojes/>
- <https://curiosfera-historia.com/historia-del-reloj-de-agua-clepsidra/>
- <https://www.chinadesdeelsur.com/2022/04/su-song-y-la-torre-del-reloj.html>
- [https://es.wikipedia.org/wiki/Reloj\\_de\\_arena](https://es.wikipedia.org/wiki/Reloj_de_arena)
- <https://www.hablemosderelojes.com/t/relojes-de-fuego/232710>
- [https://historia.nationalgeographic.com.es/a/inventos-medievales\\_6644](https://historia.nationalgeographic.com.es/a/inventos-medievales_6644)
- <https://www.bbc.com/mundo/vert-fut-62356418>
- <https://relojesymas.es/relojes1/escape/escape1.html>
- [https://www.horalatina.com/articulos/4841-mecanica-liberando-escapes-alternativos.html#escape\\_coaxial](https://www.horalatina.com/articulos/4841-mecanica-liberando-escapes-alternativos.html#escape_coaxial)
- [https://elblogrelojero.blogspot.com/2017/12/el-escape-coaxial-de-omega\\_17.html](https://elblogrelojero.blogspot.com/2017/12/el-escape-coaxial-de-omega_17.html)
- <https://monochrome-watches.com/omega-co-axial-escapement-technical-perspective/>
- <https://horopedia.org/types-of-escapements/>
- <https://engines.egr.uh.edu/episode/1307>



En Málaga, a 14 de enero de 2026

Fdo: Naiara Algar Serrano