



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño



IMPLEMENTACIÓN MECATRÓNICA DE ASISTENCIA AL PEDALEO PARA BICICLETAS

TRABAJO FINAL DE MÁSTER PRESENTADO POR:

Sergi Piquer Cano

Máster Universitario en Ingeniería Mecatrónica

DIRECTOR:

Ramón Manuel Blasco Giménez

Valencia, Septiembre 2017

A todas aquellas personas que me han apoyado pese a saber que no era fácil el camino que emprendía.

A las que siguen haciéndolo, aunque ya no estén, pero que siempre estarán.

A las que consiguen alimentar mi curiosidad día a día.

A mis padres y mi novia por ayudarme en todo momento.

A mi profesor por creer en lo que estaba haciendo y animarme a seguir.

A todas las personas que me han aportado una idea, un haz de luz, que me ayudara a recorrer el túnel.

A todas y cada una de estas personas, muchas gracias.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo final de máster es la implementación mecatrónica de un sistema de asistencia al pedaleo para bicicletas, que se caracterizará por su completa integración y por su gran adaptabilidad a la gran mayoría de bicicletas modernas existentes en el mercado.

Dicha implementación abarcará los campos del diseño, fabricación, montaje y posterior puesta en marcha de un prototipo, que será la base del producto comercial final, el cual buscará reducir costes frente a sus principales alternativas.

Dadas las diversas áreas que engloba el diseño, éste ha sido dividido en diseño mecánico, diseño eléctrico y diseño electrónico/programación.

El diseño mecánico se ha realizado mediante el software de CAD, INVENTOR. Este programa ha sido herramienta indispensable en el dimensionado de los componentes que conforman el sistema de transmisión mecánica del prototipo, como es la innovadora reductora hipocicloidal o el fundamental par de engranajes cónicos rectos que transmiten todo el par generado al eje del pedaliar de la bicicleta. También ha sido empleado en el diseño de la soportería de las partes eléctrica y electrónica.

El diseño eléctrico se ha basado en el dimensionado del motor, batería y variador, así como del diseño del cableado empleado.

Dadas las reducidas dimensiones del producto y que se trataba de un prototipo, se ha optado por una solución comercial de algunos componentes, concretamente dentro del campo del aeromodelismo y de los coches a escala. Es por ello que se cuenta con un motor brushless de rotor interior destinado a embarcaciones a escala, una batería de polímero de litio de coches a radiocontrol y un variador compacto preparado para el control del motor brushless.

El diseño electrónico y programación, por su parte, se ha basado en el conexionado y programación de un Arduino UNO, que controlará el variador, así como del módulo Bluetooth conectado a éste, que mediante una aplicación para el sistema operativo ANDROID, programada mediante el software "on line" MIT App INVENTOR, permitirá el control del sistema mediante un Smartphone sujeto en el manillar de la bicicleta.

Por otro lado, la fabricación del prototipo se ha decidido realizar mediante impresora 3D, exportando los modelos CAD a un formato compatible mediante INVENTOR y utilizando como filamento el plástico PLA.

En cuanto al montaje se ha realizado mediante tornillería basada en el estándar DIN/ISO, en una bancada diseñada especialmente para el prototipo, que recrea el espacio disponible en la gran mayoría de bicicletas de carretera del mercado.

Y, por último, en la puesta en marcha, se han establecido los parámetros adecuados de velocidad y control para realizar una simulación escalada de los esfuerzos involucrados en el sistema de asistencia, con el fin de verificar posibles interferencias en el sistema de transmisión mecánica y una correcta transmisión de órdenes entre el Smartphone y el sistema de control.

ABSTRACT

The aim of this master's final work is the mechatronic implementation of an assisted pedaling system for bicycles, which will be characterized by its complete integration and its great adaptability to the vast majority of modern bicycles existing in the market.

This implementation will cover the fields of design, manufacture, assembly and setting on of a prototype, which is the basis of the final commercial product, which seeks to reduce costs against its main alternatives.

Given the various areas that englobes the design, it has been divided into mechanical design, electrical design and electronic design/programming.

The mechanical design has been made using the CAD software, INVENTOR. This program has been an indispensable tool in the sizing of the components that make up the mechanical transmission system of the prototype, such as the innovative hypocycloidal gearbox or the important pair of straight bevel gears that transmit all the generated torque to the shaft of the bicycle bottom bracket. It has also been used in the design of the electrical and electronic supports.

The electrical design consists on the sizing of the motor, battery and ESC (electronic speed control), as well as the routing of the wiring used.

Given the small dimensions of the product and the fact that it was a prototype, it has opted for a commercial solution of some components within the field of radio control modelling. This is why there is an inner rotor brushless motor destined for scale vessels, a lithium polymer battery of radio control cars and a compact ESC prepared to control the brushless motor.

The electronic design and programming has been based on the connection and programming of an Arduino UNO, microcontroller that will control the ESC, as well as the Bluetooth module connected to it, which through an application for ANDROID OS, programmed using the software "on line" MIT App INVENTOR, that will allow the control of the system through a smartphone supported on the bicycle handlebar.

On the other hand, the manufacture of the prototype has been made by 3D printing, exporting the CAD models to an INVENTOR accepted format and using as a filament the plastic PLA.

The assembly has been made by means of screws based on the DIN/ISO standard, in a bench designed especially for the prototype, which recreates the space available in the vast majority of road bikes of the market.

Moreover, in the last part, the setting on, the appropriate parameters of speed and control has been established to perform a scaled simulation of the efforts involved in the assistance system, in order to verify possible interferences in the mechanical transmission system and a correct transmission of commands between smartphone and the control system.

ÍNDICE

MEMORIA	10
1. OBJETO	11
2. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	11
3. FACTORES A CONSIDERAR: ESTUDIO DE NECESIDADES, LIMITACIONES Y CONDICIONANTES	12
3.1. ESPECIFICACIONES REQUERIDAS EN EL PROYECTO	12
3.2. NORMATIVA A CONSIDERAR.....	13
3.2.1. NORMATIVA EUROPEA EN 15194:2009 Y ESPAÑOLA UNE-EN 15194:2009	13
3.2.2. DIRECTIVA EUROPEA 2002/24/CE.....	13
3.3. LIMITACIONES EXISTENTES	13
4. SOLUCIONES ALTERNATIVAS.....	14
4.1. BREVE DESCRIPCIÓN DE PROPUESTAS.....	14
4.1.1. DISEÑO DE BICICLETA ELÉCTRICA DE SERIE - E-BIKE	14
4.1.2. DISEÑO DE KIT E-BIKE RUEDA TRASERA - MOTOR HUB	15
4.1.3. DISEÑO KIT E-BIKE POR FRICCIÓN - TRACCIÓN POR ROZAMIENTO EN LA RUEDA DELANTERA	16
4.1.4. DISEÑO KIT E-BIKE MOTOR CENTRAL - MOTOR INTEGRADO EN EL CUADRO	16
4.2. CRITERIOS DE SELECCIÓN	18
4.3. JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA	18
5. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LOS COMPONENTES Y/O ETAPAS DE CADA UNA DE LAS FASES DE DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA	21
5.1. DISEÑO DEL PROTOTIPO	22
5.1.1. DISEÑO MECÁNICO DEL PROTOTIPO	22
5.1.1.1. REDUCTORA	23
5.1.1.2. RUEDA LIBRE	35
5.1.1.3. PAR DE ENGRANAJE CÓNICO-RECTO	44
5.1.2. DISEÑO ELÉCTRICO DEL PROTOTIPO	49
5.1.2.1. MOTOR.....	49
5.1.2.2. BATERÍA.....	50
5.1.2.3. VARIADOR	51
5.1.2.4. SOPORTERÍA Y ENRUTADO DEL CABLEADO ELÉCTRICO.....	52
5.1.3. DISEÑO ELECTRÓNICO/PROGRAMACIÓN DEL PROTOTIPO	62
5.1.3.1. MICROCONTROLADOR ARDUINO	62
5.1.3.2. MÓDULO BLUETOOTH	65

5.1.3.3. APLICACIÓN SMARTPHONE.....	66
5.2. FABRICACIÓN DEL PROTOTIPO.....	71
5.2.1. EXPORTACIÓN ARCHIVOS CAD.....	71
5.2.1. IMPRESIÓN 3D.....	73
5.3. MONTAJE DEL PROTOTIPO.....	80
5.3.1. DISEÑO, FABRICACIÓN Y MONTAJE BANCADA.....	80
5.3.1.1. DISEÑO DE LA BANCADA.....	82
5.3.1.2. FABRICACIÓN DE LA BANCADA.....	85
5.3.1.3. MONTAJE DE LA BANCADA.....	87
5.3.2. MONTAJE PROTOTIPO.....	91
5.3.2.1. FASE I: MONTAJE CONJUNTO MOTRIZ.....	91
5.3.2.2. FASE II: MONTAJE CONJUNTO DE ALIMENTACIÓN Y CONTROL.....	93
5.3.2.3. FASE III: CONEXIONADO ELÉCTRICO (MOTOR - VARIADOR).....	94
5.3.2.4. FASE IV: MONTAJE CONJUNTO DE MANDO.....	95
5.3.2.5. FASE V: ACABADO FINAL.....	96
5.4. PUESTA EN MARCHA DEL PROTOTIPO.....	97
5.4.1. TEST DE VERIFICACIÓN DE INTERFERENCIAS MECÁNICAS.....	97
5.4.2. TEST DE VERIFICACIÓN DE COMUNICACIÓN SMARTPHONE - MOTOR.....	98
6. JUSTIFICACIÓN DETALLADA DE LOS COMPONENTES Y/O ETAPAS DE CADA UNA DE LAS FASES DE DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA.....	100
6.0. HIPÓTESIS DE PARTIDA.....	100
6.1. JUSTIFICACIONES DE DISEÑO.....	101
6.1.1. CÁLCULOS, SELECCIÓN Y DIMENSIONADO DE COMPONENTES DISEÑO MECÁNICO Y ELÉCTRICO DEL PROTOTIPO.....	102
6.1.1.1. SELECCIÓN Y DIMENSIONADO MOTOR Y BATERÍA.....	102
6.1.1.2. SELECCIÓN Y CÁLCULOS DISEÑO PAR DE ENGRANAJE.....	104
6.1.1.3. SELECCIÓN Y CÁLCULOS DISEÑO REDUCTORA.....	108
6.1.1.3. SELECCIÓN VARIADOR.....	110
6.1.2. SELECCIÓN DE COMPONENTES DISEÑO ELECTRÓNICO/PROGRAMACIÓN DEL PROTOTIPO.....	110
6.2. JUSTIFICACIONES DE FABRICACIÓN.....	111
6.2.1. MÉTODO Y MATERIAL EMPLEADO EN LA FABRICACIÓN DEL PROTOTIPO.....	111
6.3. JUSTIFICACIONES DE MONTAJE.....	111
6.3.1. DISEÑO DE LA BANCADA.....	111
6.3.2. MATERIALES Y COMPONENTES SELECCIONADOS PARA LA BANCADA.....	112
6.4. JUSTIFICACIONES DE PUESTA EN MARCHA.....	112
6.4.1. PRUEBAS REALIZADAS EN LA VERIFICACIÓN DE INTERFERENCIAS MECÁNICAS.....	112

6.4.2. PARAMETRIZACIÓN DEL MOTOR MEDIANTE MICROCONTROLADOR Y VARIADOR	112
ANEXOS.....	114
ANEXO I. GUÍA DE DISEÑO DE LOS PRINCIPALES COMPONENTES DE LA REDUCTORA HIPOCICLOIDAL EN AUTODESK INVENTOR PROFESSIONAL 2017	115
ANEXO II. GUÍA DE DISEÑO DEL PAR DE ENGRANAJE CÓNICO-RECTO EN AUTODESK INVENTOR PROFESSIONAL 2017	124
ANEXO III. CÁLCULO ELEMENTOS FINITOS COMPONENTES POTENCIALMENTE CRÍTICOS ..	131
ANEXO IV. ARDUINO UNO: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS Y CÓDIGO IMPLEMENTADO	135
ANEXO V. MÓDULO BLUETOOTH HC-05: CONFIGURACIÓN INICIAL	137
PLANOS	140
1. LISTADO DE PLANOS.....	141
PLIEGO DE CONDICIONES	142
1. PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES	143
2. PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS	146
PRESUPUESTO	150
1. PRESUPUESTO PARCIAL.....	151
2. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL	161
3. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA	162

ÍNDICE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Ejemplo E-BIKE SPECIALIZED	11
Ilustración 2: Ejemplo E-BIKE GIANT	14
Ilustración 3: Ejemplo motor HUB	15
Ilustración 4: Ejemplo motor rueda delantera VELOGICAL.....	16
Ilustración 5: Ejemplo motor central VIVAX ASSIST	16
Ilustración 6: Montaje VIVAX ASSIST.....	17
Ilustración 7: Bicicleta VIVAX ASSIST	17
Ilustración 8: Ejemplo engranajes cónicos rectos.....	19
Ilustración 9: Reductora planetaria vs magnética vs hipocicloidal (SUMITOMO)	20
Ilustración 10: Conjunto bicicleta prototipo	22
Ilustración 11: Componentes transmisión mecánica de potencia.....	23
Ilustración 12: Esquema reductora hipocicloidal (SUMITOMO)	23
Ilustración 13: Reductora hipocicloidal.....	24
Ilustración 14: Explosión reductora hipocicloidal	25
Ilustración 15: Eje excéntrico	25
Ilustración 16: Engranaje exterior - carcasa.....	26
Ilustración 17: Engranaje central	27
Ilustración 18: Disco salida etapa intermedio.....	27
Ilustración 19: Disco salida etapa final.....	28
Ilustración 20: Separador moto-carcasa	29
Ilustración 21: Tapa protección interior.....	30
Ilustración 22: Tapa protección exterior	30
Ilustración 23: Separador reductora-rueda libre	31
Ilustración 24: Cierre sujeción rueda libre	32
Ilustración 25: Pasadores engranaje central.....	33
Ilustración 26: Tornillería sujeción motor	33
Ilustración 27: Tornillería sujeción tapa exterior	34
Ilustración 28: Tornillería sujeción cierre.....	34
Ilustración 29: Esquema rueda libre (WIKIPEDIA).....	35
Ilustración 30: Componentes rueda libre (WIKIPEDIA).....	35
Ilustración 31: Rueda libre	36
Ilustración 32: Explosión rueda libre	37
Ilustración 33: Corona rueda libre.....	37
Ilustración 34: Uñeta rueda libre	38
Ilustración 35: Engranaje de trinquete.....	39
Ilustración 36: Tapa protección rueda libre	40
Ilustración 37: Separador rueda libre-piñón cónico.....	41
Ilustración 38: Cierre sujeción piñón cónico	41
Ilustración 39: Muelle rueda libre	42
Ilustración 40: Pasador uñeta	43
Ilustración 41: Tornillería rueda libre.....	43
Ilustración 42: Ejemplo engranajes dientes rectos	44
Ilustración 43: Ejemplo engranaje cónico ejes perpendiculares.....	44
Ilustración 44: Par engranaje cónico.....	45

Ilustración 45: Piñón cónico-recto	46
Ilustración 46: Corona cónico-recto	47
Ilustración 47: Tornillería par engranaje	48
Ilustración 48: Conjunto soportería	49
Ilustración 49: Motor brushless TURNIGY.....	49
Ilustración 50: Batería LI-PO ZIPPY	50
Ilustración 51: ESC HOBBYWING PLATINUM.....	51
Ilustración 52: Soportería y enrutado	52
Ilustración 53: Botellín BTWIN	53
Ilustración 54: Soporte botellín BTWIN.....	54
Ilustración 55: Soporte Smartphone HAPO G	54
Ilustración 56: Tapa sujeción motor.....	55
Ilustración 57: Conjunto abrazaderas	56
Ilustración 58: Abrazadera anterior	56
Ilustración 59: Abrazadera posterior	57
Ilustración 60: Conjunto soporte batería y variador	57
Ilustración 61: Soporte batería inicial	58
Ilustración 62: Soporte batería medio inferior	58
Ilustración 63: Soporte batería medio superior	59
Ilustración 64: Soporte batería final.....	59
Ilustración 65: Enrutado cableado	60
Ilustración 66: Agujeros salida cableado.....	61
Ilustración 67: Arduino UNO	62
Ilustración 68: Conexionado Arduino-ESC.....	63
Ilustración 69: Diagrama bloques código Arduino	64
Ilustración 70: Módulo Bluetooth HC-05	65
Ilustración 71: Conexionado Arduino-módulo HC-05	65
Ilustración 72: Soporte Smartphone en bicicleta.....	66
Ilustración 73: Pantalla inicial apk.....	67
Ilustración 74: Pantallas selección velocidad apk	68
Ilustración 75: Notificaciones apk	68
Ilustración 76: Diagrama de bloques app Android.....	69
Ilustración 77: Captura programación apk.....	70
Ilustración 78: Información aplicación apk	70
Ilustración 79: Ejemplo triangulación STL	71
Ilustración 80: Opciones exportar STL.....	72
Ilustración 81: Engranaje en STL	72
Ilustración 82: Ejemplos impresión 3D. Extrusión vs inyección	73
Ilustración 83: Filamento PLA.....	73
Ilustración 84: Impresora 3D SIGMA.....	74
Ilustración 85: Parámetros impresión 3D	75
Ilustración 86: Diseño bancada 1	80
Ilustración 87: Diseño bancada 2	81
Ilustración 88: Conjunto bancada	81
Ilustración 89: Base soporte bancada	82
Ilustración 90: Perfiles tubulares y soportes bancada	83
Ilustración 91: Soporte eje pedalier	83
Ilustración 92: Unión T	84

Ilustración 93: Perfiles acero	85
Ilustración 94: Unión soporte bancada con cola termofusible	87
Ilustración 95: Atornillado a la base y verificación ajuste unión T	88
Ilustración 96: Unión soporte perfiles a bancada	88
Ilustración 97: Proceso de montaje perfiles tubulares	89
Ilustración 98: Montaje final bancada	90
Ilustración 99: Despiece reductora hipocicloidal	91
Ilustración 100: Premontaje reductora hipocicloidal.....	91
Ilustración 101: Proceso montaje conjunto motriz.....	92
Ilustración 102: Proceso montaje conjunto alimentación y control	93
Ilustración 103: Montaje final conjunto alimentación y control	93
Ilustración 104: Cableado motor-ESC.....	94
Ilustración 105: Ajuste longitud cableado.....	94
Ilustración 106: Proceso montaje conjunto mando.....	95
Ilustración 107: Prototipo completado	96
Ilustración 108: Capturas test de verificación interferencias. Reductora hipocicloidal.....	97
Ilustración 109: Captura test de verificación interferencias. Par engranajes	98
Ilustración 110: Capturas montaje test de verificación comunicación Smartphone-motor.....	98
Ilustración 111: Parámetros PWM	99
Ilustración 112: Activación ESC	99
Ilustración 113: Capturas test de verificación comunicación Smartphone-motor	99
Ilustración 114: Datos de partida	101
Ilustración 115: Ecuaciones utilizadas.....	102
Ilustración 116: Comparativa baterías vs velocidad vs reducción	103
Ilustración 117: Rango válido elección batería	103
Ilustración 118: Serie de módulos normalizados para engranajes	105
Ilustración 119: Elección parámetros según módulo óptimo	106
Ilustración 120: Elección parámetros según dentado óptimo 1	106
Ilustración 121: Elección parámetros según dentado óptimo 2	107
Ilustración 122: Elección parámetros según dentado óptimo 3	107
Ilustración 123: Datos iniciales reductora.....	108
Ilustración 124: Datos iniciales reductora corregidos.....	109
Ilustración 125: Opciones diseño reductora	109
Ilustración 126: Velocidades relativas etapas reductora	110
Ilustración 127: Diseño reductora hipocicloidal.....	115
Ilustración 128: Esquema diseño reductora hipocicloidal	116
Ilustración 129: Datos introducidos diseño reductora.....	116
Ilustración 130: Diseño par engranaje cónico-recto	124
Ilustración 131: Esquema diseño par engranaje cónico-recto.....	125
Ilustración 132: Datos introducidos diseño par engranaje cónico-recto.....	125
Ilustración 133: E/S Arduino UNO.....	135
Ilustración 134: Capturas código control en Arduino IDE.....	136
Ilustración 135: Conexión configuración inicial Arduino-módulo HC-05.....	137
Ilustración 136: Captura código para configuración inicial HC-05 en Arduino IDE	138

MEMORIA

1. OBJETO

El presente trabajo final de máster consiste en la implementación mecatrónica de asistencia al pedaleo para bicicletas, abarcando desde su diseño y posterior fabricación, a su montaje y puesta en marcha final.

El prototipo realizado en este proyecto será la base para la fabricación del producto comercial final, el cual destacará frente a otros tipos de asistencia al pedaleo, por estar completamente integrado dentro del cuadro de una bicicleta convencional, y por su versatilidad, ya que por sus dimensiones se podrá incorporar a la gran mayoría de bicicletas modernas del mercado. Además, buscará reducir el coste de fabricación de los principales componentes mecánicos involucrados.

2. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

En los últimos años el deporte en general, y el ciclismo en particular, ha ganado cientos de practicantes día a día, a causa de lo cual se ha producido una gran expansión en el mercado de la bicicleta. Mercado que tiene como objetivo que el practicante de este deporte lo disfrute en más de una de sus modalidades, y consecuencia de ello es la gran diversidad de tipos de bicicletas que actualmente se pueden adquirir. Primero se empezó con la comercialización de diferentes tipos de suspensiones, luego con diferentes tipos de materiales, con diferentes tamaños de ruedas, y actualmente lo que más fuerza está teniendo es la motorización, vista como un sistema de asistencia al pedaleo, de las bicicletas, ya sean de montaña o carretera, con el fin de hacer posible disfrutar de aquellas rutas más duras, especialmente en sus subidas, sin la necesidad de ser un profesional. Este es el contexto donde se sitúa el proyecto.

El mercado actual de bicicletas eléctricas, en comparación con aquellas que no asisten al pedaleo, se puede considerar de poco accesible para muchas personas. Y es que los precios son muy elevados si analizamos, olvidando el sistema de motorización, los componentes empleados en la fabricación de estas bicicletas.



Ilustración 1: Ejemplo E-BIKE SPECIALIZED

Si se opta por comprar una de estas bicicletas eléctricas, obtendremos un cuadro de aluminio sobredimensionado en la zona del pedalier, donde se alberga el motor, y en el tubo bajante principal, donde se encuentra la batería y el sistema de control, también escondido en el cuadro, y el display de control que se sitúa en el manillar. Todo ello confiere un conjunto bastante pesado en comparación al de una bicicleta convencional.

Si por el contrario se opta por comprar sólo el sistema de motorización y adecuarlo a una bicicleta convencional, se encuentran tres alternativas o "kits": kit de rueda trasera con buje sobredimensionado motorizado, kit de motor acoplado a la llanta que funciona por fricción y kit con el motor escondido dentro del cuadro que acciona el eje del pedalier.

Como uno de los requisitos que se han establecido en este proyecto es la "invisibilidad", de las tres alternativas posibles, se descartan las dos primeras.

Pero cabe realizar un inciso, el sistema del motor escondido en el cuadro que acciona el eje del pedalier que existe en el mercado cumple con los requisitos de "invisibilidad", pero no con el coste, ya que podemos encontrar una bicicleta eléctrica por el mismo precio.

Y es en este preciso punto donde nace el proyecto, implementar un sistema que motorice la bicicleta, de una forma imperceptible al ojo humano, pero sin el elevado coste del sistema comercial actual.

3. FACTORES A CONSIDERAR: ESTUDIO DE NECESIDADES, LIMITACIONES Y CONDICIONANTES

3.1. ESPECIFICACIONES REQUERIDAS EN EL PROYECTO

Las especificaciones establecidas para la consecución de este proyecto han sido las siguientes:

Diseño, fabricación, montaje y puesta en marcha de un prototipo de asistencia al pedaleo, que conformará la base del producto comercial final, el cual se contemplará en un segundo proyecto donde se industrializará el prototipo desarrollado en este mismo.

El prototipo de asistencia al pedaleo debe integrarse completamente dentro del cuadro de una bicicleta moderna convencional, con caja de pedalier de rodamientos externos, con o sin rosca, cuyas medidas de tubo vertical interior admitan tijas de sillín de entre 31.5-32.5mm de diámetro.

El prototipo de asistencia al pedaleo debe ser versátil, es decir, debe poderse integrar en la gran mayoría de cuadros modernos convencionales con caja de pedalier de rodamientos externos, con o sin rosca. Con esto se pretende que el consumidor final del producto puede utilizarlo en su propio cuadro convencional cuando lo desee, pudiéndose retirar con la misma facilidad.

El prototipo de asistencia al pedaleo debe estar diseñado para su uso en pendientes pronunciadas, de entre un 5% a un 25%, donde la cadencia no sobrepasará las 65rpm.

Y, por último, el prototipo de asistencia al pedaleo debe reflejar el método para reducir los costes de fabricación de sus principales elementos mecánicos, con el fin de disminuir el coste del producto final y aumentar así su accesibilidad económica.

3.2. NORMATIVA A CONSIDERAR

Al basarse este proyecto en la implementación de un prototipo queda exento de la normativa actual referente a bicicletas eléctricas. Pero dada su potencial industrialización, se diseñará dentro de unos límites cercanos a los establecidos por la normativa para así facilitar la adecuación a la misma.

3.2.1. NORMATIVA EUROPEA EN 15194:2009 Y ESPAÑOLA UNE-EN 15194:2009

Esta normativa, inicialmente europea y posteriormente también adoptada como española, se aplica a ciclos, ciclos con asistencia eléctrica y bicicletas EPAC ("Electrically Power Assisted Cycles") y afecta a la parte eléctrica de la bicicleta y además obliga a que cumpla con los requisitos de seguridad de la EN 14764 o su equivalente UNE-EN 14764 para bicicletas de paseo/ciudad en cuanto a requisitos de seguridad y métodos de ensayo.

Adicionalmente toda bicicleta EPAC fabricada bajo la EN 15194:2009/CE cumplirá con la Directiva 2006/42/CE de Máquinas, y presentará por tanto el marcado CE, así como con la Directiva 2004/108/CE de Compatibilidad Electromagnética. La Norma Europea EN 15194:2009 ha sido adoptada de obligado cumplimiento en pocos estados miembros de la unión europea y en España a día de hoy es de obligatorio cumplimiento.

3.2.2. DIRECTIVA EUROPEA 2002/24/CE

Esta directiva hace referencia a la homologación de los vehículos a motor de dos o tres ruedas (Directiva 2002/24/CE), de obligado cumplimiento por los estados miembros y prevaleciendo sobre los Reglamentos Nacionales, establece que las bicicletas con pedaleo asistido (bicicletas eléctricas) están exentas de la homologación de esta directiva si están equipadas con un motor eléctrico auxiliar, de potencia nominal continua máxima de 250W, cuya potencia disminuya progresivamente y que finalmente se interrumpa cuando la velocidad del vehículo alcance los 25 km/h, o antes si el ciclista deja de pedalear o presiona los frenos. Cumpliendo ambos requisitos la bicicleta eléctrica será a efectos de la ley como una bicicleta convencional más, por lo que deberá ser únicamente homologada para transitar por la vía pública, de lo contrario será considerada como un ciclomotor.

En resumen, se establece la velocidad máxima a alcanzar por el sistema de asistencia (25km/h), la potencia máxima nominal de su motor (250W), así como las principales formas de obligada detención del mismo (cese del pedaleo o frenada) aplicables únicamente al producto final.

3.3. LIMITACIONES EXISTENTES

Se definen como limitaciones existentes los medios de fabricación disponibles para la realización de un prototipo de esta índole, las dimensiones del espacio donde se instala, la potencia máxima permitida y el tipo de funcionamiento previsto.

Es por ello que los componentes mecánicos diseñados sólo podrán fabricarse mediante impresión 3D, utilizando, como material disponible para los filamentos de la impresora, el plástico PLA y los componentes electrónicos deberán ser de fabricación externa, por lo que se limitará la personalización del sistema.

Esto afectará directamente a las pruebas a realizar, que deberán ser escaladas en cuanto a esfuerzos implicados y sobre bancada fija, no pudiéndose probar en una bicicleta real.

Por otro lado, el prototipo deberá poderse montar en cuadros con caja de pedalier de rodamientos externos, con o sin rosca, cuyas medidas de tubo vertical interior admitan tijas de sillín de entre 31.5-32.5mm de diámetro.

La potencia máxima permitida a desarrollar por el motor es de 250W y el uso del sistema deberá limitarse a la asistencia en pendientes pronunciadas, de entre un 5% a un 25%, donde la cadencia no sobrepasará las 65rpm.

4. SOLUCIONES ALTERNATIVAS

La justificación de la solución adoptada se hace indispensable en este proyecto, más si cabe con la diversidad de variantes que hay en el mercado para la motorización de una bicicleta.

Es por ello que en este apartado se van a presentar las principales alternativas existentes en la actualidad, detallándolas a nivel técnico, y comparándolas basándose en unos criterios preestablecidos e idénticos para cada una de ellas, con el fin de reforzar y justificar mediante sólidos argumentos, la solución que se ha elegido.

4.1. BREVE DESCRIPCIÓN DE PROPUESTAS

4.1.1. DISEÑO DE BICICLETA ELÉCTRICA DE SERIE - E-BIKE



Ilustración 2: Ejemplo E-BIKE GIANT

Se trataría de diseñar por completo la bicicleta, con el fin de albergar el sistema de motorización (motor, batería, variador...) dentro de un cuadro sobredimensionado con respecto a las bicicletas convencionales.

Las soluciones comerciales existentes cuentan con motores centrales o traseros, tipo HUB, de fabricantes como Bosch, Yamaha, Shimano, Panasonic, Bewo o Brose, con una potencia que oscila entre los 250-350W, un par motor de entre 65-90 Nm según versión, y un peso entorno a los 3-4 Kg.

Las baterías suelen ser de entre 400 a 500 Wh, ofreciendo una tensión máxima de 36V, lo que les confiere, si las circunstancias son las idóneas (según muchos fabricantes, sin viento y a una velocidad de 15 km/h) una autonomía que puede llegar a los 200 km.

Controlador y sensores se encuentran perfectamente integrados dentro del cuadro.

4.1.2. DISEÑO DE KIT E-BIKE RUEDA TRASERA - MOTOR HUB



Ilustración 3: Ejemplo motor HUB

Se trataría de diseñar un kit donde habría que cambiar únicamente la rueda trasera de la bicicleta, por una modificada con un motor brushless integrado en el buje (tipo HUB), que convertiría una bicicleta convencional en e-bike, eso sí, añadiendo también el sistema de control y alimentación al cuadro de la bicicleta.

Las soluciones comerciales ofrecen una potencia de entre 500 y 1000 W (algunos no homologados incluso más), operando a una tensión de 36-48 V, con pesos que oscilan entre los 3.5 y 4 kg.

Además, se alimentan por baterías similares a las utilizadas en bicicletas eléctricas de serie.

Debido a la gran cantidad de kits similares, no se han indicado fabricantes.

4.1.3. DISEÑO KIT E-BIKE POR FRICCIÓN - TRACCIÓN POR ROZAMIENTO EN LA RUEDA DELANTERA



Ilustración 4: Ejemplo motor rueda delantera VELOGICAL

Se trataría de diseñar un sistema de motorización de la rueda, delantera o trasera, basado en la transmisión de energía por fricción, que guarda gran similitud con el de una dinamo, pero en lugar de actuar como generador, éste actuaría como motor.

Es un sistema bastante innovador, desarrollado actualmente por la marca Velogical, que promete ser funcional en un gran abanico de bicicletas.

En su solución comercial existente, este kit consta de dos motores de 500 gr de peso cada uno, con una potencia nominal de 250W, prometiendo ofrecer picos de potencia de hasta 600W, con un peso total, contando con las baterías convencionales de litio de 6 celdas (alrededor de 22V de alimentación), de 1.6 kg.

La autonomía, siempre en dependencia con las condiciones de uso y dada por los test del fabricante, promete ser de hasta 50-60 km.

En cuanto a la electrónica y control, ésta se encuentra almacenada en una bolsa de herramientas convencional de bicicleta, sujeta en el tubo superior del cuadro.

4.1.4. DISEÑO KIT E-BIKE MOTOR CENTRAL - MOTOR INTEGRADO EN EL CUADRO



Ilustración 5: Ejemplo motor central VIVAX ASSIST

Se trata de la alternativa más afín a la solución final escogida y a partir de la cual ha nacido la idea de realizar este proyecto. Dada su gran similitud, a continuación, se detallará la única solución comercial existente en el mercado, hasta la fecha, con las mismas características generales.

Fue la compañía Vivax Assist, como actualmente se la conoce, la creadora de un sistema de motorización, el cual no actuaba sobre el eje de ninguna de las ruedas de la bicicleta, sino sobre el eje encargado del movimiento de la misma, el eje del pedalier.



Ilustración 6: Montaje VIVAX ASSIST

Con una longitud total de 220mm, un peso de 1.8 kg y la capacidad de introducirse en tubos con tijas de 30.9 o 31.6mm, el abanico de cuadros de bicicletas modernas donde se puede utilizar es bastante extenso, eso sí, siempre y cuando se tenga una caja de pedalier con rodamientos externos con rosca, tipo Shimano Hollowtech II.

En cuanto a sus prestaciones, el conjunto está compuesto por un motor de 200W de potencia nominal, alimentado a 30V, y una batería que puede oscilar entre los 6 y los 9 Ah, lo que le confiere una autonomía de aproximadamente poco más de una hora u hora y media.

El controlador o variador se encuentra integrado en la tija del sillín, y la batería cuenta con dos opciones, o bien se puede transportar en forma de bolsa de herramientas bajo el sillín, o en un camuflado botellín de unos 750 ml de capacidad.

El fabricante asegura que el sistema funciona en condiciones ideales bajo una cadencia de pedaleo de entre 75 y 90 rpm, y que el sistema está especialmente diseñado para asistir en las subidas, de ahí su reducida autonomía (no se contempla su uso continuado).

Por otra parte, el fabricante también ofrece la posibilidad de adquirir una e-bike adaptada con su sistema de serie, el cual como se puede observar, no es visible.



Ilustración 7: Bicicleta VIVAX ASSIST

4.2. CRITERIOS DE SELECCIÓN

Los criterios de selección establecidos no son otros que las propias especificaciones requeridas en el proyecto, es decir, una integración completa del sistema dentro del cuadro de una bicicleta convencional moderna, con caja de pedalier de rodamientos externos, con o sin rosca, cuyas medidas de tubo vertical interior admitan tijas de sillín de entre 31.5-32.5mm de diámetro, y que garantice una gran versatilidad para su montaje en dichos tipos de cuadros y facilite su desmontaje cuando su uso ya no sea necesario.

Además de posibilitar una futura reducción del coste de fabricación de sus principales componentes mecánicos, con el fin de abaratar el producto final y ampliar así su accesibilidad económica a un mayor grueso de practicantes del ciclismo.

En resumen, se considerará más determinante la "invisibilidad" del sistema y su uso en un mayor número de cuadros de bicicletas convencionales, carentes de asistencia al pedaleo, así como la reducción de su "exclusividad", económicamente hablando, que aspectos tales como la autonomía, la potencia, el par entregado o la reducción del sonido, pues la filosofía seguida en el diseño no contempla para nada que el ciclista deje de esforzarse en su continuo ímpetu en dar pedales, ya que el sistema implementado sólo servirá como ayuda temporal en aquellas subidas más exigentes, donde la energía se consume exponencialmente.

4.3. JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

Presentadas todas las alternativas posibles para la implementación del sistema de asistencia al pedaleo, y establecidos todos los criterios de selección, a continuación, se va a proceder a justificar, de forma razonada y bien argumentada, la solución adoptada.

El resultado de aplicar el primero y segundo de los criterios de selección, exigiendo éstos que el sistema implementado debe integrarse totalmente dentro del cuadro y debe ser válido para un amplio rango de cuadros similares, concluye que la única alternativa válida es la del diseño de un "kit e-bike de motor central - motor integrado en el cuadro".

Y es que el diseño completo de una bicicleta eléctrica requeriría el diseño y fabricación de un cuadro no convencional, que manteniendo la filosofía de un motor central que accionaría directamente el eje del pedalier, tendría un elevado coste e imposibilitaría dotar de versatilidad al sistema, pues los cuadros deberían ser de nueva fabricación.

Por otra parte, los sistemas en los que se utilizaría la rueda delantera o trasera como medios de transmisión de la fuerza de tracción del motor, aun cumpliendo el requisito de versatilidad, serían demasiado perceptibles al ojo humano y por tanto no cumplirían con el primero de los requisitos, la "invisibilidad" del sistema.

Llegado este punto, superando dos de los tres criterios impuestos como especificaciones requeridas en el proyecto, únicamente el sistema de motor central integrado en el cuadro de la bicicleta sería válido. Y nada más alejado de la realidad, éste es el sistema de asistencia al pedaleo idóneo dadas las principales características técnicas a cumplir en este proyecto.

Y es aquí donde surge la solución adoptada, una variante del sistema de asistencia al pedaleo integrado dentro del cuadro de la bicicleta, que, a partir de un primer prototipo, busca abaratar

los costes de fabricación de los principales componentes mecánicos involucrados en la transmisión de potencia desde el motor al eje pedalier.

Dichos componentes se pueden resumir en dos partes fundamentales, el par de engranajes cónicos y la reductora.

Los engranajes cónicos presentes en la alternativa comercial son de tipo helicoidal, lo que disminuye el ruido generado en el engrane, pero aumenta en mucho el coste de su fabricación. Es por ello que el prototipo cambiará este par de engranaje por un par, cónico también, ya que para estas dimensiones no existe mejor solución actualmente, pero recto, más fácil de mecanizar, pues el ruido producido no es un factor determinante.



Ilustración 8: Ejemplo engranajes cónicos rectos.

Por otra parte, la reductora empleada en la solución comercial está formada por diversas etapas de engranajes planetarios, que por las dimensiones generales del sistema serán de difícil mecanización y, además, para garantizar un correcto funcionamiento, cada etapa estará formada al menos por cuatro engranajes, lo que encarece aún más su fabricación.

Para reducir el coste de este componente se ha debido recurrir a otro tipo de reductoras. Las alternativas eran dos: reductoras magnéticas o reductoras cicloidales, también conocidas como hipocicloidales. Dado el carácter experimental de las reductoras magnéticas, aun asegurando ser más eficientes y de cero mantenimiento, no se dispone de los medios necesarios para desarrollar una solución de estas características.

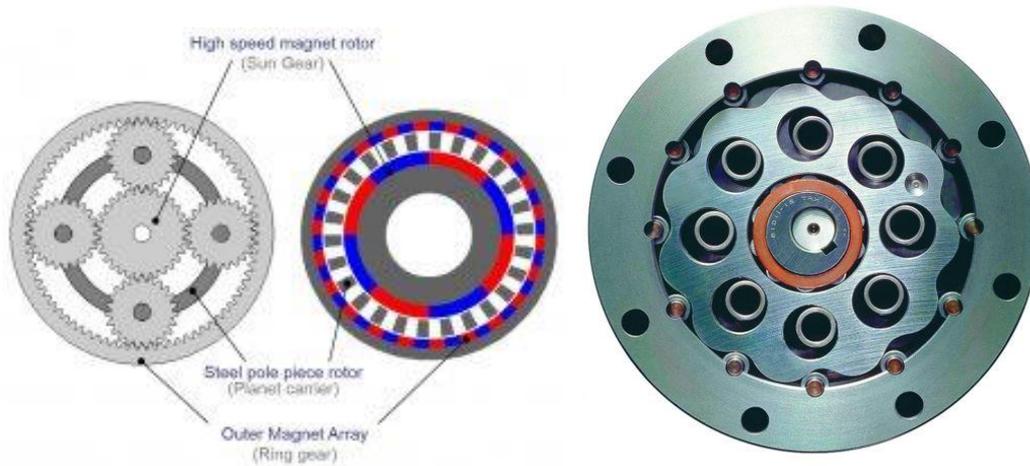


Ilustración 9: Reductora planetaria vs magnética vs hipocicloidal (SUMITOMO)

Por otra parte, dadas las buenas prestaciones en cuanto a relación "reducción total / espacio disponible" que las reductoras hipocicloidales ofrecen en el campo de la robótica, entre otros, y la reducción en número y simplicidad de sus componentes, hacen que, aun siendo un tipo de reductora poco desarrollado en comparación con las reductoras de engranajes planetarios, resulte idónea para la solución que se quiere ofrecer en este proyecto.

Por todo lo expuesto, la solución adoptada es la de implementar un sistema de asistencia al pedaleo con motor central integrado dentro del cuadro, de gran versatilidad, y caracterizado por disponer de una reductora hipocicloidal que reducirá los costes de producción del producto final.

5. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LOS COMPONENTES Y/O ETAPAS DE CADA UNA DE LAS FASES DE DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

Las fases de desarrollo en las que se divide este proyecto han sido diversas y tecnológicamente distintas, con una integración de componentes creciente con cada consecución de las mismas.

Por esta razón se ha considerado imprescindible realizar una descripción detallada de cada una de las fases que componen la solución adoptada, es decir, el prototipo. Éstas han sido:

- FASE I: DISEÑO
- FASE II: FABRICACIÓN
- FASE III: MONTAJE
- FASE IV: PUESTA EN MARCHA

5.1. DISEÑO DEL PROTOTIPO

La fase de diseño es la más importante de todo el proyecto, dada la diversidad tecnológica de los componentes que lo forman.

Es por ello que, para describir de una forma más concisa, a la par que minuciosa, cada uno de los componentes diseñados, se ha dividido en varias partes, según el área tecnológica involucrada.

De este modo, el diseño se divide en diseño mecánico, diseño eléctrico y diseño electrónico/programación.



Ilustración 10: Conjunto bicicleta prototipo

5.1.1. DISEÑO MECÁNICO DEL PROTOTIPO

El diseño mecánico conforma la base del diseño del prototipo, responsable del dimensionado y cálculo de los componentes que permiten la transmisión mecánica de la potencia contenida en el motor, en forma de par y velocidad de giro, al eje del pedaliar de la bicicleta, haciendo posible así la asistencia al pedaleo.

Los componentes que permiten dicha transmisión mecánica de potencia, siguiendo el orden de accionamiento, son la reductora, la rueda libre y el par de engranaje cónico-recto.



Ilustración 11: Componentes transmisión mecánica de potencia

A continuación, se describirán detalladamente cada uno de ellos.

5.1.1.1. REDUCTORA

La reductora es el primero, y el más determinante, de los componentes encargados de transmitir la potencia mecánica generada por el motor, adecuando su velocidad y par según las condiciones requeridas. Un mal diseño de este componente y las especificaciones requeridas serán difícilmente alcanzables.

El tipo de reductora empleada es hipocicloidal, nombre que viene dado por el movimiento de carácter hipocicloide excéntrico que generan los dientes del engranaje central, o lóbulos, alrededor de los pines del engranaje o anillo exterior.

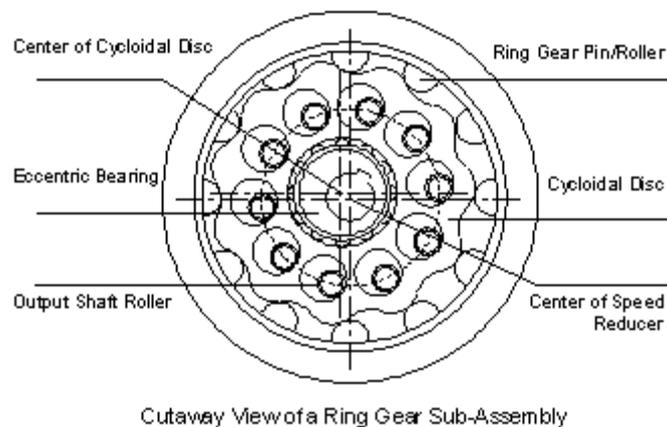


Ilustración 12: Esquema reductora hipocicloidal (SUMITOMO)

El funcionamiento general de este tipo de reductoras es muy sencillo, un engranaje central con un número de dientes o lóbulos preestablecidos en el diseño, gira excéntricamente y en sentido opuesto alrededor de un eje, que puede ser el de entrada o simplemente el de una etapa intermedia. Al disponer de un número de pines (entendiendo así los dientes del engranaje o anillo exterior) en una unidad mayor que de lóbulos tiene el engranaje central, unido al movimiento excéntrico originado, éstos últimos intentarán engranarse a cada rotación, lo que obligará a rotar al engranaje central, exactamente un lóbulo por cada rotación del eje del motor. Este hecho propicia una relación de transmisión, en este caso de reducción, igual al número de lóbulos presentes en el engranaje central.

Entrando en detalle con la reductora hipocicloidal empleada, en primer lugar, cabe mencionar que se trata de una reductora de tres etapas, idénticas, que, al contener un engranaje central de cinco lóbulos, obtiene una relación de transmisión total de 125:1, 5:1 por etapa.

Sus dimensiones exteriores son de aproximadamente 107mm de longitud y 32mm de diámetro, consiguiendo así una relación reducción/tamaño total muy alta.



Ilustración 13: Reductora hipocicloidal

Además, está compuesta por trece componentes de diseño propio, de los cuales diez son diferentes, y dieciocho componentes de tornillería.

Todos los componentes de fabricación propia han sido diseñados íntegramente con Autodesk INVENTOR Professional en su versión 2017. Para conocer con mayor detalle el proceso de diseño seguido, en el ANEXO I se ha dispuesto una guía de diseño de los principales componentes de la reductora hipocicloidal.

- **REDUCTORA HIPOCICLOIDAL: COMPONENTES DE DISEÑO PROPIO**



Ilustración 14: Explosión reductora hipocicloidal

Los componentes diseñados que conforman la reductora son de dos tipos, aquellos que intervienen directamente en la transmisión mecánica de potencia (engranajes, carcasa, ejes, acoplamientos, etc.), y aquellos cuya función es meramente de ajuste o protección (separadores, tapas y juntas).

A continuación, se procederá a detallar en primer lugar los encargados de transmitir la potencia mecánica siguiendo el orden de transmisión de la misma:

EJE EXCÉNTRICO

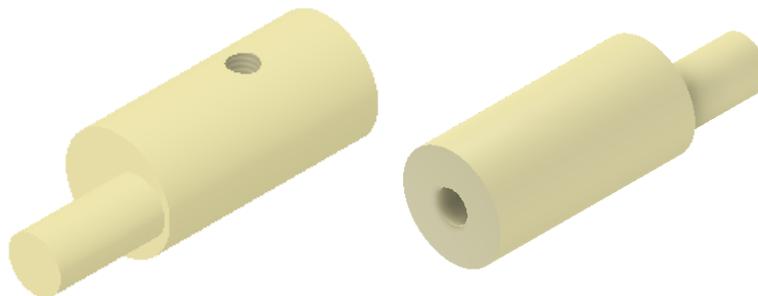


Ilustración 15: Eje excéntrico

Se trata del eje motriz, que transmite la potencia del motor a la primera etapa de la reductora.

Probablemente una de las piezas más críticas, conjuntamente con el eje de salida, de todo el diseño.

Con una longitud total de 30mm y un diámetro de entrada de 10mm, 5mm para la salida, cuenta con una excentricidad de 2mm y un agujero de entrada para el eje que garantiza un perfecto ajuste, conjuntamente con el agujero roscado para M3 donde se alojará un tornillo prisionero que evitará el deslizamiento del eje del motor.

Se emplea una única unidad en toda la reductora.

El material propuesto en el diseño del prototipo es el plástico PLA.

Para conocer con mayor detalle todas las características dimensionales de este componente, ver en el apartado de planimetría: Plano 1.1.1.1.

ENGRANAJE EXTERIOR – CARCASA

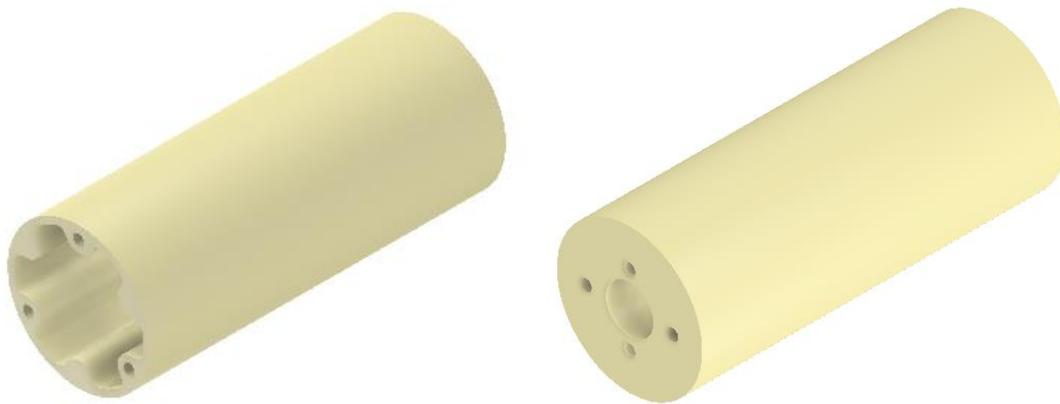


Ilustración 16: Engranaje exterior - carcasa

El engranaje exterior, también conocido como carcasa ya que es la pieza que confiere el cuerpo de la reductora, contiene todas las etapas y posibilita el funcionamiento del sistema. Un mal diseño y las posibles interferencias mecánicas imposibilitarían la transmisión de movimiento entre los ejes de entrada y salida.

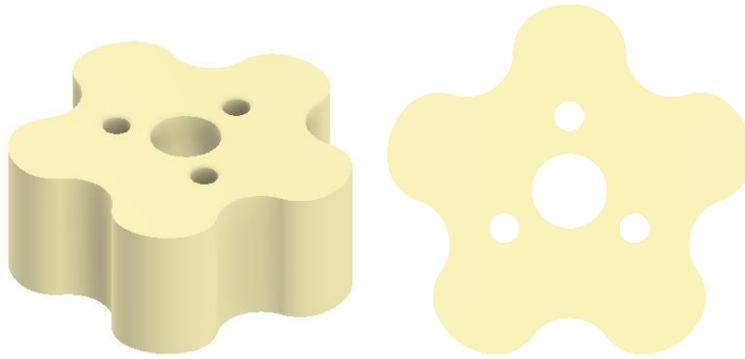
El diseño cuenta con una longitud de 80mm y un diámetro exterior de 32mm, donde se generan un total de seis pines, que posibilitan la rotación de los cinco lóbulos del engranaje central. Además cuenta, en primer lugar, en la parte inferior, donde se inserta el eje motriz, con un agujero pasante de 10.5mm, dos agujeros roscados M3 y dos agujeros pasantes de 2.6mm de diámetro para los cuatro tornillos que según la disposición de la carcasa del motor, son necesarios para garantizar un perfecto apriete y coaxialidad entre ambos elementos, y en segundo lugar, en la parte superior, con tres agujeros roscados de M3 donde se insertarán los tornillos que junto con las protecciones pertinentes garantizarán el cierre total de la reductora.

El diseño del perfil interior que requiere este anillo o engranaje exterior se ha dispuesto en el ANEXO I.

Se emplea una única unidad en toda la reductora.

El material propuesto en el diseño del prototipo es el plástico PLA.

Para conocer con mayor detalle todas las características dimensionales de este componente, ver en el apartado de planimetría: Plano 1.1.1.4.

ENGRANAJE CENTRAL*Ilustración 17: Engranaje central*

El engranaje central es la pieza clave en el funcionamiento de la reductora, de él depende que la transmisión de par y velocidad sea la correcta. Se inserta en la carcasa.

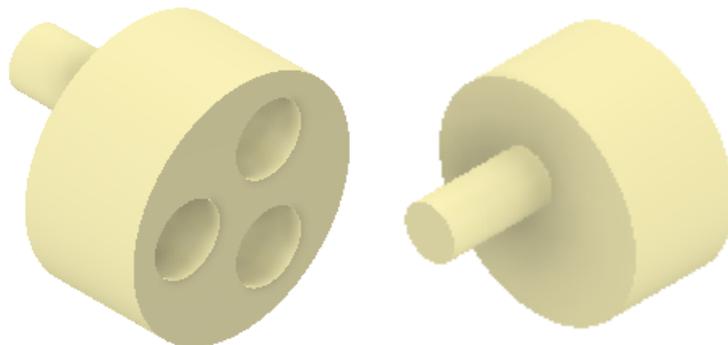
Diseñado con un diámetro exterior (el formado por los puntos más extremos de los lóbulos) de 25mm y un espesor de 10mm, cuenta con tres agujeros pasantes de 2mm de diámetro para la colocación de los pines comerciales que transmitirán el movimiento excéntrico de este engranaje en un movimiento de rotación coaxial al eje motriz gracias al diseño de los discos de salida de etapa, intermedio o final, que a continuación se detallarán. Además, como se puede observar cuenta con un agujero central de 5mm de diámetro donde se inserta el eje excéntrico, ya sea del motriz, o del disco de salida de cada etapa.

El diseño del singular perfil que requiere este engranaje se ha dispuesto en el ANEXO I.

Se emplea una unidad en cada una de las etapas existentes.

El material propuesto en el diseño del prototipo es el plástico PLA.

Para conocer con mayor detalle todas las características dimensionales de este componente, ver en el apartado de planimetría: Plano 1.1.1.3.

DISCO SALIDA ETAPA INTERMEDIO*Ilustración 18: Disco salida etapa intermedio*

El disco de salida de etapa intermedio es el encargado de convertir el movimiento de rotación excéntrico variable proporcionado por el engranaje central a través de los pines que lleva insertados (recordar que los pines describen una trayectoria circular, de ahí la variabilidad de la excentricidad), en un movimiento de rotación coaxial al eje motriz, gracias a los agujeros donde se insertan éstos, dispuestos en la cara inferior de la pieza. Además, al tratarse del disco de salida de etapa intermedio, éste debe transmitir el movimiento de rotación a la siguiente etapa, y como dicho movimiento debe ser nuevamente excéntrico, con la misma excentricidad de 2mm establecida en el eje motriz, se ha diseñado sobre la cara superior del disco un eje excéntrico idéntico al diseñado en el eje motriz.

De este modo se obtiene un disco de 20mm de diámetro y un espesor de 10mm, con tres agujeros de diámetro 6mm y profundidad de 5mm en la cara inferior, y sobre la cara superior un eje de 5mm de diámetro y 10mm de longitud, de excentricidad 2mm, que confiere al componente final una longitud total de 20mm.

El diseño detallado de este componente también se ha dispuesto en el ANEXO I.

Se emplean en total dos unidades, una por cada etapa intermedia de la reductora.

El material propuesto en el diseño del prototipo es el plástico PLA.

Para conocer con mayor detalle todas las características dimensionales de este componente, ver en el apartado de planimetría: Plano 1.1.1.5.

DISCO SALIDA ETAPA FINAL

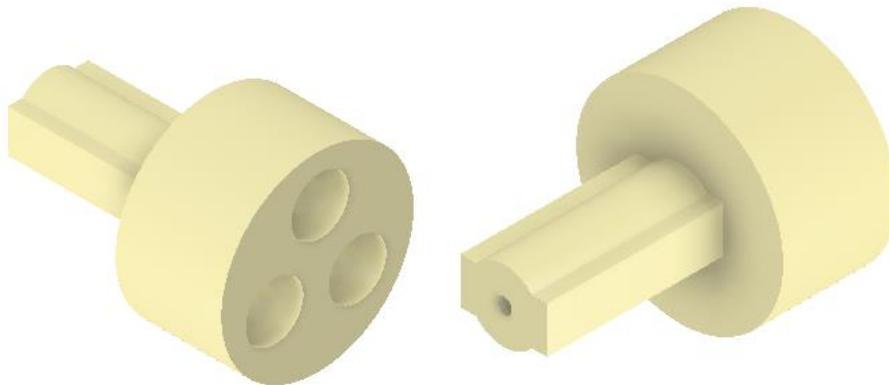


Ilustración 19: Disco salida etapa final

El disco de salida de etapa final es el encargado de convertir el movimiento de rotación excéntrico variable proporcionado por el engranaje central de la tercera y última etapa, en un movimiento de rotación coaxial al eje motriz, que será transmitido al siguiente elemento de transmisión de potencia mecánica del sistema, el mecanismo de rueda libre, a partir del eje de salida especialmente diseñado para ello sobre el disco que forma el cuerpo de este componente.

Como se trata del mismo disco de salida de etapa que el intermedio, pero con distinto eje, únicamente decir en cuanto a dimensiones que el eje de 17mm de longitud y un agujero roscado de M2 en su cara superior, para el tornillo que sirve para ensamblar la tapa de sujeción del siguiente elemento mecánico, confieren al componente de una longitud total de 28mm.

Se emplean una unidad a la salida de la última etapa de la reductora.

El material propuesto en el diseño del prototipo es el plástico PLA.

Para conocer con mayor detalle todas las características dimensionales de este componente, ver en el apartado de planimetría: Plano 1.1.1.6.

Una vez descritos los componentes que intervienen en la transmisión de potencia mecánica, se procede con los componentes encargados de ajustar o proteger dichos elementos, siguiendo el orden de ensamblaje de los mismos:

SEPARADOR MOTOR-CARCASA

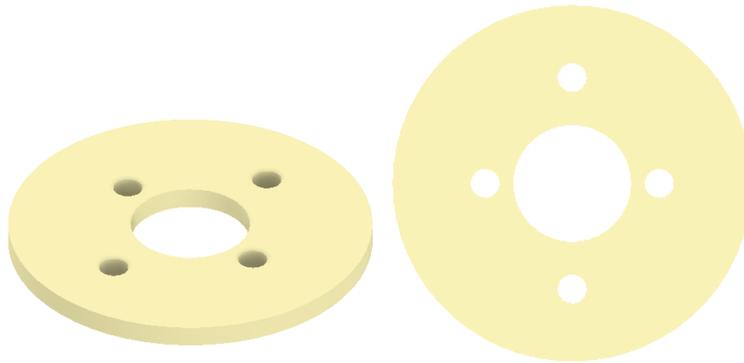


Ilustración 20: Separador moto-carcasa

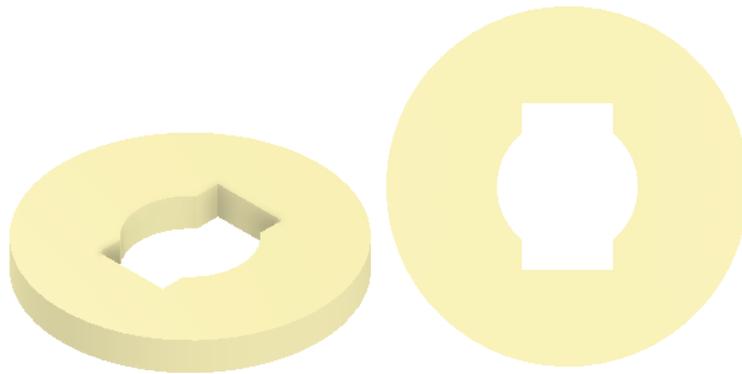
El separador motor-carcasa, como su nombre indica, es la pieza que sirve de separación y ajuste longitudinal del anclaje entre el motor y la carcasa de la reductora.

Se trata de un disco de 32mm de diámetro, el mismo que la carcasa, y de 1.9mm de espesor, con un agujero central de 10.5mm donde se inserta el eje motriz, y cuatro agujeros pasantes de 2.6mm de diámetro por donde se colocan los tornillos de sujeción del motor, ya mencionados con anterioridad.

Se emplean una unidad a la entrada de la carcasa de la reductora.

El material propuesto en el diseño del prototipo es el plástico PLA.

Para conocer con mayor detalle todas las características dimensionales de este componente, ver en el apartado de planimetría: Plano 1.1.1.2.

TAPA PROTECCIÓN INTERIOR*Ilustración 21: Tapa protección interior*

La tapa de protección interior sirve para evitar la entrada, por la zona central de la carcasa, de cualquier partícula al interior de la reductora. Se combina con la tapa de protección exterior para garantizar el cierre total del conjunto.

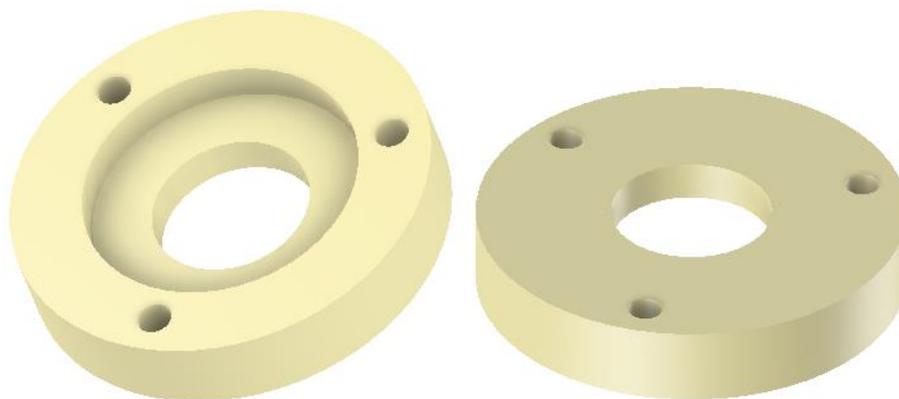
A diferencia de la tapa de protección exterior, ésta gira solidaria al eje de salida (se inserta en el mismo), causa de lo cual es el diseño interior de la misma, que se ajusta al máximo al diseño realizado para el eje.

En cuanto a dimensiones, se trata de un disco de 18mm de diámetro y 2mm de espesor.

Se emplea una única unidad en la reductora.

El material propuesto en el diseño del prototipo es el plástico PLA.

Para conocer con mayor detalle todas las características dimensionales de este componente, ver en el apartado de planimetría: Plano 1.1.1.7.

TAPA PROTECCIÓN EXTERIOR*Ilustración 22: Tapa protección exterior*

La tapa de protección exterior, como ya se ha explicado con anterioridad, sirve para garantizar el cierre de la reductora, a su salida, conjuntamente ensamblada con la tapa de protección interior arriba descrita.

Se trata de un disco de 32mm de diámetro exterior, con un espesor total de 6mm que consta de un rebaje interior de 21mm de diámetro y 3mm de profundidad, para albergar la protección interior e impedir cualquier rozamiento innecesario en su movimiento solidaria al eje de salida de la reductora que se insertará por el agujero central pasante de 12mm de diámetro de esta misma cara.

Además, en la cara opuesta al rebaje consta de tres agujeros pasantes de diámetro 2.6mm donde se insertan los tornillos de apriete que unirán este elemento a la carcasa.

Se emplea una única unidad en la reductora.

El material propuesto en el diseño del prototipo es el plástico PLA.

Para conocer con mayor detalle todas las características dimensionales de este componente, ver en el apartado de planimetría: Plano 1.1.1.8.

SEPARADOR REDUCTORA - RUEDA LIBRE

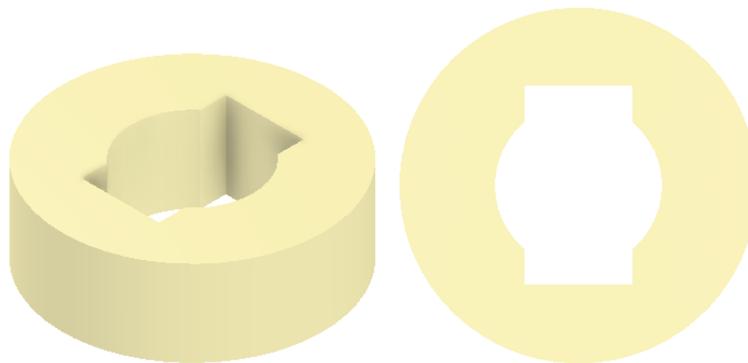


Ilustración 23: Separador reductora-rueda libre

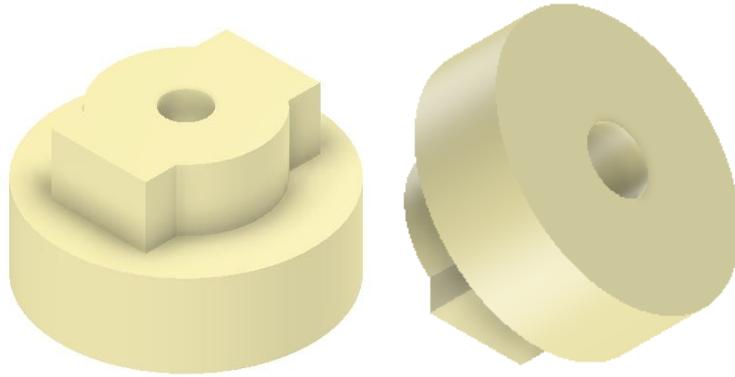
Se trata, como su nombre indica, de un separador entre la reductora, concretamente la tapa exterior, y el cuerpo o carcasa del mecanismo de rueda libre.

Como se puede observar por su diseño interior, se mueve solidario al eje, y está formado por un disco de 15mm diámetro y 5mm de espesor.

Se emplea una única unidad situada entre la reductora y el mecanismo de rueda libre.

El material propuesto en el diseño del prototipo es el plástico PLA.

Para conocer con mayor detalle todas las características dimensionales de este componente, ver en el apartado de planimetría: Plano 1.1.1.9.

CIERRE SUJECIÓN RUEDA LIBRE*Ilustración 24: Cierre sujeción rueda libre*

El cierre de sujeción de rueda libre se encarga de asegurar el perfecto ensamblaje entre el eje de salida de la reductora y el cuerpo principal del mecanismo de rueda libre, posibilitando su movimiento. Esto se debe gracias a un disco de 12mm de diámetro y 4mm de espesor, en el cual se ha diseñado en una de las caras un eje igual al de salida de la reductora, pero de muy corta longitud, tan sólo de 3mm, para que se pueda insertar en el interior del cuerpo de la rueda libre y mediante el escariado de 3mm de profundidad que alberga un tornillo de M2 en el centro de la pieza, se pueda realizar un perfecto ajuste entre ambos componentes, reductora y rueda libre, para garantizar una correcta unión entre ambos, y en consecuencia una correcta transmisión de movimiento, con unas pérdidas mínimas por fricción.

Se emplea una única unidad insertada en la carcasa del mecanismo de rueda libre y solidaria al eje de la reductora.

El material propuesto en el diseño del prototipo es el plástico PLA.

Para conocer con mayor detalle todas las características dimensionales de este componente, ver en el apartado de planimetría: Plano 1.1.1.10.

- **REDUCTORA HIPOCICLOIDAL: COMPONENTES DE TORNILLERÍA**

Antes de empezar cabe mencionar que toda la tornillería a continuación descrita sigue el estándar DIN/ISO.

La tornillería propuesta en el diseño cumple tres funciones, transmisión de movimiento por contacto, apriete y ajuste/centrado.

A continuación se detalla brevemente el conjunto de tornillería utilizada para cumplir cada una de las funciones descritas:

TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO POR CONTACTO

Los únicos elementos que no han sido diseñados y se encuentran directamente involucrados en la transmisión mecánica de potencia de la reductora son los pines o pasadores metálicos, DIN EN ISO 8734 de 2mm de diámetro y 14mm de longitud.



Ilustración 25: Pasadores engranaje central

APRIETE Y AJUSTE/CENTRADO

La tornillería seleccionada para realizar las funciones de apriete y ajuste/centrado entre elementos ha sido:

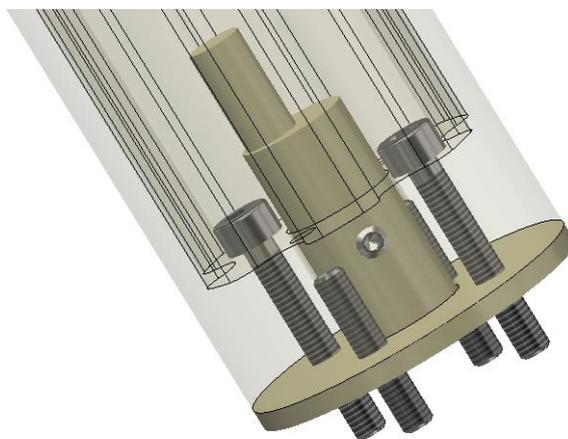


Ilustración 26: Tornillería sujeción motor

Para el apriete del motor tornillos de cabeza de boquilla DIN EN ISO 4762 de M3 y 20mm de longitud y tornillos prisioneros o de cabeza perdida DIN 913 de M3 y 16mm de longitud.

Para evitar el deslizamiento del eje un único tornillo prisionero del mismo DIN 913 de M3 y 4mm de longitud.

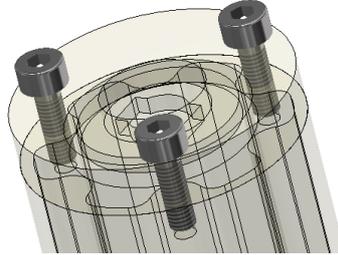


Ilustración 27: Tornillería sujeción tapa exterior

Para el apriete de la tapa de protección exterior se han utilizado tornillos de cabeza de boquilla DIN EN ISO 4762 de M3 y 10mm de longitud.

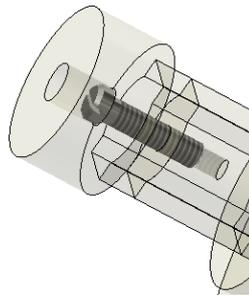


Ilustración 28: Tornillería sujeción cierre

Por último, para el apriete del cierre de sujeción de la rueda libre, se ha dispuesto un tornillo de cabeza plana DIN 920 de M2 y 8mm de longitud.

Para conocer el listado de piezas completo ver en el apartado planimetría: Plano 1.1.1 "REDUCTORA HIPOCICLOIDAL".

5.1.1.2. RUEDA LIBRE

La rueda libre, mecanismo de rueda libre, o piñón libre como se conoce en el mundo del ciclismo, es el mecanismo que permite a un eje girar libremente en un sentido y ser engranado en el sentido contrario, que aplicado y correctamente adaptado al prototipo, permite realizar dos acciones distintas: Conectar el sistema de asistencia estando en movimiento, sin dejar de pedalear, siempre y cuando se esté por debajo de la cadencia máxima (rpm del eje del pedalier) admitida por el sistema y por otra parte, pedalear libremente sin la necesidad de poner en funcionamiento el motor, evitando así la resistencia mecánica que provocaría una reductora conectada directamente al eje del pedalier.

Por otra parte, al poder liberar la rotación del eje del pedalier se evita dañar el sistema en caso de una cadencia excesivamente elevada que provoque un aumento considerable de la fricción entre los distintos componentes, llegando al punto de ser irreparable.

En definitiva, este mecanismo permite que el motorreductor funcione dentro del rango preestablecido al realizar el diseño.

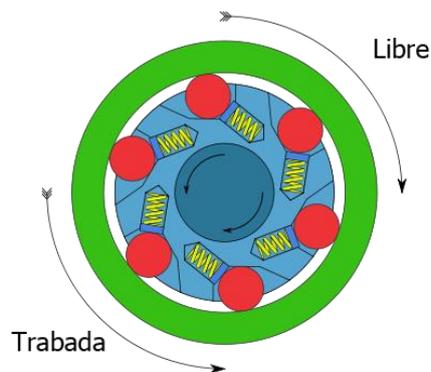


Ilustración 29: Esquema rueda libre (WIKIPEDIA)

Por lo general está formado por tres componentes fundamentales: el trinquete, que es la pieza con el perfil de diente de sierra, tan característico de este sistema, que gira sin oposición en un sentido y en el otro no, la estructura de soporte y envolvente, la cual tiene diferentes formas según el uso que adopte el sistema, y las llamadas "uñetas" que son las piezas giratorias que se engranan o desengranan al trinquete, permitiendo o no el movimiento del eje.

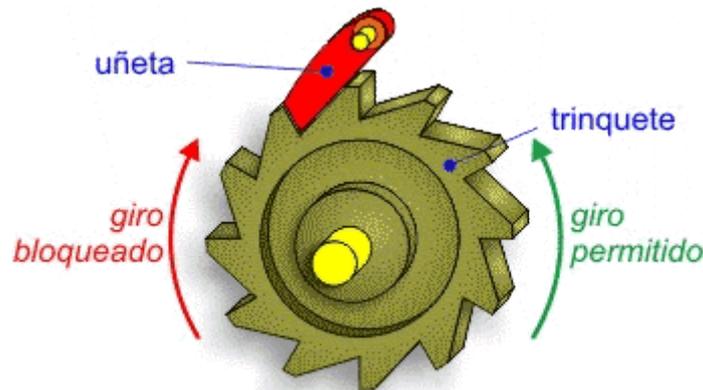


Ilustración 30: Componentes rueda libre (WIKIPEDIA)

A "grosso modo" estos serían los componentes de un mecanismo de rueda libre convencional, pero el prototipo realizado en este proyecto dista mucho de la convencionalidad.

Es por ello que, aunque los componentes que forman el mecanismo de rueda libre presente en el prototipo, son prácticamente los mismos, no es así su forma y disposición, ya que por ejemplo, la estructura de soporte, a la que se unen las uñetas y sirve como protección de todo el sistema, es la que gira solidaria al eje de salida de la reductora (por lo que a partir de ahora se le denominará como corona de la rueda libre), mientras que el trinquete, entendido como un engranaje cuyo perfil dentado tiene forma de diente de sierra, es el elemento solidario al eje de salida final de la rueda libre.

En cuanto a dimensiones, el mecanismo de rueda libre tiene un diámetro exterior de 30.5mm y una longitud total, contando con el eje de salida, de 48mm.

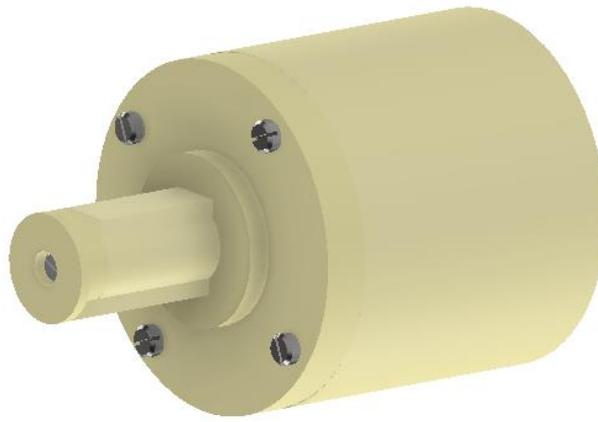


Ilustración 31: Rueda libre

Está formado por un total de trece componentes de diseño propio, de los cuales seis son diferentes, ocho elementos comerciales y trece componentes de tornillería.

- **RUEDA LIBRE: COMPONENTES DE DISEÑO PROPIO**

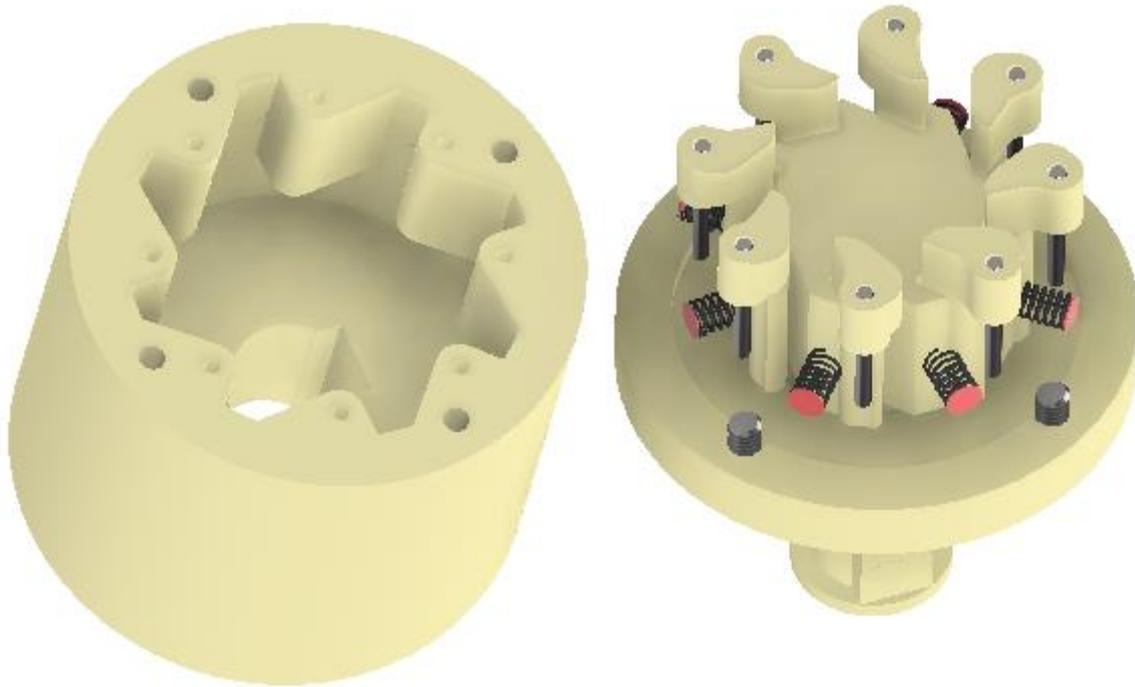


Ilustración 32: Explosión rueda libre

Los componentes diseñados que conforman el mecanismo de rueda libre son de dos tipos (al igual que ocurría con la reductora), aquellos que intervienen directamente en la transmisión mecánica de potencia (corona, uñetas y engranaje), y aquellos cuya función es meramente de ajuste o protección (separadores, tapas de protección y cierres).

A continuación, se procederá a detallar en primer lugar los encargados de transmitir la potencia mecánica siguiendo el orden de transmisión de la misma:

CORONA RUEDA LIBRE

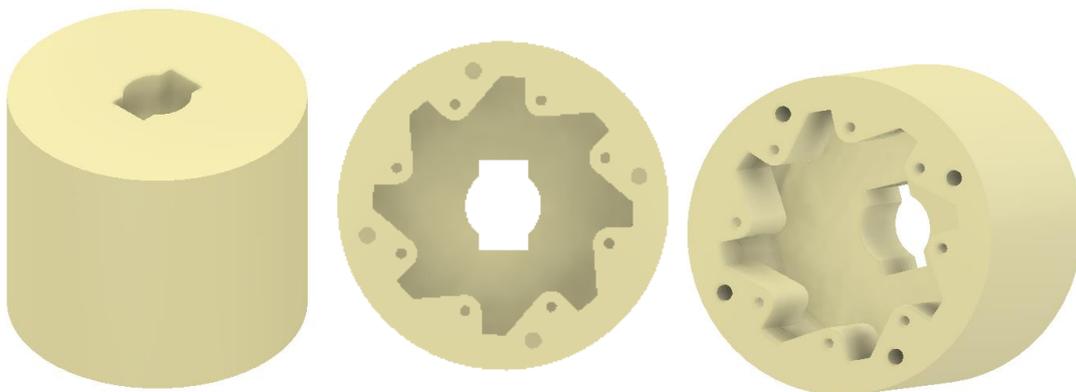


Ilustración 33: Corona rueda libre

La corona de la rueda libre constituye el elemento fundamental en la transmisión "o no" de movimiento de la misma. Es solidaria al eje de salida de la reductora por la parte superior, como se observa en las capturas de arriba, ya que lleva una inserción con la forma del diseño del eje de 10mm de profundidad, que se utiliza en prácticamente todos los elementos del prototipo que lo requieran (se trata de un eje "estándar" para el prototipo). Por la parte inferior el diseño gana en complejidad, con unos salientes de 10mm de longitud que sirven de soporte para las ocho uñetas, las cuales irán fijadas por pasadores, como demuestran los ocho agujeros pasantes de 1mm de diámetro. Además, en esta cara se pueden observar los cuatro agujeros roscados de M2 donde se insertarán los tornillos que soportan la tapa de protección de este conjunto.

Por otra parte, en el espacio comprendido entre salientes, se ha realizado un pequeño rebaje de 2.25mm de diámetro y profundidad prácticamente inapreciable de 0.1mm, con el fin de referenciar el plano de apoyo de los muelles comerciales que se situarán para devolver a las uñetas a su posición de accionamiento inicial.

En cuanto a dimensiones generales, se trata de un redondo de 30.5mm de diámetro y 26mm de longitud.

Se emplea una única unidad en el conjunto de la rueda libre.

El material propuesto en el diseño del prototipo es el plástico PLA.

Para conocer con mayor detalle todas las características dimensionales de este componente, ver en el apartado de planimetría: Plano 1.1.3.1.

UÑETA DE LA RUEDA LIBRE

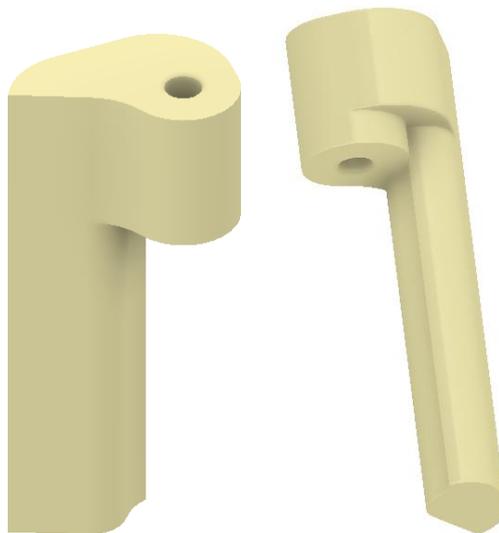


Ilustración 34: Uñeta rueda libre

La uñeta es el componente más crítico dentro del ensamblaje de la rueda libre, ya que debe transmitir toda la potencia mecánica que proviene de la reductora hipocicloidal, cuando el sistema lo requiera, engranando con la corona, o, por el contrario, debe permitir el libre movimiento del engranaje central de la rueda libre cuando el sistema de asistencia se encuentre desconectado.

Consta de unas dimensiones generales de 14mm de largo y de un ancho aproximado de 6mm en su parte superior.

Así mismo está diseñada para albergar un pasador de 1.2mm de diámetro, como el agujero pasante en su parte superior así lo demuestra, que le otorga la rotación requerida para el funcionamiento correcto del sistema.

Se emplean ocho unidades en el conjunto de la rueda libre.

El material propuesto en el diseño del prototipo es el plástico PLA.

Para conocer con mayor detalle todas las características dimensionales de este componente, ver en el apartado de planimetría: Plano 1.1.3.3.

ENGRANAJE DE TRINQUETE

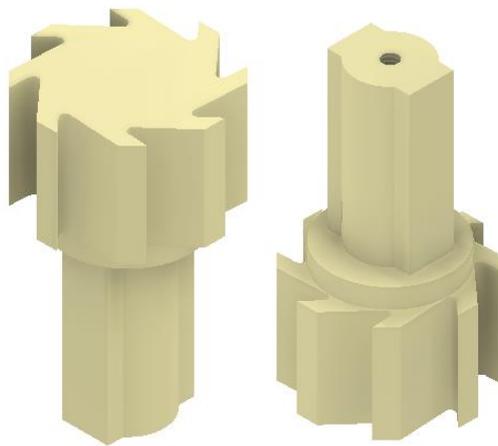


Ilustración 35: Engranaje de trinquete

El engranaje de trinquete de la rueda libre, denominado así por el perfil dentado, en forma de dientes de sierra, que tiene en su parte superior o cabeza, es junto con las uñetas, otro de los componentes críticos de este ensamblaje. Este perfil dentado debe soportar las fuerzas axiales y tangenciales producidas por el engrane de la corona solidaria a la reductora y por otra parte, debe tener un diseño lo suficientemente fino, como para deslizar sin problemas sus caras y no entorpecer el libre pedaleo con ningún tipo de interferencia, cuando el sistema se halle desconectado.

Entrando en detalle, la cabeza con el perfil de trinquete tiene una longitud de 10mm y un diámetro exterior, comprendido entre caras del dentado, de aproximadamente 16mm.

En su cara superior consta de un disco de 12mm de diámetro y 2mm de espesor que hace las funciones de separador y tapa de protección interior (similar a la vista para la reductora), y encima de dicho disco consta del más que mencionado eje estándar establecido para este prototipo, con una longitud de 16mm y un agujero roscado M2 en su parte superior que alojará al tornillo de apriete del cierre del piñón cónico, perteneciente a la última fase de transmisión de potencia mecánica, que lleva insertado.

Todo ello confiere a este componente de una longitud total de 28mm.

Se emplea una única unidad en el conjunto de la rueda libre.

El material propuesto en el diseño del prototipo es el plástico PLA.

Para conocer con mayor detalle todas las características dimensionales de este componente, ver en el apartado de planimetría: Plano 1.1.3.2.

Una vez descritos los componentes que intervienen en la transmisión mecánica de potencia, se procede con los componentes encargados de ajustar o proteger dichos elementos, siguiendo el orden de ensamblaje de los mismos:

TAPA PROTECCIÓN RUEDA LIBRE

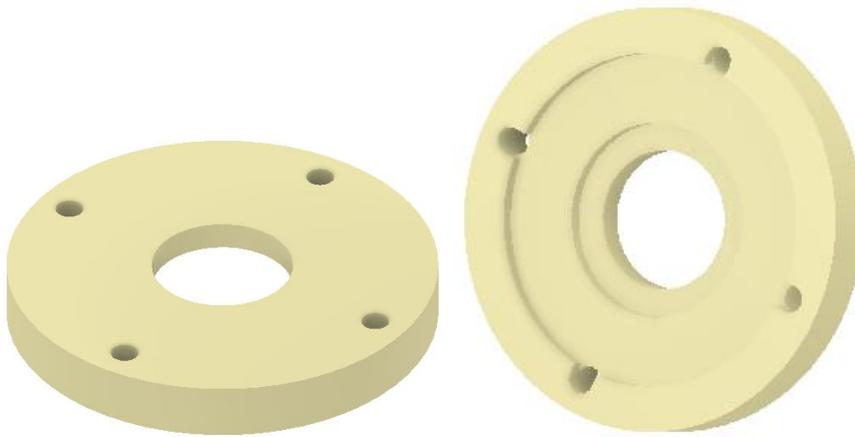


Ilustración 36: Tapa protección rueda libre

La tapa de protección de la rueda libre sirve para garantizar el cierre de la corona, conjuntamente con la parte del engranaje de trinquete dedicada a ello.

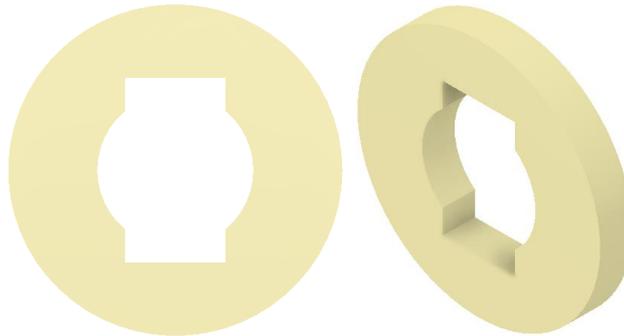
Se trata de un disco de 30.5mm de diámetro exterior, con un espesor total de 4mm que consta de dos rebajes interiores, el primero de 24mm de diámetro y 1mm de profundidad, que sirve para evitar posibles interferencias con el engranaje de trinquete durante la rotación de la corona, y el segundo de 14mm de diámetro y también 1mm de profundidad, para albergar la protección interior diseñada en el mismo engranaje de trinquete y así impedir cualquier rozamiento innecesario. En esta misma cara consta también de un agujero pasante central de 10mm de diámetro por el que se inserta el eje diseñado en el engranaje de trinquete.

Además, en la cara opuesta al rebaje presenta tres agujeros pasantes de 2mm de diámetro donde se insertan los tornillos de apriete que unirán este elemento a la corona.

Se emplea una única unidad en la cara inferior de la corona de la rueda libre.

El material propuesto en el diseño del prototipo es el plástico PLA.

Para conocer con mayor detalle todas las características dimensionales de este componente, ver en el apartado de planimetría: Plano 1.1.3.4.

SEPARADOR RUEDA LIBRE - PIÑÓN CÓNICO*Ilustración 37: Separador rueda libre-piñón cónico*

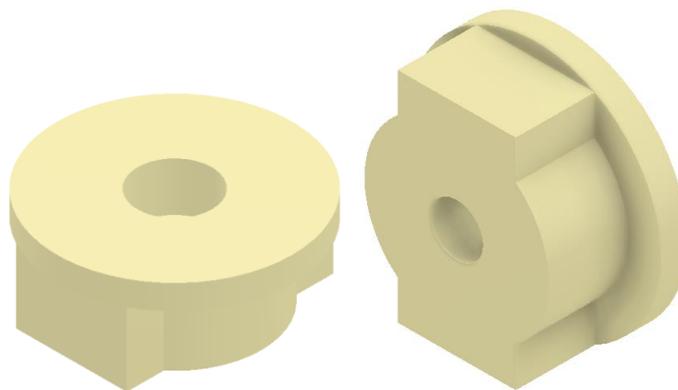
Se trata, como su nombre indica, de un separador entre la rueda libre, concretamente la tapa de protección, y el piñón cónico de la siguiente y última fase de transmisión mecánica de potencia del prototipo.

Como se observa por su diseño interior, se mueve solidario al eje, y está formado por un disco de 15mm diámetro y 2mm de espesor.

Se emplea una única unidad situada entre el mecanismo de rueda libre y el piñón cónico.

El material propuesto en el diseño del prototipo es el plástico PLA.

Para conocer con mayor detalle todas las características dimensionales de este componente, ver en el apartado de planimetría: Plano 1.1.3.5.

CIERRE SUJECIÓN PIÑÓN CÓNICO*Ilustración 38: Cierre sujeción piñón cónico*

El cierre de sujeción del piñón cónico se encarga de asegurar la perfecta unión entre el eje del engranaje de trinquete proveniente del ensamblaje de rueda libre y el piñón cónico perteneciente a la última fase de transmisión de potencia mecánica del prototipo, haciendo posible un movimiento solidario entre ambos. Esto se debe gracias a un disco de 9.5mm de diámetro y 1mm de espesor, en el que se ha diseñado el eje estándar de este prototipo, con una longitud de 3mm, para que quede insertado en el interior del piñón cónico, y que mediante un escariado realizado en el centro del eje de 2mm de profundidad, en el que se inserta un tornillo

de M2, se consigue el apriete necesario para la unión entre piezas y el movimiento solidario deseado.

Se emplea una única unidad insertada en el piñón cónico del par de engranaje.

El material propuesto en el diseño del prototipo es el plástico PLA.

Para conocer con mayor detalle todas las características dimensionales de este componente, ver en el apartado de planimetría: Plano 1.1.3.6.

- **RUEDA LIBRE: COMPONENTES COMERCIALES Y DE TORNILLERÍA**

Antes de empezar cabe mencionar que toda la tornillería a continuación descrita sigue el estándar DIN/ISO.

Los componentes comerciales mencionados que se incluyen en el diseño de la rueda libre son los muelles empleados en el retorno de la posición de las uñetas.

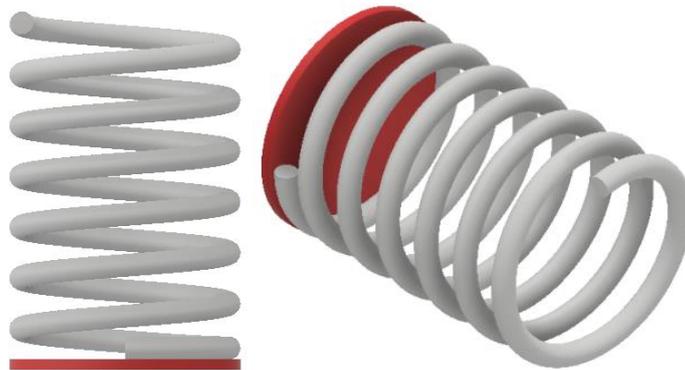


Ilustración 39: Muelle rueda libre

Las características del muelle son: diámetro exterior de 2.25mm, 0.7mm de diámetro de espira y con un total de 7 espiras (contando media a la entrada y a la salida), que le confieren una longitud total de aproximadamente 4mm. Además, consta de una pequeña base de 2.25mm de diámetro y 0.1mm de profundidad, que se utiliza como referencia para su inserción en la posición definida dentro de la corona de la rueda libre.

En cuanto a la tornillería propuesta en el diseño, ésta cumple las funciones de transmisión de movimiento por contacto y de apriete y sujeción de los elementos en los que se inserta.

A continuación se detalla brevemente el conjunto de tornillería utilizada para cumplir con cada una de las funciones descritas:

TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO POR CONTACTO

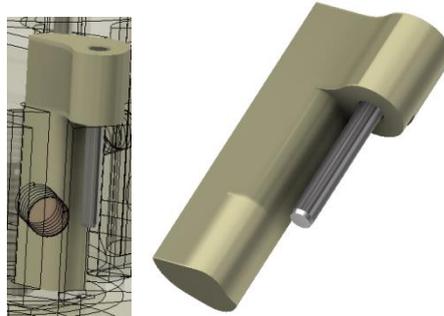


Ilustración 40: Pasador uñeta

Los elementos de tornillería utilizados para transmitir movimiento por contacto son los ocho pines DIN EN ISO 2338 de 1mm de diámetro y 10mm de longitud que se encargan de unir las uñetas a los salientes de la corona, actuando como ejes locos, recibiendo los esfuerzos en forma de fuerzas tangenciales y radiales del engrane entre rueda libre y reductora.

APRIETE Y AJUSTE

La tornillería seleccionada para realizar las funciones de apriete y ajuste, entre los elementos de la rueda libre, ha sido:

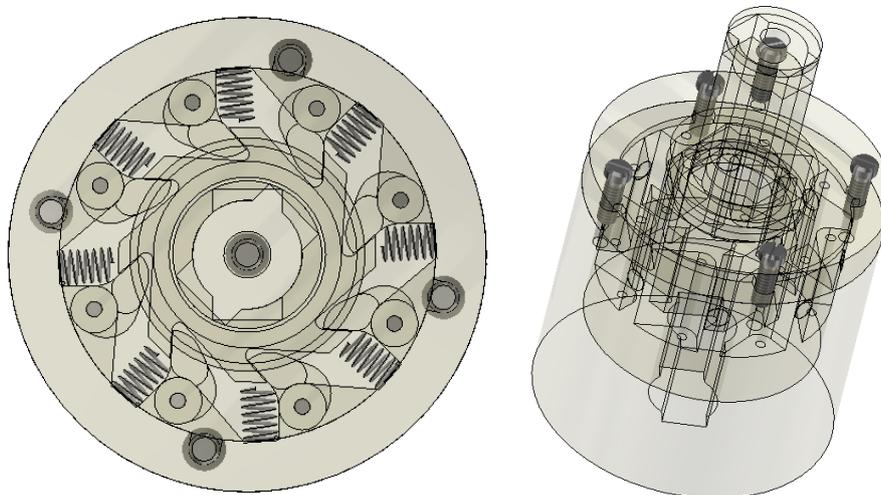


Ilustración 41: Tornillería rueda libre

Para el apriete de la tapa de protección de la rueda libre con la corona de la misma y el apriete del cierre de sujeción del piñón cónico se han empleado cinco tornillos de cabeza plana DIN 920 de M2 y una longitud de 6mm.

Para conocer el listado de piezas completo ver en el apartado planimetría: Plano 1.1.3 "RUEDA LIBRE".

5.1.1.3. PAR DE ENGRANAJE CÓNICO-RECTO

El par de engranaje representa la última fase de transmisión mecánica de potencia del prototipo. Con toda seguridad se puede afirmar que es la fase más crítica, mecánicamente hablando, del proyecto, pues, aunque todo funcione perfectamente aguas arriba, desde el motor, si no se transmite el par y la velocidad requeridas al eje del pedalier, el proyecto no habrá sido satisfactorio.



Ilustración 42: Ejemplo engranajes dientes rectos

Como es sabido, un par de engranaje transmite la potencia mecánica de un elemento de una máquina a otro, a través de los dos engranajes que contiene. La transmisión se puede realizar de muchas maneras, en este caso de forma perpendicular, ya que el eje de salida se encuentra a 90° del eje de entrada de la transmisión, por lo que los engranajes cónicos, y por simplicidad en su diseño y fabricación, también rectos, son los idóneos para desarrollar esta tarea mecánica final.



Ilustración 43: Ejemplo engranaje cónico ejes perpendiculares

Así pues, el par de engranaje cónico-recto diseñado está formado, obviamente, por dos elementos, un piñón y una corona, que dada la disposición de ambos dentro de la bicicleta han debido diseñarse con ciertas modificaciones respecto a los engranajes cónicos convencionales, y por cuatro componentes de tornillería.

Para conocer con mayor detalle el proceso de diseño seguido, en el ANEXO II se ha dispuesto una guía de diseño del par de engranaje cónico-recto.



Ilustración 44: Par engranaje cónico

- **PAR DE ENGRANAJE: COMPONENTES DE DISEÑO PROPIO**

Los componentes diseñados son el piñón y la corona cónicos-rectos, encargados de transmitir mecánicamente la potencia llegada del motor, a su paso por la reductora y posterior rueda libre, al eje del pedalier de la bicicleta.

Para tal fin, y respetando las especificaciones del proyecto, se ha diseñado el piñón para su colocación en la parte inferior del tubo del sillín y la corona para su inserción en el eje del pedalier de la bicicleta, a causa de ello, dada la desigualdad de dimensiones que debían tener uno y otro para cumplir su cometido en el reducido espacio disponible, el piñón cuenta con un total de 11 dientes, mientras que la corona cuenta con 21 dientes, otorgando al conjunto una relación de transmisión de reducción de 1:1.90, que junto con la reducción proporcionada por la reductora, hace una relación de transmisión de reducción total de 1:238.6 . Por otra parte, el módulo elegido en el diseño ha sido de 1.75, obteniéndose un paso de 5.5mm aproximadamente.

A continuación, se procederá a detallar las peculiaridades del diseño realizado en ambos componentes:

ENGRANAJE CÓNICO-RECTO: PIÑÓN

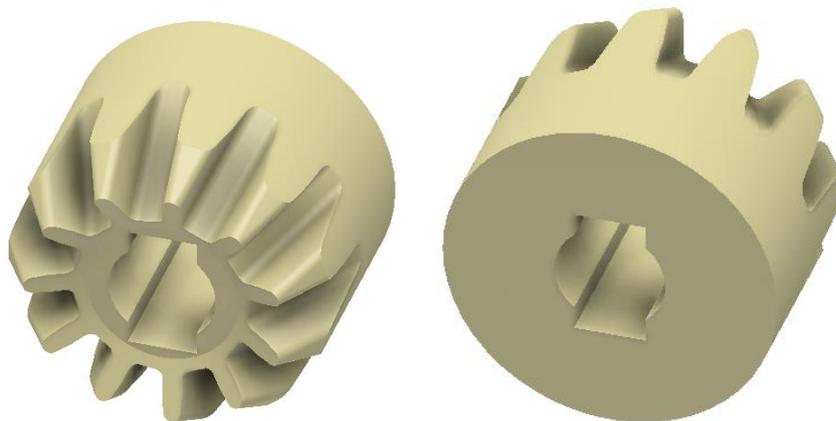


Ilustración 45: Piñón cónico-recto

El piñón, como ya se ha comentado, consta de 11 dientes, un paso de 5.5mm aproximadamente (o lo que es lo mismo, módulo de 1.75), y un ángulo de conicidad de 27.65°.

Presenta un diámetro exterior de 21mm y una longitud de cubo de 15mm, donde se inserta el eje estándar de este prototipo, sujetado por el cierre dispuesto en el conjunto de la rueda libre.

La principal peculiaridad que presenta es que se ha diseñado a partir de una corona de dientes cónicos rectos, que, en lugar de preservar el paralelismo entre la cara superior e inferior del dentado, rasgo muy característico de este tipo de engranajes, se ha prolongado por su parte trasera, adquiriendo forma de cilindro, dentro de los márgenes preestablecidos de espacio disponible, consiguiendo esta forma final idónea para albergar al eje proveniente del conjunto de la rueda libre.

Se emplea una única unidad.

El material propuesto en el diseño del prototipo es el plástico PLA.

Para conocer con mayor detalle todas las características dimensionales de este componente, ver en el apartado de planimetría: Plano 1.1.2.1.

ENGRANAJE CÓNICO-RECTO: CORONA

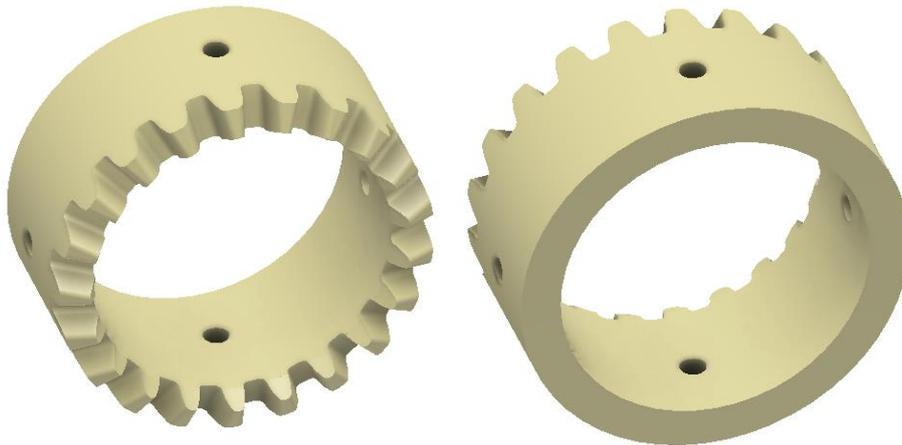


Ilustración 46: Corona cónico-recto

La corona, como ya se ha comentado también, consta de 21 dientes, un paso de 5.5mm aproximadamente (o lo que es lo mismo, módulo de 1.75), y un ángulo de conicidad de 62.35°.

Presenta un diámetro exterior de 37.6mm, un ancho desde la base interior del dentado a la cara inferior plana de 16mm, y un espesor de 3.8mm, lo que le confiere un diámetro interior de 30mm, el solicitado por el eje del pedalier para conseguir un perfecto ajuste y evitar así deslizamientos indeseados que reduzcan el par transmitido.

La principal peculiaridad que presenta es la misma que la descrita para el piñón, el acabado del componente en forma cilíndrica, lejos de la geometría tradicional, con el fin de obtener una mayor superficie de contacto. Además, para garantizar una correcta transmisión de par, se han dispuesto en esta misma superficie cuatro agujeros pasantes de 2.6mm de diámetro, distanciados 90°, donde se insertarán cuatro tornillos roscados al eje del pedalier, única alteración a realizar en el sistema de transmisión mecánica en un componente original de la bicicleta.

Se emplea una única unidad.

El material propuesto en el diseño del prototipo es el plástico PLA.

Para conocer con mayor detalle todas las características dimensionales de este componente, ver en el apartado de planimetría: Plano 1.1.2.2.

- **PAR DE ENGRANAJE: COMPONENTES DE TORNILLERÍA**

En cuanto a la tornillería propuesta en el diseño, cumple la función de transmisión de movimiento por contacto y de sujeción del elemento en el que se inserta.

A continuación se detalla brevemente el conjunto de tornillería utilizada para cumplir las funciones descritas:

TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO POR CONTACTO Y SUJECIÓN

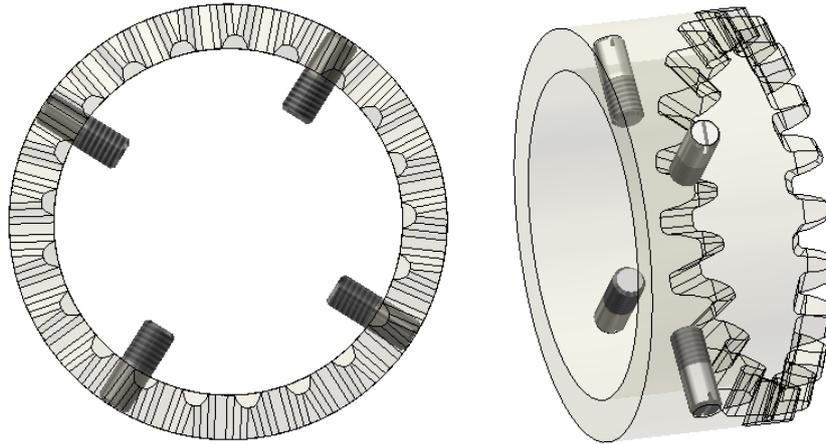


Ilustración 47: Tornillería par engranaje

Los elementos de tornillería empleados para realizar ambas funciones son cuatro tornillos de cabeza perdida DIN 427 de M3 y una longitud de 8mm.

De este modo, a la vez que se sujeta la corona en la posición deseada, sin crear interferencias con la caja del pedalier ya que los tornillos están exentos de cabeza, se consigue transmitir el par requerido al eje del pedalier de un modo más preciso que por el sólo apriete conseguido por la corona.

Para conocer el listado de piezas completo ver en el apartado planimetría: Plano 1.1.2 "PAR ENGRANAJE".

5.1.2. DISEÑO ELÉCTRICO DEL PROTOTIPO

El diseño eléctrico se encuentra estrechamente ligado con el diseño mecánico, pues a partir de la unión de ambos se realiza el correcto dimensionado del motor.

Dicho motor necesita de una batería, de un variador, además del diseño de la soportería del cableado a utilizar, y su distribución.

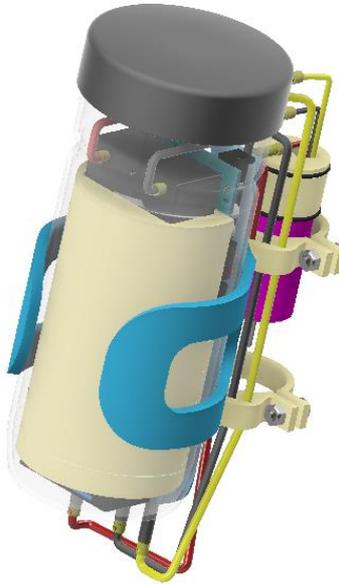


Ilustración 48: Conjunto soportería

Así pues, a continuación, se describirán detalladamente el motor, la batería y el variador empleados, así como el enrutado y la soportería del cableado utilizado.

5.1.2.1. MOTOR

El motor eléctrico es el eje central del prototipo. A partir de él se diseña toda la parte mecánica, se determina el sistema de alimentación y el sistema de control a utilizar.

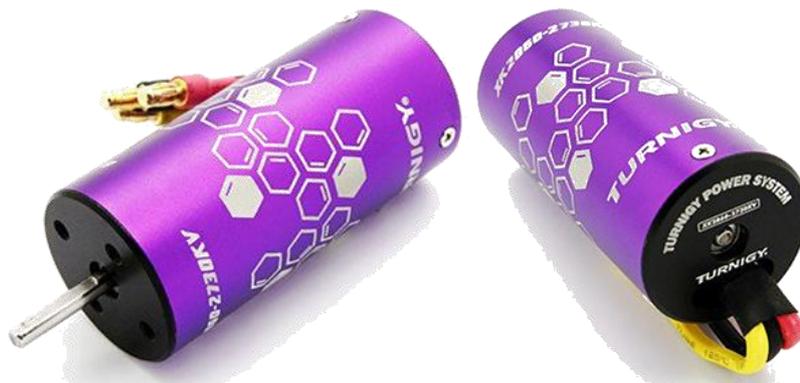


Ilustración 49: Motor brushless TURNIGY

Para el prototipo de este proyecto se ha elegido un motor eléctrico brushless inrunner, Turnigy XK2860-2730KV, de 945W de potencia máxima, cuatro polos, alimentado por corriente alterna,

a una corriente máxima de 45A, 21V de tensión, y como su nombre comercial indica con una constante de velocidad, kV, de 2730 rpm/V, que quiere decir que, por cada voltio de tensión de alimentación, la velocidad se incrementa en 2730 rpm, lo cual le otorga una velocidad máxima de 57330 rpm (21V).

Se trata de un motor característico de los coches a radiocontrol o RC, como demuestra su característica de motor “inrunner”, tipología surgida en esta modalidad, que hace referencia a la ubicación interna del núcleo de rotación, es decir, del rotor, con respecto del estator, que se encuentra en la parte externa.

En cuanto a dimensiones generales, el motor está constituido por una carcasa de 28mm de diámetro, una longitud de 60mm, y un eje de 3.175mm, que le otorgan una longitud total de 76.2mm. El peso según el fabricante ronda los 165g.

5.1.2.2. BATERÍA

La batería, es muy determinante, ya que limitará la potencia a entregar por el motor, en beneficio de la duración en funcionamiento del mismo, o viceversa.

Su dimensionado debe ser correcto, y siempre por encima de lo requerido, para satisfacer las necesidades mínimas de abastecimiento de energía del sistema.



Ilustración 50: Batería LI-PO ZIPPY

Para el prototipo de este proyecto se ha elegido una batería Zippy® de polímero de litio con una capacidad de 5900mAh, 7.4V de tensión, es decir dos celdas en serie y en paralelo con otras dos (2S2P), con una tasa de descarga constante de 60C (puntual de 70C) y una tasa de carga máxima de 1C. Esto significa que la batería puede descargar, en teoría, una corriente de 354 A de forma continua y segura, con picos de 413A, hasta vaciarse.

Añadir que la carga de la batería se realiza mediante un cargador especial para este tipo de baterías, del mismo fabricante que el motor, Turnigy®, modelo Accucell S60 AC Charger. Dada la nula aportación del mismo al proyecto se obvia su descripción.

En cuanto a datos dimensionales, la batería presenta una longitud de 138mm, un ancho de 46mm y una altura de 25mm, con un peso total, incluyendo cableado y según el fabricante, de 320g.

5.1.2.3. VARIADOR

El variador es el centro, por decirlo de algún modo, de la parte electrónica. Es el encargado, por una parte, de alimentar el motor a partir de la corriente continua proveniente de la batería, que posteriormente transforma en corriente alterna trifásica, y de controlar su velocidad de rotación mediante la señal PWM, además de ejecutar las órdenes enviadas desde otros microcontroladores.

Otro rasgo característico de este tipo de variadores es que presentan una salida especial de alimentación capaz de abastecer de energía a servos o microprocesadores adyacentes, como en el caso de este prototipo, al Arduino y a su módulo Bluetooth.



Ilustración 51: ESC HOBBYWING PLATINUM

Para este prototipo el modelo de variador elegido ha sido el Hobbywing® Platinum 50A V3 Brushless ESC w/7A BEC, alimentado por baterías de polímero de litio desde las dos celdas, como la aquí contemplada (2S 7.4V), hasta las seis celdas (6S 22.2V), apto para motores de dos a doce polos, con múltiples mapas de configuración del motor, entre otras muchas cosas. Además, dispone de la ya mencionada salida de tensión estabilizada variable (según selección) de 5.2V, 6V o 7.4V y 7A de corriente continua de salida, llamada BEC (Battery Elimination Circuit). Para el microcontrolador Arduino y su módulo Bluetooth será más que suficiente con la tensión por defecto de 5.2V.

Por otro lado, este variador soporta descargas de corriente según fabricante, de forma continua, de 50A y picos de 70A.

En cuanto a valores dimensionales, el variador es compacto, cuenta con una longitud de 48mm, un ancho de 30mm y una altura de 15.5mm, con un peso total aproximado de 49g.

5.1.2.4. SOPORTERÍA Y ENRUTADO DEL CABLEADO ELÉCTRICO



Ilustración 52: Soportería y enrutado

La soportería diseñada para los distintos elementos eléctricos presentes en el prototipo cumple el objetivo de asegurar dichos elementos de las inclemencias del tiempo (recordar que una bicicleta está constantemente expuesta pues se utiliza al aire libre), evitando golpes por exceso de vibraciones o caídas, y de asegurar la correcta disposición de dichos elementos sobre la bicicleta durante el desarrollo de su función normal.

Por otra parte, el diseño del enrutado del cableado permite ver con certeza la ruta a seguir, minimizando longitud de cables y manteniendo la premisa de "invisibilidad" perseguida durante todo el diseño.

A continuación, se mostrarán cada uno de los componentes empleados que cumplen los requisitos aquí mencionados, comerciales y de fabricación propia.

- **SOPORTERÍA Y ENRUTADO: COMPONENTES COMERCIALES**

Los componentes comerciales empleados, que no necesariamente debe disponer cualquier bicicleta, son el botellín, el soporte del botellín y el soporte del Smartphone.

BOTELLÍN PORTAHERRAMIENTAS



Ilustración 53: Botellín BTWIN

Se trata de un bidón portaherramientas de 750ml del fabricante B'TWIN®.

Este tipo de bidones contienen una boca ancha de 65mm de diámetro perfecta para introducir los elementos eléctricos/electrónicos, una longitud de aproximadamente 187mm y un diámetro exterior de 74mm que lo hacen perfecto para encajar en cualquier portabidones clásico.

Su función es la de proteger y transportar la batería, el variador, la placa Arduino y el módulo Bluetooth de las inclemencias del tiempo. La correcta disposición de dichos elementos en su interior se realiza mediante unos separadores especialmente diseñados, a detallar en el apartado siguiente.

SOPORTE BOTELLÍN



Ilustración 54: Soporte botellín BTWIN

Consiste en un soporte universal para botellines de 74mm de diámetro exterior, modelo 500 del fabricante B'TWIN®.

Su función es la de sujetar el botellín que contiene el control del sistema, y mediante unas abrazaderas especiales diseñadas, sujetarse al tubo del sillín de la bicicleta.

SOPORTE SMARTPHONE



Ilustración 55: Soporte Smartphone HAPO G

Se trata de un soporte y funda para Smartphone universal, ya que admite los tamaños de pantalla más comunes en el mercado, modelo estanco, del fabricante HAPO G.

En las pruebas será el encargado de proteger un Smartphone MOTOROLA®, modelo MOTO G de primera generación.

- **SOPORTERÍA Y ENRUTADO: COMPONENTES DE DISEÑO PROPIO**

Como ya se ha explicado, los elementos eléctricos deben ser correctamente transportados y protegidos, para lo cual cada componente diseñado o adquirido comercialmente debe cumplir perfectamente su misión.

A continuación, se detallarán cada uno de ellos, haciendo referencia a si se encargan de sujetar el motor y asegurar el resto del conjunto motriz, de si se encargan de sujetar el sistema de control y alimentación a la bicicleta o de si aseguran la disposición de los elementos eléctricos a transportar en el interior del botellín. Además, se realizará una pequeña descripción del enrutado seleccionado.

CONJUNTO SOPORTE MOTOR

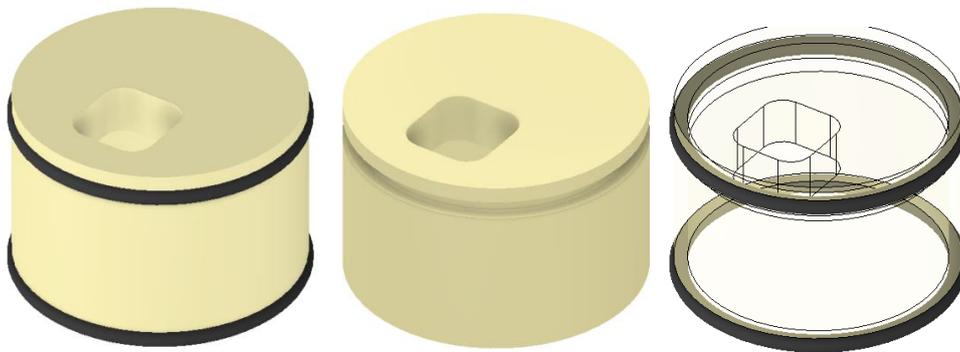


Ilustración 56: Tapa sujeción motor

El conjunto soporte del motor está formado por un tapón y dos juntas tóricas, cuya función es garantizar el máximo apriete posible entre el motor y el tubo del sillín, asegurando la posición de todo el conjunto de transmisión mecánica de potencia, evitando deslizamientos ya sean axiales o de rotación dentro del tubo mencionado.

El tapón está diseñado a partir de un cilindro de 31mm de diámetro y 20mm de longitud, el cual presenta un vaciado interior de 28mm de diámetro y 14.5mm de profundidad, donde se insertará el motor, y un agujero rectangular para el paso de los cables de alimentación del mismo. Además, cuenta con un ranurado en la superficie exterior de 1.5mm de profundidad y 2mm de altura, donde se colocará la primera de las juntas tóricas. La segunda se insertará directamente en la carcasa del motor justo debajo del tapón.

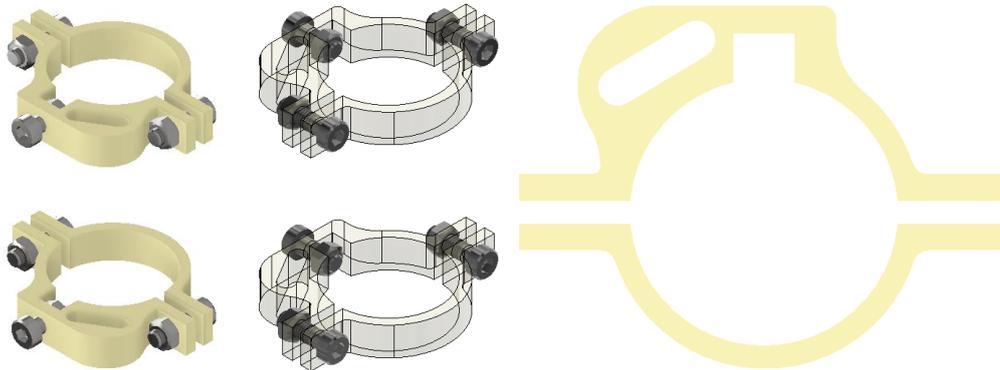
Dichas juntas tóricas han sido diseñadas de acuerdo a parámetros comerciales, por lo que sus medidas son de 28mm de diámetro interior y 2mm de espesor.

Se emplea una única unidad de tapón.

El material propuesto para el tapón en el diseño del prototipo es el plástico PLA.

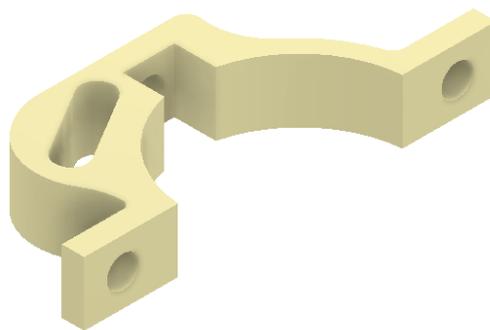
Para conocer con mayor detalle todas las características dimensionales de este componente, ver en el apartado de planimetría: Plano 1.2.3.1.

Para conocer el listado de piezas completo ver en el apartado planimetría: Plano 1.2.3 "SUJECIÓN MOTOR".

CONJUNTO ABRAZADERAS*Ilustración 57: Conjunto abrazaderas*

El conjunto de las abrazaderas se encarga de sujetar el sistema de control y alimentación, a partir de la sujeción que realiza del soporte del botellín y éste a su vez el botellín.

Consta de dos elementos, por una parte, de la abrazadera anterior, la cual sujeta al portabidones y guía el cableado de alimentación del motor, y por otra parte de la abrazadera posterior, la cual hace la función de apriete del conjunto.

*Ilustración 58: Abrazadera anterior*

La abrazadera anterior está diseñada para sujetarse a un perfil circular de diámetro exterior de 32mm y consta de tres sujeciones, dos para garantizar mediante la abrazadera posterior, como ya se ha dicho, el apriete del conjunto gracias a dos agujeros pasantes de 5mm de diámetro donde se insertarán dos tornillos de cabeza de boquilla rebajada, estándar alemán DIN 6912 de M5 y 16mm de longitud, respaldados por dos tuercas DIN 934 para la misma métrica, y una sujeción más a partir de la misma unión roscada, para sujetar el portabidones, pero con la peculiaridad de que el cajeadado realizado tiene una anchura igual a la distancia entre caras de la tuerca para maximizar el ajuste. Además, presenta un coliso para pasar los cables de alimentación del motor.

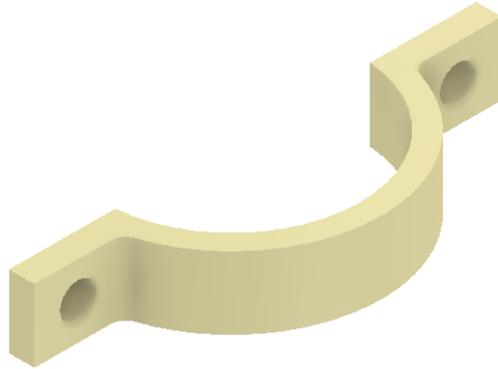


Ilustración 59: Abrazadera posterior

La abrazadera posterior contempla un diseño idéntico a la abrazadera anterior, pero obviando la sujeción central.

Se emplean dos unidades de cada abrazadera.

El material propuesto para ambas en el diseño del prototipo es el plástico PLA.

Para conocer con mayor detalle todas las características dimensionales de estos componentes, ver en el apartado de planimetría: Plano 1.2.2.1 y 1.2.2.2.

Para conocer el listado de piezas completo ver en el apartado planimetría: Plano 1.2.2 "ABRAZADERAS TUBO SILLÍN".

CONJUNTO SOPORTES BATERÍA Y VARIADOR

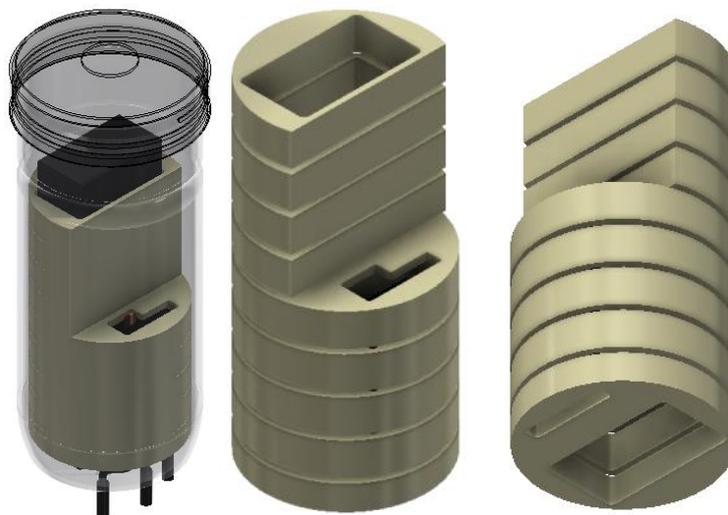


Ilustración 60: Conjunto soporte batería y variador

El conjunto de soportes de la batería y el variador, así como, indirectamente, la parte electrónica (ya que se sujetan en el espacio libre interior dejado entre estos soportes y el botellín) está formado por cuatro tipos diferentes que garantizan un correcto transporte de sus elementos.

Todos los soportes diseñados parten de un disco de 64mm de diámetro y 13mm de espesor (excepto el último soporte, situado en el fondo del botellín, cuyo espesor es de 10mm) y tienen un vaciado interior rectangular, a través del cual se insertará la batería, de 47.5mm de longitud y 26.5mm de anchura.

El material propuesto en el diseño del prototipo para todos los separadores es el plástico PLA.

A continuación, se detallarán las características diferenciales, siguiendo el orden de montaje, de los distintos tipos de separadores empleados.

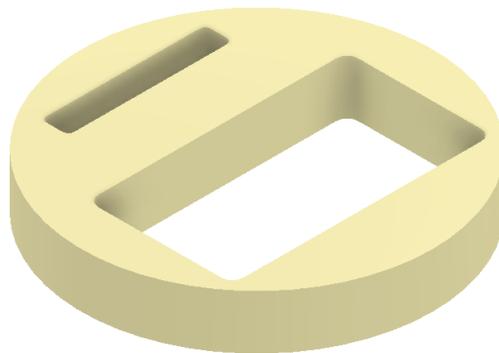


Ilustración 61: Soporte batería inicial

El primero es el soporte de batería inicial, el cual cuenta, además de las características comunes, de un vaciado interior de 30mm de longitud y 5mm de ancho por donde únicamente se introducirán los cables de alimentación del motor, y servirá de apoyo al variador.

Se emplea una unidad de este soporte.

Para conocer con mayor detalle todas las características dimensionales de este componente, ver en el apartado de planimetría: Plano 1.2.2.1.

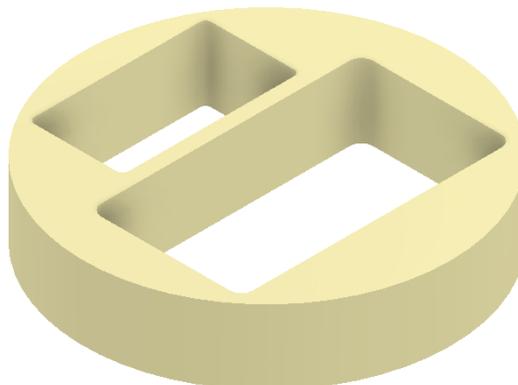


Ilustración 62: Soporte batería medio inferior

El segundo es el soporte de batería medio inferior, el cual cuenta, además de las características comunes, de un vaciado interior de 31mm de longitud y 16.5mm de ancho por donde se introducirá el variador.

Se emplean tres unidades de este soporte.

Para conocer con mayor detalle todas las características dimensionales de este componente, ver en el apartado de planimetría: Plano 1.2.2.2.

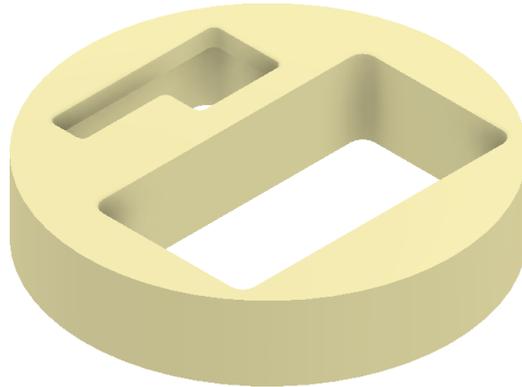


Ilustración 63: Soporte batería medio superior

El tercero es el soporte de batería medio superior, el cual cuenta, además de las características comunes, de un vaciado interior de 31mm de longitud y 16.5mm y 10mm de profundidad, dato que difiere del soporte anterior, con el fin de realizar un vaciado final adaptado únicamente para pasar el cableado de alimentación del variador y el control, sirviendo a la vez de tapa para impedir el movimiento vertical de éste.

Se emplea una unidad de este soporte.

Para conocer con mayor detalle todas las características dimensionales de este componente, ver en el apartado de planimetría: Plano 1.2.2.3.

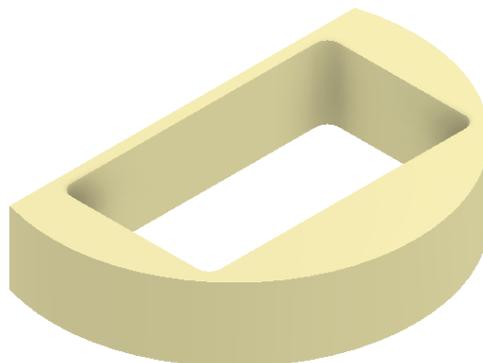


Ilustración 64: Soporte batería final

El cuarto y último es el soporte de batería final, el cual ha sido recortado para albergar únicamente a la batería y de este modo dejar un espacio libre en el interior del botellín para colocar los componentes electrónicos.

Se emplean cuatro unidades de este soporte.

Para conocer con mayor detalle todas las características dimensionales de este componente, ver en el apartado de planimetría: Plano 1.2.2.4.

Para conocer el listado de piezas completo ver en el apartado planimetría: Plano 1.2.1 "SOPORTE COMPONENTES ELÉCTRICOS".

ENRUTADO DEL CABLEADO

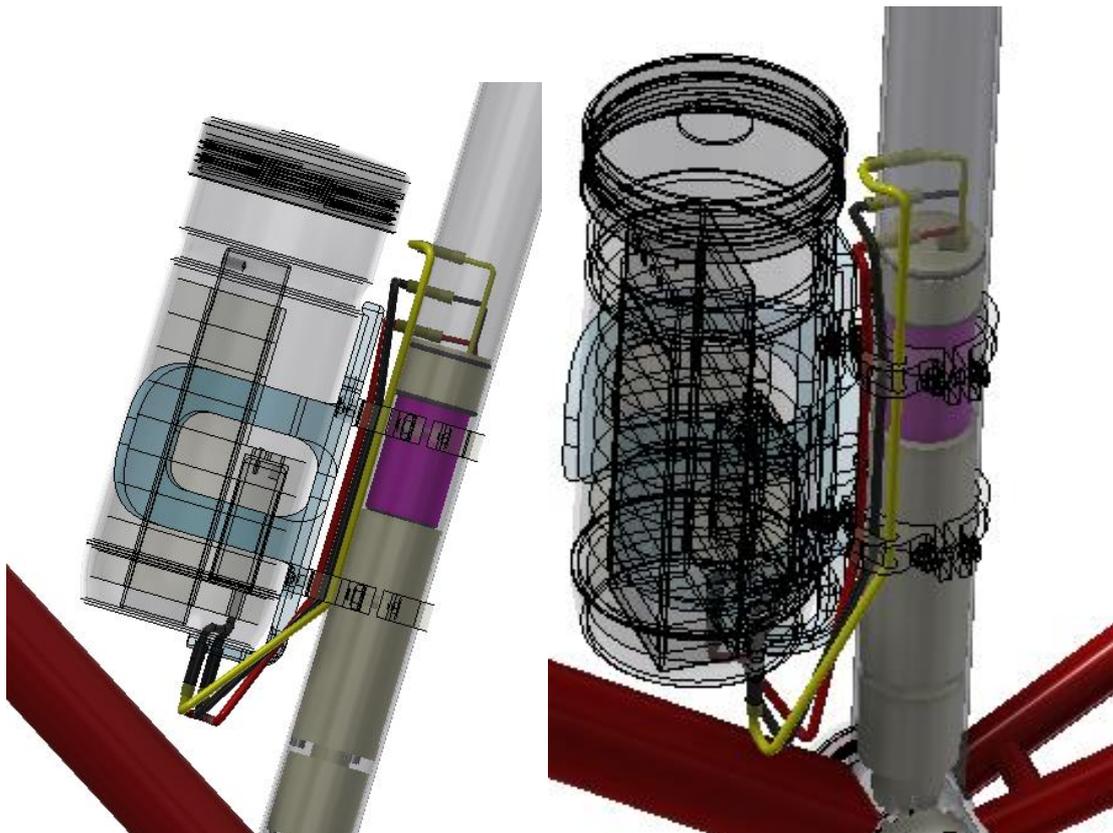


Ilustración 65: Enrutado cableado

El enrutado del cableado que se ha diseñado hace referencia únicamente a aquel cableado que por necesidades constructivas no puede alojarse en el interior de ningún componente, siendo éste el cableado de alimentación del motor, desde su salida del variador a su conexión con las tres tomas de corriente de que dispone.

Para su simplificación durante el montaje, y no tener que alterar las conexiones internas del variador, se ha optado por añadir tres cables adicionales, macho-hembra, para conectar las partes anteriormente descritas.

Por ello estos tres nuevos cables se conectarán a los de salida del variador, que saldrán por la parte inferior del botellín, se insertarán en los colisos especialmente diseñados de las abrazaderas y se conectarán a los cables de alimentación del motor, los cuales saldrán del

interior del tubo del sillín empleando los orificios estándar que se colocan para transportar un botellín adicional. Pero cabe realizar un inciso en esta acción, y es que estos agujeros son únicamente dos, por lo que será necesario crear uno más, y si es conveniente, abocardar los ya existentes para facilitar la salida del cableado. El diámetro idóneo que deben tener dichos agujeros es de 6.5mm.

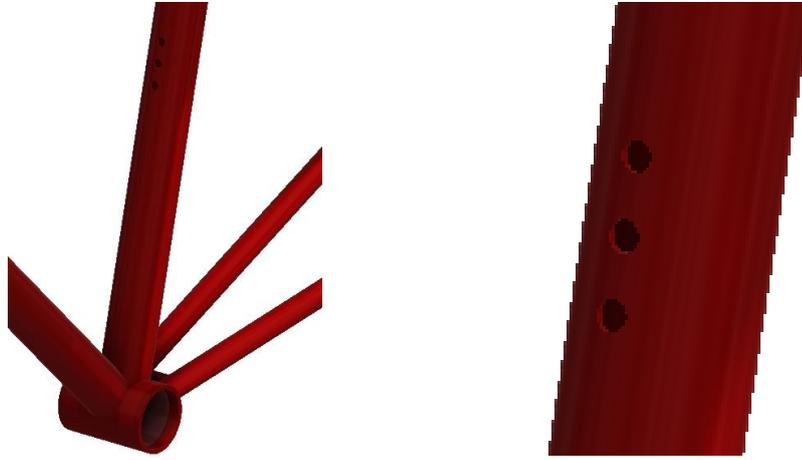


Ilustración 66: Agujeros salida cableado

Esta modificación, junto con la ya prevista en la parte mecánica para el eje del pedalier, serán las únicas a realizar en la bicicleta original para instalar el sistema de asistencia al pedaleo.

NOTA: El cableado previsto en el diseño es especial para soportar la elevada temperatura que pueda adquirir el motor dentro del cuadro. Para este prototipo se ha previsto el Turnigy® heat shrink tube 5mm, como refuerzo aislante de los cables Turnigy® high quality 12awg silicone wire.

5.1.3. DISEÑO ELECTRÓNICO/PROGRAMACIÓN DEL PROTOTIPO

El diseño electrónico y programación del prototipo componen la fase final del diseño del mismo, otorgándole al centro del sistema, el variador, la información resultante de la interacción con el exterior, gracias al trabajo colectivo de los elementos que la integran.

Es en esta fase donde se establecen las habilidades potenciales del sistema, diseñando y programando la aplicación para Android de control del mismo, estableciendo las conexiones que permiten su correcta ejecución mediante el módulo Bluetooth e implementando el código necesario para que sean interpretadas por el microcontrolador Arduino y enviadas al variador.

De este modo, a continuación, se va a describir detalladamente el uso y funciones del microcontrolador Arduino, el módulo Bluetooth y la aplicación implementada para el Smartphone con sistema operativo Android.

5.1.3.1. MICROCONTROLADOR ARDUINO

El microcontrolador en este prototipo se puede definir como el nexo de unión entre el elemento de mando que interacciona con el usuario, en este caso el Smartphone, y el elemento de control del eje principal del sistema, el variador, encargándose de traducir las órdenes recibidas en un lenguaje que éste último pueda entender.

Esta tarea de "traducción" la realiza un Arduino Uno en su tercera revisión (R3).

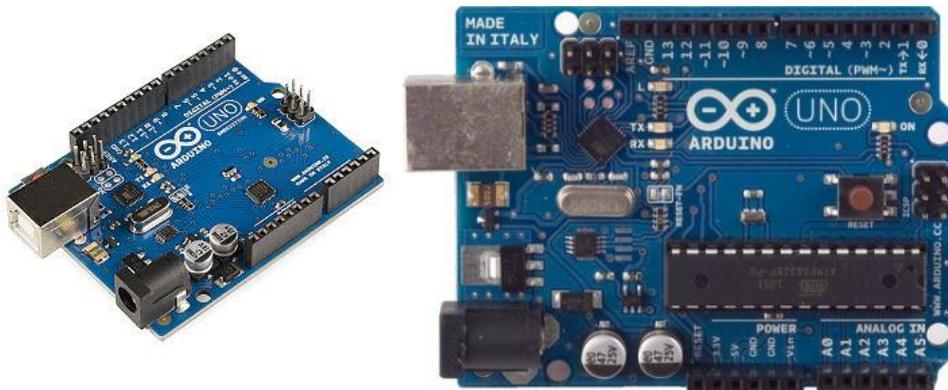


Ilustración 67: Arduino UNO

Se trata de un microcontrolador que tiene un gran número de características, siendo las más interesantes para el prototipo, la disponibilidad de seis salidas PWM de las que se utilizan tres, dos de las cuales se usan como puertos serie para el envío y recepción de datos mediante el módulo Bluetooth y la restante para el envío de pulsos al variador y así controlar la velocidad de rotación del motor. En cuanto a su alimentación, ésta se realiza mediante la salida BEC descrita con anterioridad, en el modo de tensión de 5.2V, conectada a la entrada de 5V de tensión continua de Arduino Uno (las impedancias internas harán inapreciable la diferencia de 0.2V entre la salida del variador y la entrada del microcontrolador, reduciendo los 5.2V a 5.05V).

Las dimensiones generales de la placa son: longitud 75mm y ancho 54mm.

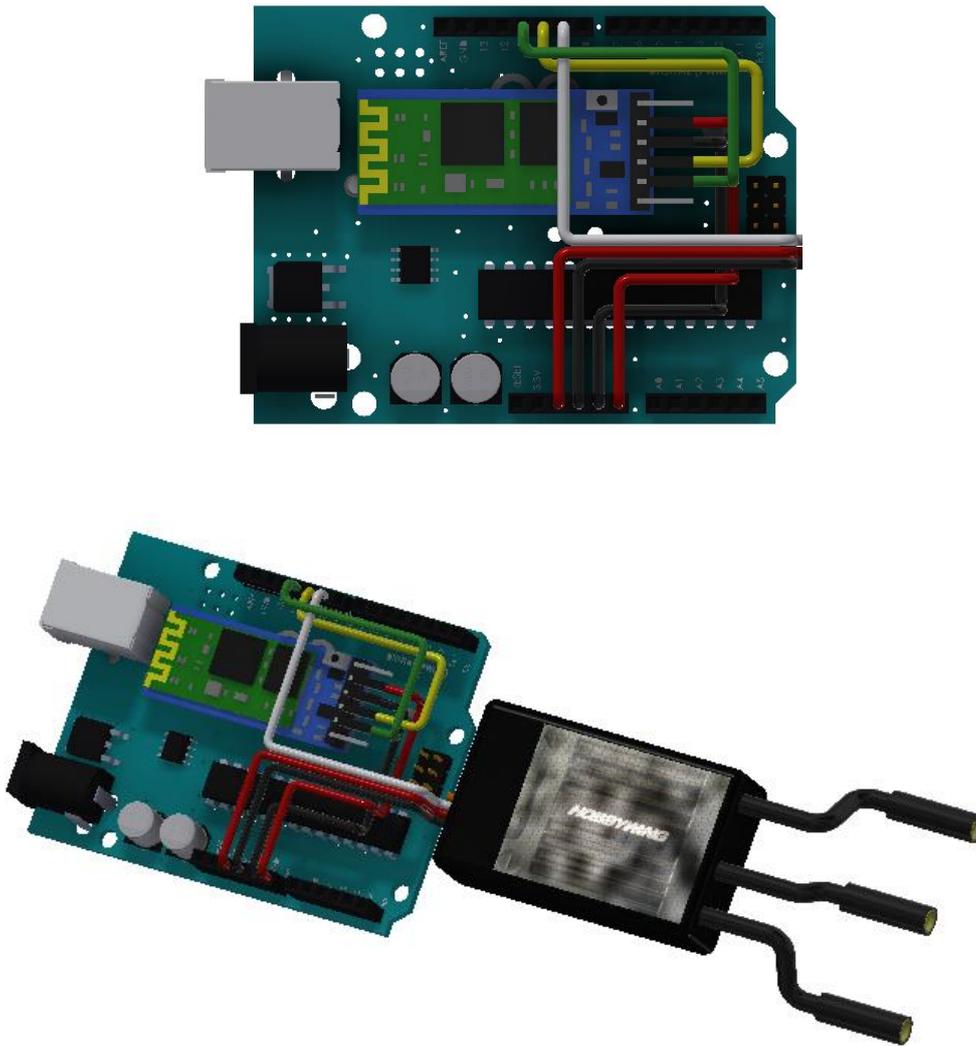


Ilustración 68: Conexión Arduino-ESC

Para conocer con mayor detalle el conexionado del cableado de este componente, ver en el apartado de planimetría: Plano 2 "CONEXIONADO ELÉCTRICO".

En cuanto al código implementado, cabe mencionar que realiza la función de adquisición de datos en forma de órdenes numéricas provenientes de la aplicación instalada en el Smartphone, mediante la conexión Bluetooth correctamente configurada, y posteriormente, tras inicializar el variador bajo un estándar establecido por el motor brushless utilizado (según número de polos principalmente), una simple función switch a través del valor de "caso" recibido, establece el ancho del pulso, y por tanto la velocidad a la que va a funcionar el motor, a través de los pulsos enviados al variador. A mayor ancho de pulso enviado, mayor velocidad adquirida por el motor.

El diagrama de bloques de la programación realizada es el siguiente:

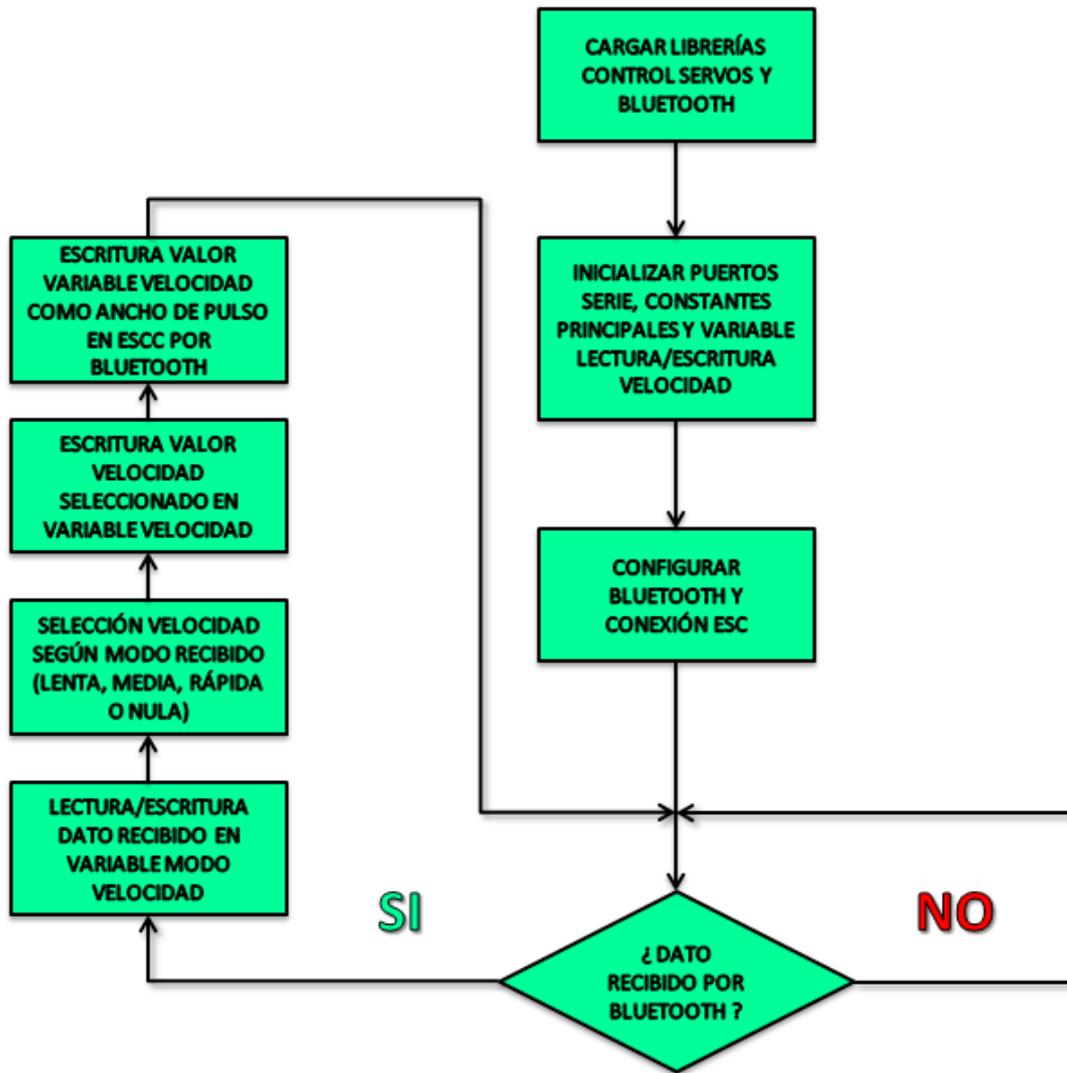


Ilustración 69: Diagrama bloques código Arduino

En el ANEXO IV se encuentran el resto de características técnicas de Arduino Uno y el código íntegro implementado.

5.1.3.2. MÓDULO BLUETOOTH

El módulo de comunicación entre el microcontrolador y el Smartphone elegido se basa en el archiconocido protocolo Bluetooth, característico por ser una especificación industrial para Redes Inalámbricas de Área Personal (WPAN) que posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes dispositivos mediante un enlace por radiofrecuencia en la banda ISM de 2.4 GHz.

Para realizar dicha comunicación mediante Bluetooth, se ha escogido un módulo HC-05 especialmente adaptado a microcontroladores Arduino.

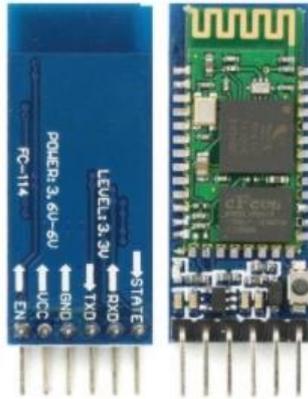


Ilustración 70: Módulo Bluetooth HC-05

Este módulo se caracteriza por disponer de seis pines, cinco de los cuales se utilizan durante su configuración y cuatro durante su funcionamiento normal.

Para su funcionamiento habitual, el módulo se alimentará a partir de la toma de tensión que proviene directa de la fuente de alimentación, también llamada V_{in} , que ofrece una tensión inferior a los 5.2V, 4.43V medido durante los test, proporcionados por la salida BEC (ya que hay que restar la caída de tensión del diodo de protección presente en el microcontrolador, concretamente de 0.6V, resultando una tensión real de alimentación del BEC de $4.43V+0.6V=5.23V$).

En cuanto al envío y recepción de datos, la conexión es muy sencilla, el pin de recepción se conectará al pin de envío de la placa y viceversa.

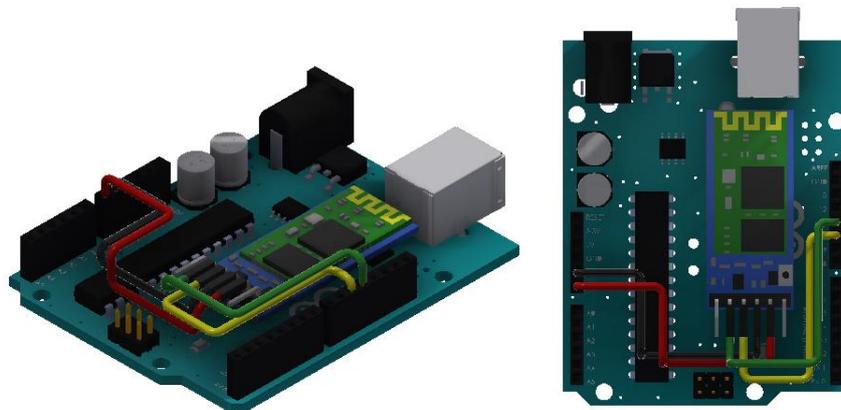


Ilustración 71: Conexionado Arduino-módulo HC-05

Para conocer con mayor detalle el conexionado del cableado de este componente, ver en el apartado de planimetría: Plano 2 "CONEXIONADO ELÉCTRICO".

Para conocer en detalle el método de parametrización/inicialización, en el que se eligen parámetros tan importantes como la velocidad de transmisión de datos, o el modo de funcionamiento maestro/esclavo, se ha dispuesto el ANEXO V, en el que se explica dicho método y el conexionado para ello.

5.1.3.3. APLICACIÓN SMARTPHONE

La aplicación para el Smartphone representa la etapa final del diseño, pero no por ello exenta de importancia, ya que a partir de la misma el usuario podrá interactuar con el sistema de asistencia al pedaleo instalado en su bicicleta.



Ilustración 72: Soporte Smartphone en bicicleta

Dado que, en este proyecto, como se ha repetido más de una vez, sólo se contempla la realización del prototipo inicial, esta aplicación se ha diseñado de forma que cumpla con las necesidades básicas de los test a realizar.

Antes de mostrar la aplicación, cabe destacar el proceso seguido en el diseño.

La aplicación ha sido realizada mediante el software online MIT APP INVENTOR 2, creado por el Instituto Tecnológico de Massachusetts, donde primero se ha diseñado la interfaz gráfica para posteriormente, a través de un intuitivo sistema de programación mediante piezas de puzle, se ha implementado el código de la aplicación. Una vez hecho, se ha probado y depurado, sobre todo la conexión Bluetooth, primero mediante la conexión online del software (que únicamente requiere instalar un archivo de extensión .apk, o aplicación para Android®, para realizar la conexión), y segundo compilando la aplicación en formato .apk para instalarla directamente en el Smartphone, un Motorola® Moto G de primera generación, con una ROM personalizada bajo la base de Android 6.0 Marshmallow.

Una vez definido el proceso de diseño seguido, a continuación, se procede a mostrar la aplicación, a partir de dos etapas: una primera sobre el diseño de la interfaz gráfica y una segunda etapa sobre la programación realizada. Destacar que la aplicación se ha bautizado bajo el nombre de la compañía ficticia que llevaría a cabo el producto final, siendo ésta "HPA, Hypocycloidal Pedal Assistant"

- **DISEÑO INTERFAZ GRÁFICA APLICACIÓN "HPA"**

La aplicación, como se ha explicado al inicio de este apartado, tiene como finalidad facilitar la comunicación Smartphone-motor durante la realización de los test, así que la interfaz gráfica diseñada debe ser lo más intuitiva y fácil de manejar posible, y así ha sido el resultado:

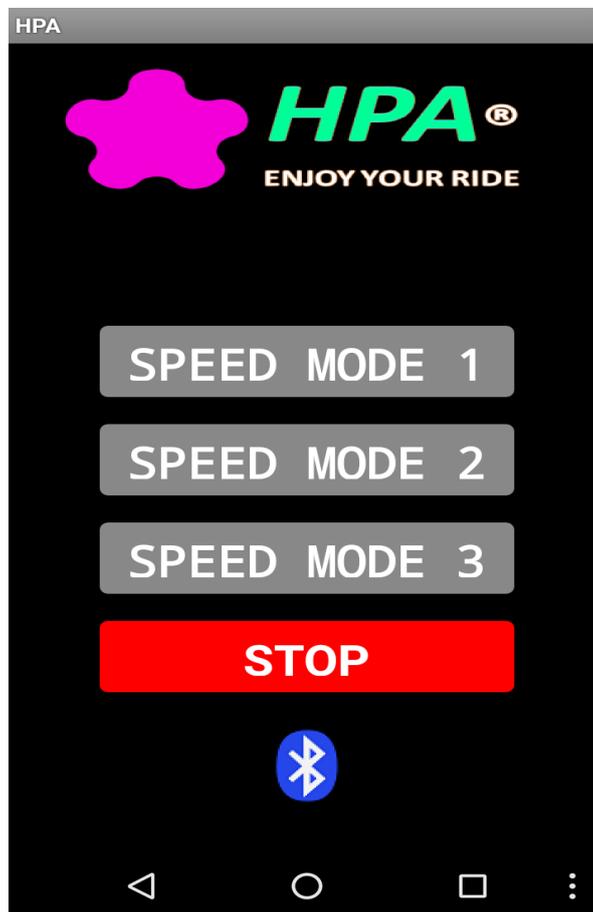


Ilustración 73: Pantalla inicial apk

Como se puede observar en la imagen, la interfaz cuenta con cuatro botoneras de acción directa con el motor y una quinta para la conexión y desconexión del Bluetooth (y en consecuencia del sistema de asistencia al pedaleo). Así pues, con una simple pulsación se puede elegir entre tres velocidades predefinidas (parámetros de las cuales se encuentran en el programa de control del microcontrolador) o, por el contrario, detener el motor.

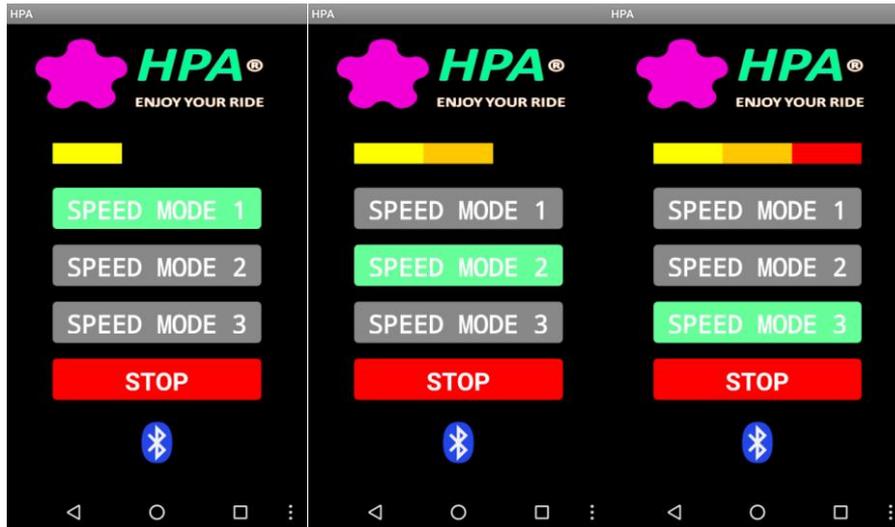


Ilustración 74: Pantallas selección velocidad apk

Para evitar posibles equivocaciones y un mal uso de la aplicación y del sistema, se han dispuesto una serie de notificaciones que limitan el uso de las botoneras, por lo que, por ejemplo, no se puede seleccionar ninguna velocidad sin previa inicialización del variador, gracias a la obligada conexión Bluetooth que hay que realizar en primera instancia, de la que también se indican los tiempos de conexión y desconexión.

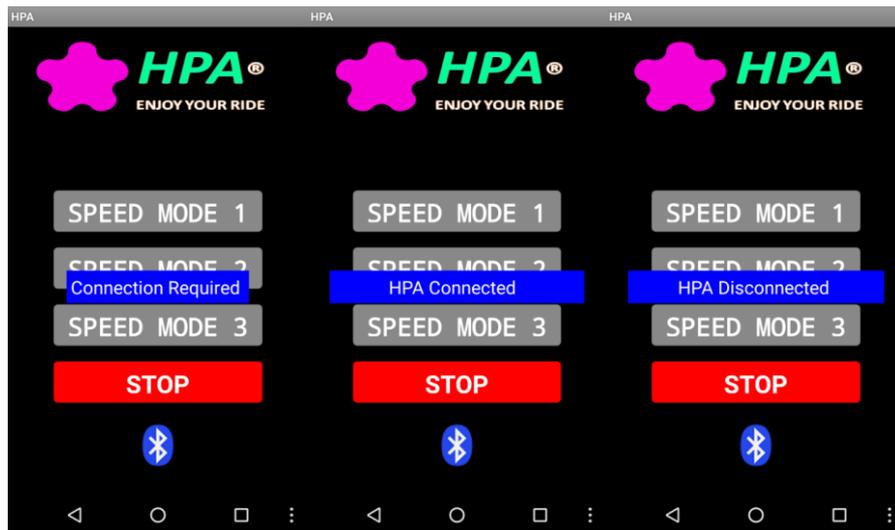


Ilustración 75: Notificaciones apk

Añadir que el idioma inglés ha sido elegido por "internacionalizar" el posible futuro producto, además de que en los años que corren, difícilmente no sea entendible por alguien interesado en el mundo de las bicicletas eléctricas.

- PROGRAMACIÓN CÓDIGO APLICACIÓN "HPA"

La programación llevada a cabo se ha realizado procurando no dificultar el entendimiento del programa, haciéndolo visualmente sencillo de dividir en funciones o bloques que sean identificables para futuras modificaciones, ampliaciones, o mejoras del código, pensando en el posible producto final.

En cuanto a la funcionalidad implementada para la realización de los test, que es en lo que está centrado este proyecto, ha sido más que suficiente.

Así pues, a continuación, se muestra el diagrama de bloques que representa el uso correcto de la aplicación, base para la implementación del código, el cual, como ya se ha explicado al inicio, se ha realizado a partir de un característico método gráfico basado en un puzle.

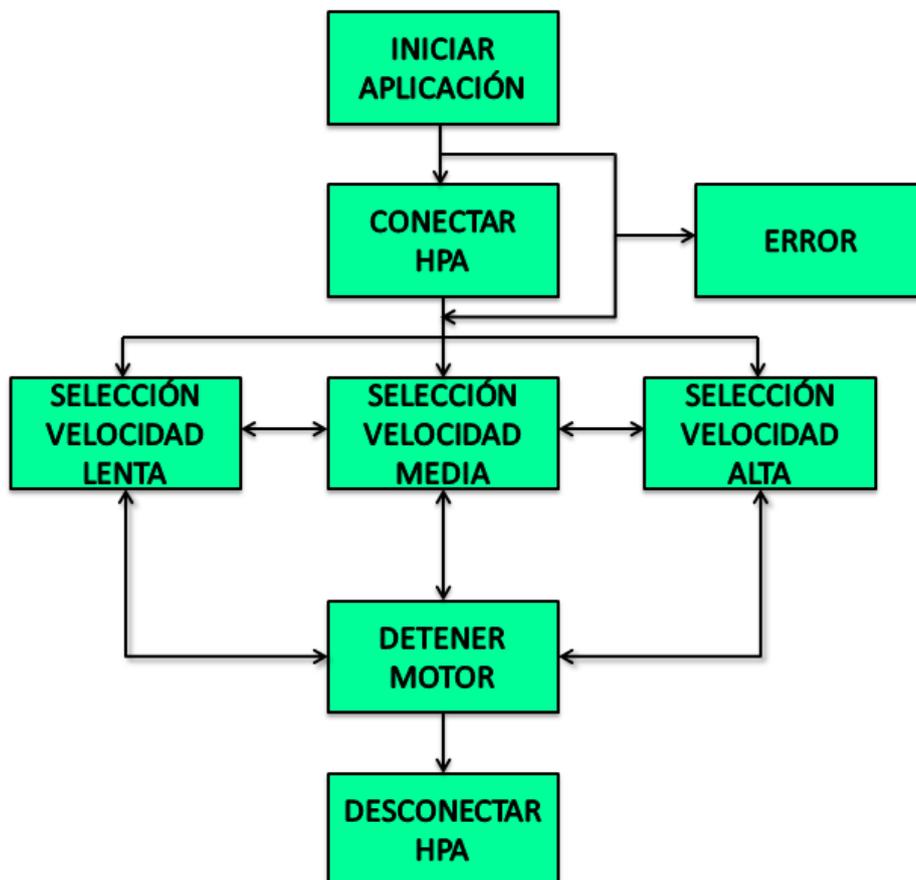


Ilustración 76: Diagrama de bloques app Android

Como se puede observar, y ya ha sido mencionado en la descripción de la interfaz gráfica, la selección de velocidad sin previa conexión del sistema mediante Bluetooth provoca un mensaje de error que obliga a seleccionar únicamente el botón de dicha conexión. Realizado este paso ya se puede poner en funcionamiento el motor, cambiando de velocidad y deteniéndolo cuando se requiera, para terminar con la desconexión del sistema, realizada con el motor parado. Si esto no fuese así y el motor estuviese en movimiento durante la desconexión Bluetooth, éste se detendría igualmente, reiniciando el sistema, pues también se ha incluido esta medida de seguridad en el código implementado.

A continuación, se muestra el característico sistema de programación utilizado, de MIT APP INVENTOR 2:

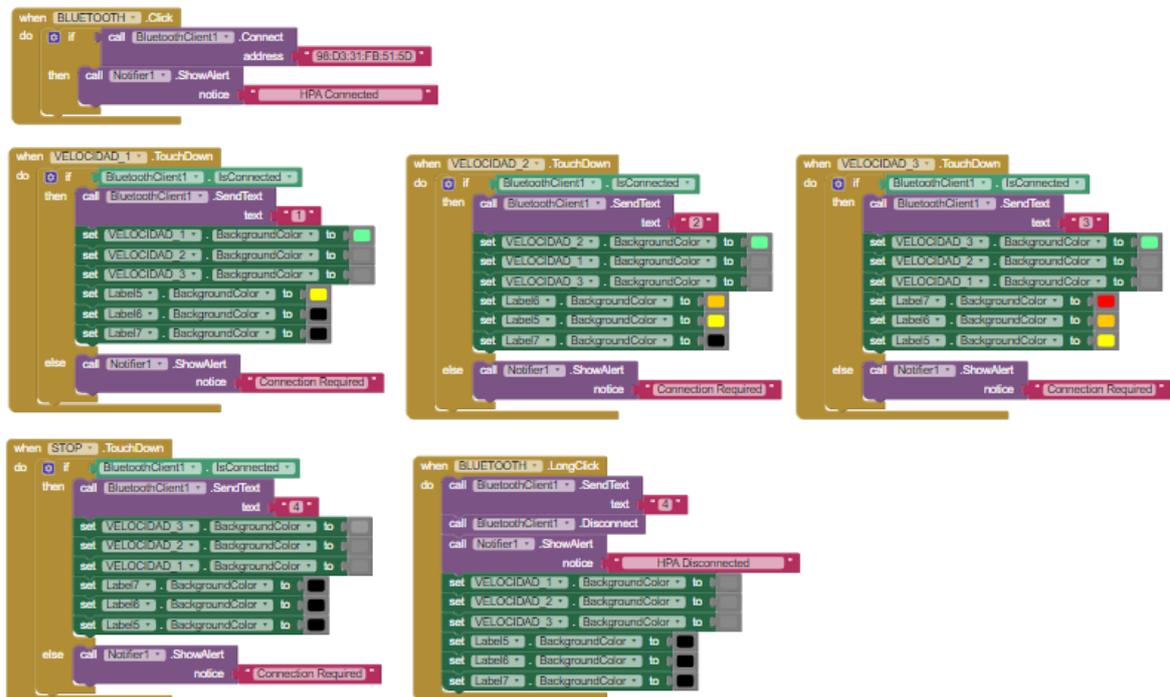


Ilustración 77: Captura programación apk

Cada uno de los bloques de piezas hace referencia a una función, en este caso un botón/pulsador de los mostrados con anterioridad, con la distinción de que las funciones del módulo Bluetooth han sido desarrolladas por separado (conexión por un lado y desconexión por otro). Como se observa, los bloques de los pulsadores de velocidad muestran las mismas instrucciones de variación de color para las botoneras, pero de distinto valor, como es obvio, para así conseguir el efecto gráfico deseado al pulsar cada velocidad.

Por otro lado, se puede ver que la conexión Bluetooth se hace de forma directa a través de la dirección física MAC, previamente establecida, o la función implementada de detención del motor ya sea por paro intencionado o descuido, desconectando el sistema sin haberlo detenido antes.

El resultado final es una aplicación intuitiva, visualmente agradable y fácil de utilizar, idónea para el uso que va a recibir en el prototipo.

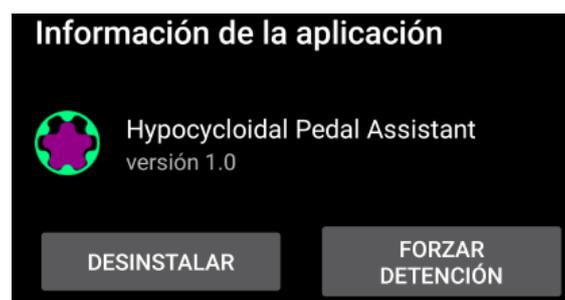


Ilustración 78: Información aplicación apk

5.2. FABRICACIÓN DEL PROTOTIPO

La fase de fabricación es probablemente la fase más crítica del proyecto, pues implica plasmar físicamente aquello que se ha diseñado con tanto esmero en un ordenador. Y es que aun disponiendo del mejor de los diseños, si éste no se fabrica siguiendo unos criterios correctos, su funcionalidad quedará reducida a cero.

El proceso de fabricación del prototipo está dividido en dos etapas diferenciadas, la exportación de los archivos de las piezas a un formato compatible para la posterior parametrización de la impresora y la impresión de las mismas.

A continuación, se detallan ambas etapas.

5.2.1. EXPORTACIÓN ARCHIVOS CAD

Para poder realizar la impresión en 3D se requiere que los formatos tridimensionales de CAD (computer-aided design) propios de INVENTOR, con extensión .ipt para piezas y .iam para ensamblajes, sean convertidos a formatos permitidos, según las características de las piezas a fabricar, como son .stl, para piezas monocromáticas, .wrl(.vrml) para piezas en color o bien en .ply o .3ds, entre otros.

Para la fabricación del prototipo se ha elegido el formato STL, que se encuentra integrado en INVENTOR como uno de los formatos no propios en los que se puede exportar cualquiera de sus piezas o ensamblajes.

El formato STL (originalmente "STereoLithography", y comúnmente "Standard Triangle Language") se caracteriza por ser una tipología de archivos CAD que se encarga de definir la geometría de objetos tridimensionales excluyendo información sobre color, texturas o propiedades físicas.

Fue concebido en sus inicios para realizar tareas de prototipado rápido en entornos industriales, pero el mayor auge de utilización lo ha conseguido mediante la impresión 3D de uso general, siendo el formato más empleado por el software de control de estas máquinas.

Gráficamente es fácil de distinguir por la aproximación triangulada que hace de los objetos con curvas o circunferencias y exige, entre otros requisitos, que los volúmenes a representar estén completamente cerrados y sin solapamiento alguno.

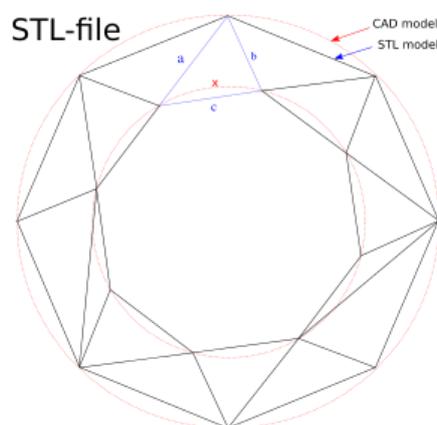


Ilustración 79: Ejemplo triangulación STL

Las características seleccionadas en INVENTOR PROFESSIONAL 2017 en cuanto a formato, unidades de medida o resolución (la cual engloba a un listado de características configurables dentro de un rango numérico o porcentual definido) han sido:

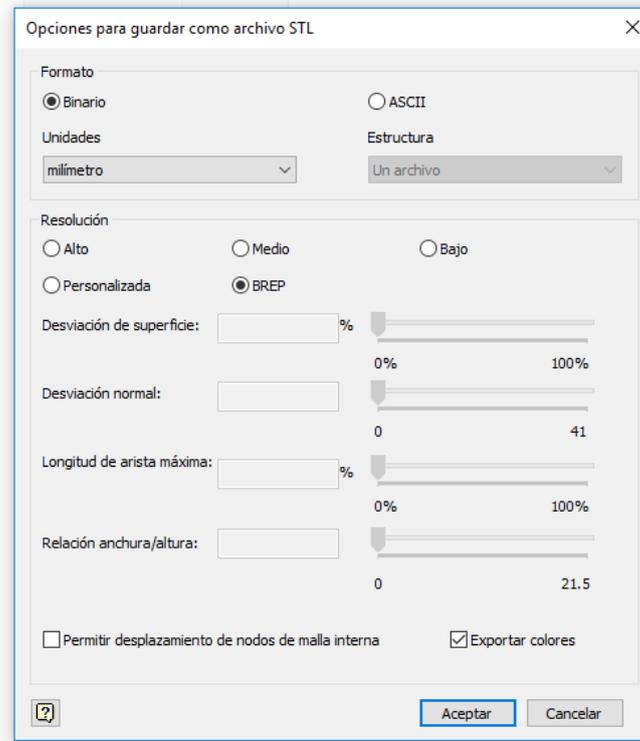


Ilustración 80: Opciones exportar STL

Como se puede apreciar en la captura del cuadro de diálogo presente en INVENTOR, se ha elegido un formato binario, el cual garantiza que los archivos exportados sean de sólo lectura, un escalado en milímetros, como el original y una resolución BREP, es decir, la estándar por defecto, la cual muestra una representación del contorno de la pieza formado por caras, aristas y vértices.

Como característica adicional, también se ha respetado el color de la pieza original, pero esta opción sólo funciona si se abre el archivo en formato STL desde el mismo INVENTOR.

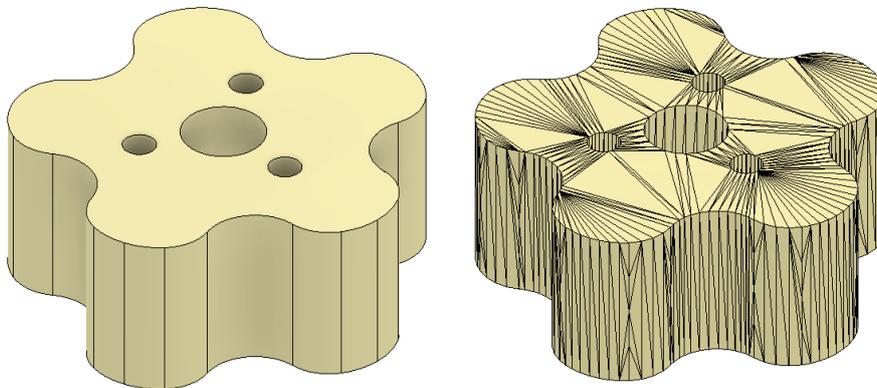


Ilustración 81: Engranaje en STL

En total han sido exportadas 25 piezas, todas y cada una de ellas siguiendo la misma parametrización anteriormente indicada, quedando listas para pasar a la siguiente etapa de su fabricación, la impresión 3D.

5.2.1. IMPRESIÓN 3D

La impresión 3D es la fase constituyente del proceso de fabricación, el nexo entre el diseño y el montaje del prototipo.

Se trata de un método de fabricación por adición donde la pieza diseñada es creada físicamente mediante la superposición de capas sucesivas de material, mediante métodos como la extrusión, el hilado, el laminado o por fotoquímicos.

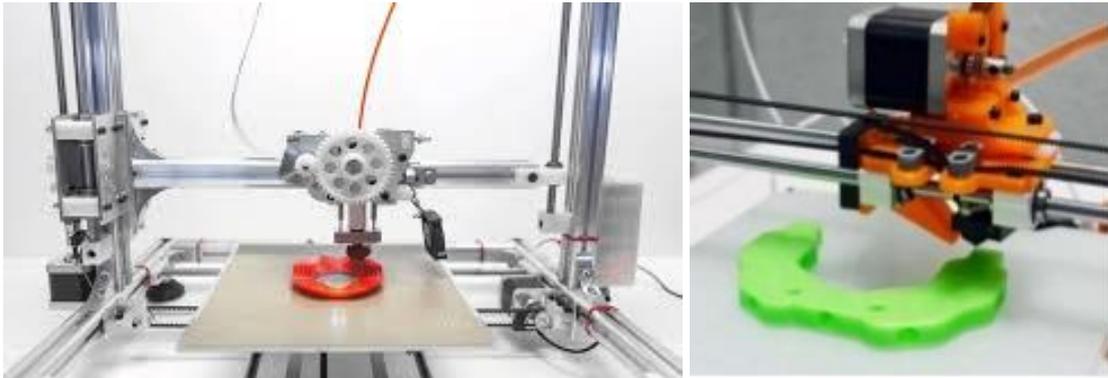


Ilustración 82: Ejemplos impresión 3D. Extrusión vs inyección

En cuanto a los materiales utilizados, éstos son muy diversos, desde los filamentos que simulan los plásticos de ingeniería, como el PLA o el ABS, a aleaciones de titanio, yeso, papel, etc. Actualmente se listan más de 60 opciones a elegir.



Ilustración 83: Filamento PLA

Para la impresión 3D del prototipo se ha utilizado una impresora Sigma, del fabricante BCN3D, que, entre otras características, permite una altura de capa de 0.05mm a 0.5mm (según diámetro de boquilla), una resolución de posicionamiento de 12.5 μ m para los ejes X e Y, y de 1 μ m para el eje Z, y una temperatura máxima de impresión de 280°C.



Ilustración 84: Impresora 3D SIGMA

El material empleado ha sido el filamento plástico PLA o ácido poliláctico, polímero que está constituido por moléculas de ácido láctico, obtenido a partir de almidón de maíz, yuca o caña de azúcar, cuyas propiedades se asemejan a las del PET usado en envases alimenticios, además de ser biodegradable. Concretamente, se ha seleccionado un filamento de 3mm de diámetro y color blanco, del fabricante COLORFILA°. En cuanto a las características mecánicas principales, cabe mencionar que este filamento cuenta con una densidad de 1,24g/cm³, un límite elástico de 63Mpa y una elongación máxima de un 4%.

La impresión se ha realizado bajo el método de la extrusión, siguiendo el proceso del modelado por deposición fundida (FDM), utilizado para la fabricación de prototipos y producción a pequeña escala, en el que el filamento PLA, almacenado en forma de rollo, se introduce por una boquilla, la cual se encuentra a una temperatura superior a la de fusión del PLA (168°C) que deposita el material fundido sobre una plataforma móvil, donde solidifica al poco de salir. Es interesante añadir que aquellas piezas con geometrías más dificultosas, tales como ranurados o agujeros ciegos, se fabrican ayudándose de estructuras de soporte programadas por el propio software de la impresora de forma automática, que posteriormente se retiran para conseguir el contorno deseado.

Para conseguir la correcta fabricación de todas las piezas diseñadas, dada la reducida dimensión de las partes de alguna de ellas, se han introducido dos parametrizaciones particulares, así pues, se ha establecido para las piezas pequeñas un grueso de capa de 0.15mm, de pared de 1mm y de base y parte superior de 0.8mm, utilizando la boquilla de 0.4mm. Y, por otro lado, para las piezas grandes, se ha establecido un grueso de capa de 0.2mm, de pared de 1.2mm y de base y parte superior de 1mm, utilizando la boquilla de 0.6mm.

En cuanto a la parametrización general, que afecta a ambas configuraciones, se ha introducido una temperatura de extrusión de 210°C, una velocidad de impresión de 30mm/s y una densidad interior del 20%.

A continuación, se muestra una tabla resumen del conjunto de parámetros introducidos según tamaño de pieza a fabricar, la misma que se utiliza en los planos de fabricación.

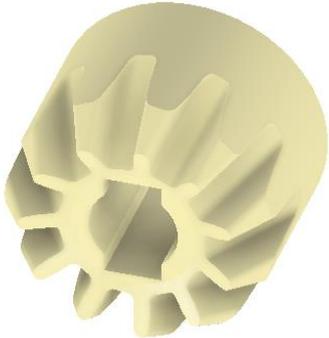
Parámetros impresión 3D	Ø Filamento	Temperatura extrusión	Velocidad impresión	Densidad relleno	Ø Boquilla	Grosor capa	Grosor pared	Grosor base inf/sup
Piezas L<25mm	3,0 mm	210 °C	30 mm/s	20 %	0,4 mm	0,15 mm	1,0 mm	0,8 mm
Piezas L>25mm					0,6 mm	0,20 mm	1,2 mm	1,0 mm

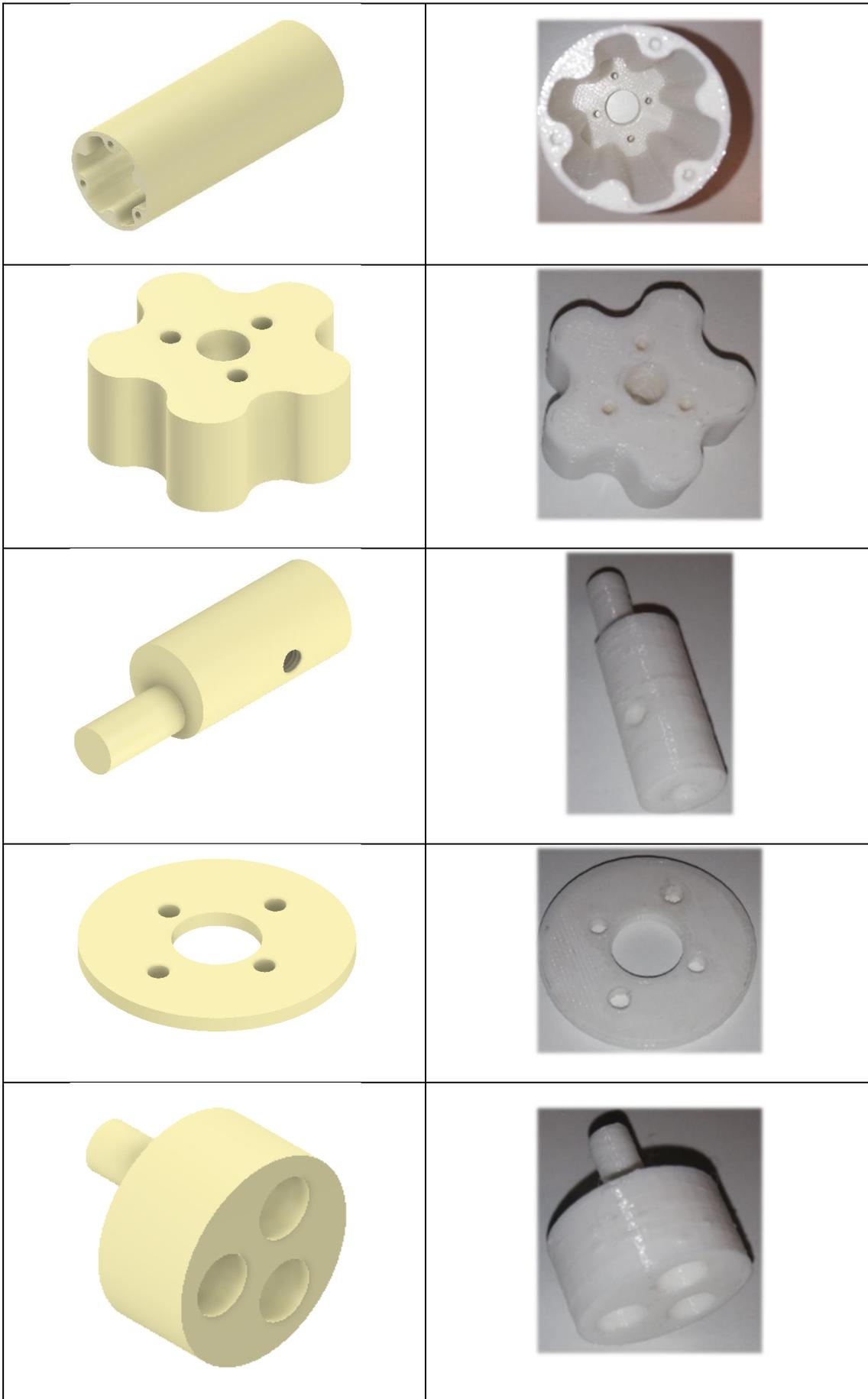
Ilustración 85: Parámetros impresión 3D

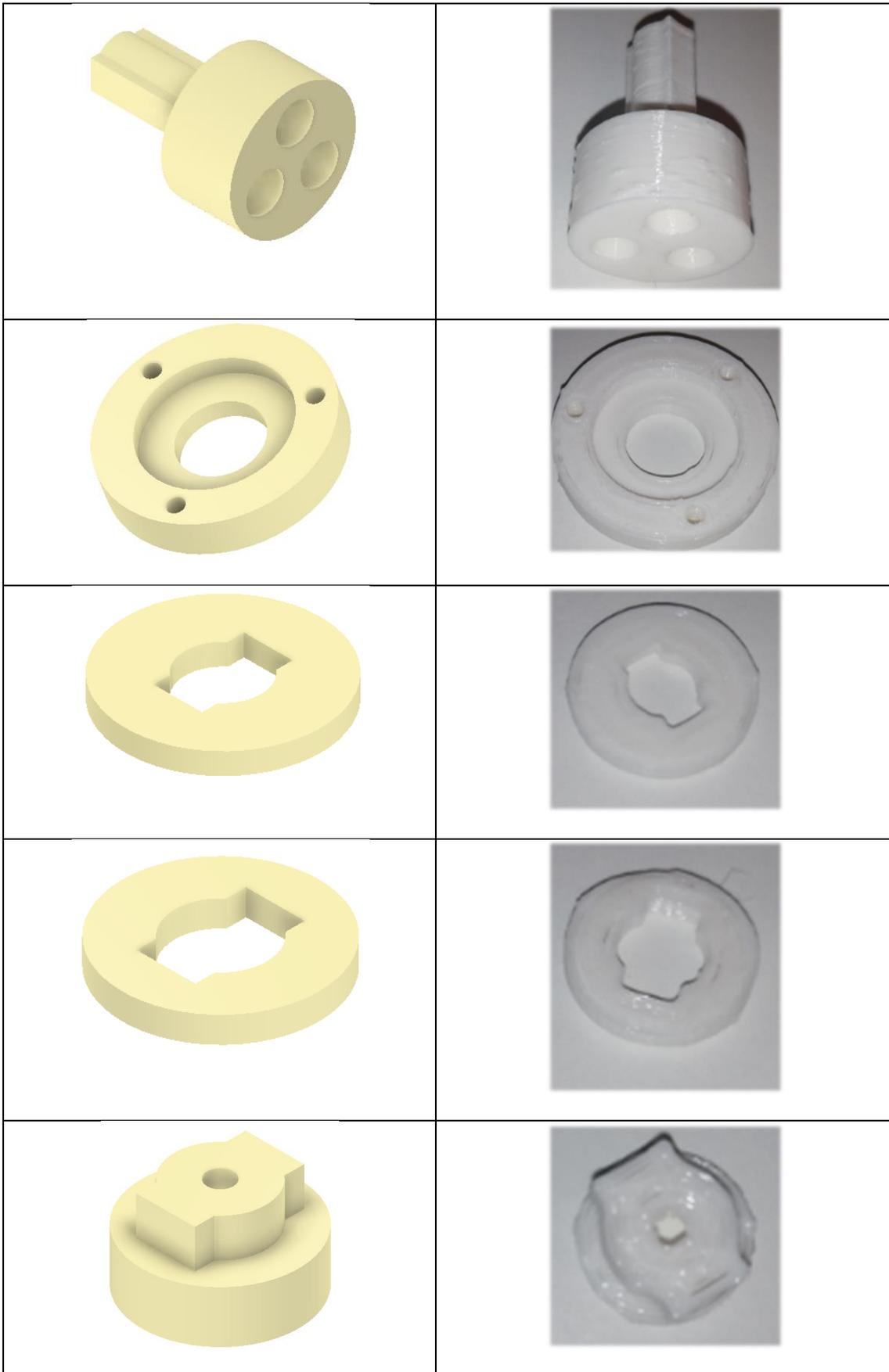
Después de introducir debidamente los parámetros elegidos en el software de control de la impresora, se inicia el proceso, fabricándose un total de alrededor 50 piezas, de las cuales 29 se utilizan para el montaje del prototipo (19 piezas diferentes más las repeticiones), 8 para repuestos de aquellas que sufrirán mayor desgaste en los test, y las restantes 13 han sido desechadas como revisiones o piezas no satisfactorias, realizadas para alcanzar la mejor versión del ensamblaje final.

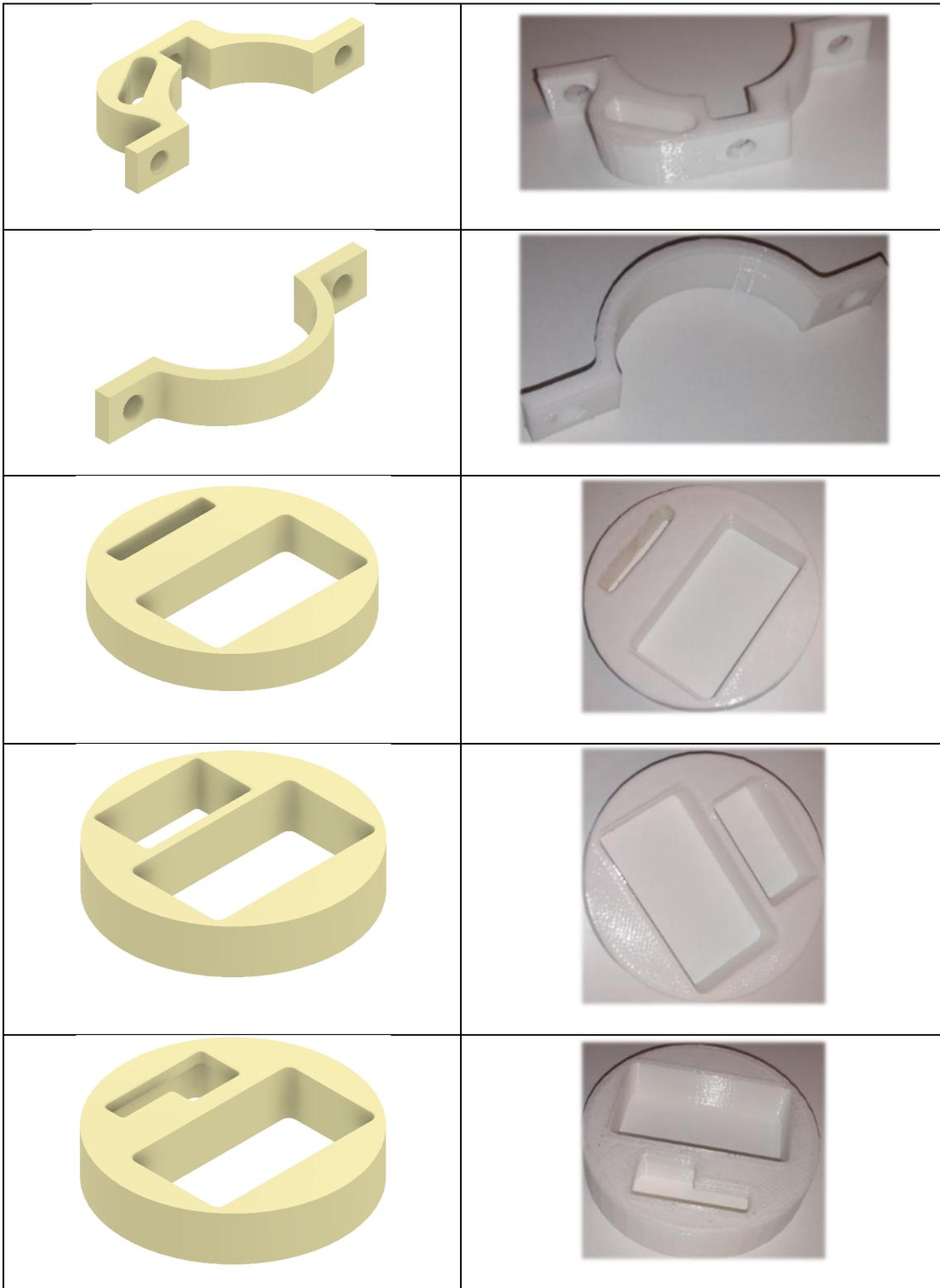
Si se realiza un recuento de las piezas diseñadas, se obtiene un total de 25 piezas diferentes, 42 piezas si se cuentan aquellas que se utilizan en diferentes posiciones. Por tanto, se obtiene una diferencia de 13 piezas, 6 diferentes, con respecto a las fabricadas. Esto se debe a que el mecanismo de rueda libre no ha podido ser fabricado, dada su complejidad y baja aportación en los test a realizar.

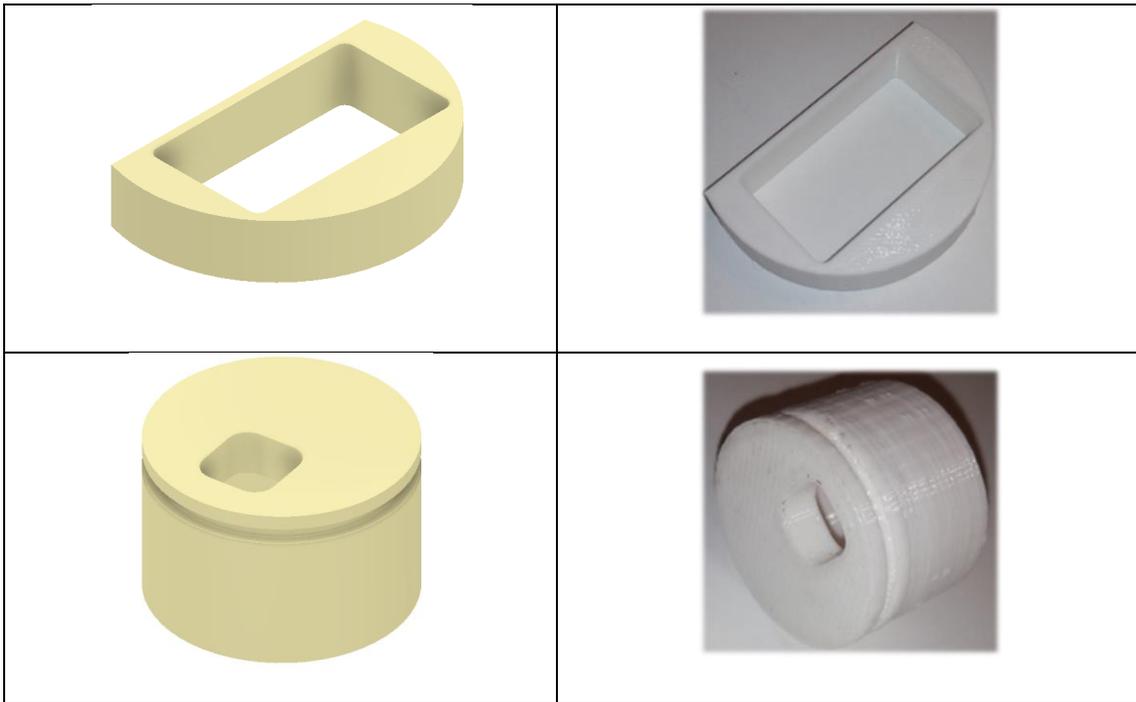
A continuación, se procede a mostrar una tabla comparativa donde se expone una fotografía de cada una de las piezas fabricadas, comparándolas con una captura del archivo 3D del que proceden:

MODELO CAD 3D	PIEZA FABRICADA
	
	









Como se ha podido observar, el resultado final es aceptable, consiguiéndose una correcta aproximación a los modelos diseñados pese a las dificultades que estos presentaban, dada la gran cantidad de superficies curvas que contienen muchas de las piezas de este prototipo, aunque una valoración más correcta será la realizada durante el montaje, dónde se verán realmente las imperfecciones o tolerancias no alcanzadas.

No por ello se pueden obviar las irregularidades vistas en la fabricación de alguna de las piezas revisadas, como, por ejemplo, el rediseño que se ha realizado al disco de salida etapa intermedio, el cual originalmente estaba formado por dos piezas, una con los agujeros y la otra con el eje, siendo la segunda de ellas la que, por disponer de un grosor de capa por diseño inferior al disponible, producía la rotura del material. Otro ejemplo de ello ha sido la eliminación de dos separadores de guiado interno de la reductora, los cuales padecían el mismo problema del grosor de capa, que tras realizar un premontaje inicial de una sola etapa de reducción, se vieron innecesarios, por lo que no se han contemplado en el diseño anteriormente mostrado y no llegaron a la fase final de fabricación.

5.3. MONTAJE DEL PROTOTIPO

El montaje es la fase en la cual se culmina el proceso de diseño y fabricación de forma satisfactoria, o, por el contrario, obliga a realizar un rediseño de ciertos componentes por problemas de interferencias o dificultades en el ensamblaje. Cualquier error derivado en alguna etapa anterior es fácilmente detectable en esta etapa.

Montajes puede haber de distintas formas o maneras, según su finalidad, desde ensamblar, revisar y lubricar un complejo mecanismo para su funcionamiento inmediato, a colocar pieza sobre pieza, sin sujeciones ni unión atornillada alguna, con el fin de verificar posibles interferencias de diseño.

Para este prototipo se ha optado por un nivel intermedio, es decir, ensamblar correctamente y revisar cada una de las piezas de todos los componentes, pero en lugar de hacerlo como lo haría el producto final, en una bicicleta de carretera de las características ya mencionadas con anterioridad, se ha montado en una bancada destinada a la verificación de interferencias y posteriores pruebas, diseñada para la ocasión.

Es por ello que esta fase se ha dividido en dos etapas, el diseño, fabricación y montaje de la bancada, y el montaje del prototipo, que a continuación se detallan.

5.3.1. DISEÑO, FABRICACIÓN Y MONTAJE BANCADA

La bancada es el elemento que permite el montaje del sistema diseñado en un entorno que simula las características dimensionales del entorno real, haciendo más accesible el intercambio o modificación de los componentes del sistema y posibilitando la realización de distintos los test de verificación de su funcionamiento.

Es por ello que se ha diseñado una bancada que simula el espacio disponible en la zona adyacente al eje del pedalier de una bicicleta estándar, de las características requeridas, permitiendo el ensamblaje de todos los elementos del prototipo, ya sean mecánicos, eléctricos o electrónicos, y posibilitando los test a realizar en la puesta en marcha del sistema.



Ilustración 86: Diseño bancada 1

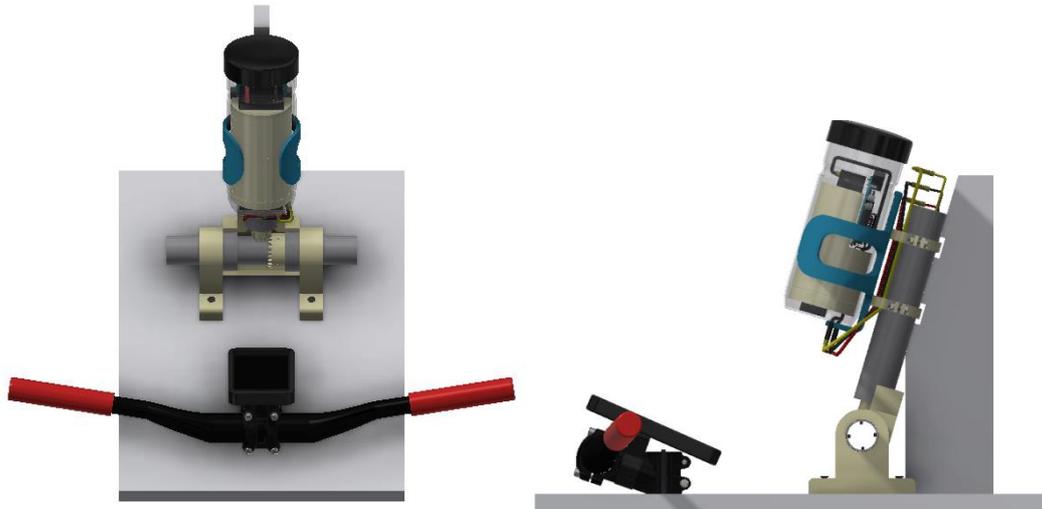


Ilustración 87: Diseño bancada 2

Como se puede observar, la bancada se ha diseñado para contener desde el conjunto de soporte del display, hasta el eje del pedalier y el tubo del sillín, colocado debidamente a la inclinación estimada para una bicicleta estándar de carretera, alrededor de los 74° respecto del suelo.

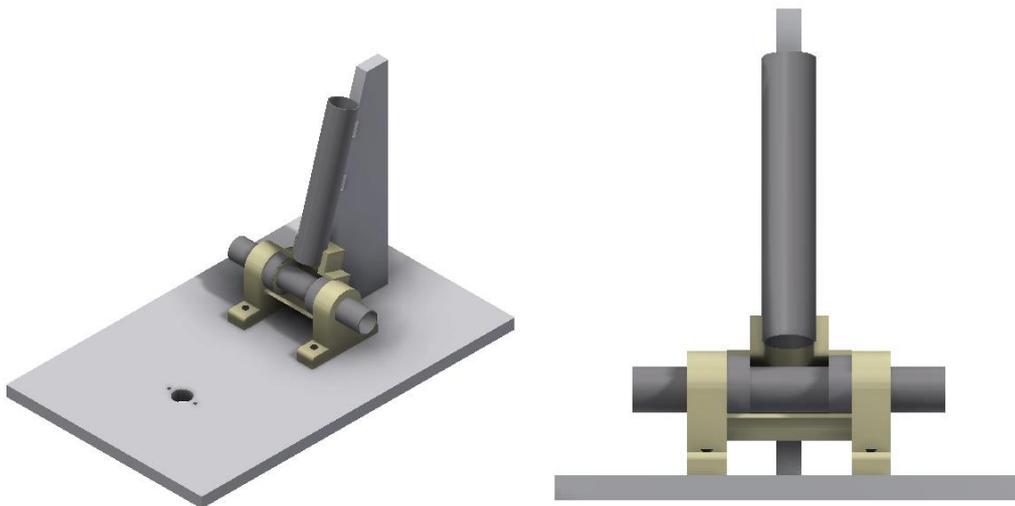


Ilustración 88: Conjunto bancada

Para lograr esta disposición, han sido necesarias un total de nueve piezas, tres diseñadas y posteriormente fabricadas mediante impresión 3D, cuatro perfiles tubulares, y dos piezas extraídas de un tablón de aglomerado.

A continuación, se detallan brevemente las fases de diseño, fabricación y montaje de esta bancada.

5.3.1.1. DISEÑO DE LA BANCADA

El diseño de la bancada puede dividirse en tres grupos de componentes, siendo el primero la base de soporte, seguido por el conjunto de soporte del eje pedalier y por último el conjunto de perfiles tubulares que simulan dicho eje, la caja del pedalier y el tubo del sillín.

Empezando por el primero, la base de soporte, está formada por un tablón de aglomerado prelacado blanco y unas dimensiones de 480mm de longitud, 300mm de ancho y 16mm de espesor, debidamente agujereado para albergar tanto las bridas de sujeción de la potencia, como los agujeros donde se insertarán los tornillos que sujetan el conjunto de soporte del eje del pedalier.

Además, consta de una sección del mismo tablón que sirve de soporte para el perfil que representa el tubo del sillín, que será unida al tablón mediante cola termofusible, con unas hendiduras que marcan la posición de las bridas del botellín. Sus dimensiones generales son de 300mm de longitud y 83mm de ancho.



Ilustración 89: Base soporte bancada

Para conocer con mayor detalle todas las características dimensionales de este componente, ver en el apartado de planimetría: Plano 1.3.1.1.

El segundo conjunto es el de soporte del eje del pedalier y está formado, valga la redundancia, por dos soportes, sujetos al conjunto base mediante tornillos especiales para roscar en madera, y una unión con forma de "T", coaxial a los mismos y donde se insertan en su mismo eje dos casquillos de perfil tubular que simulan la caja del pedalier y en el eje perpendicular el perfil tubular que simula el tubo del sillín.

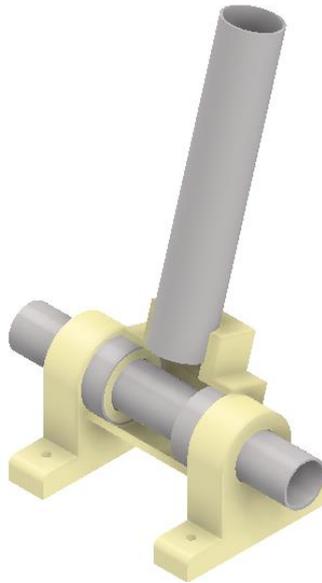


Ilustración 90: Perfiles tubulares y soportes bancada

El soporte del eje del pedalier ha sido diseñado tomando como referencia los soportes de rodamiento estándar actuales, pero sin rodamientos, estableciendo como superficie de rodadura el mismo material de fabricación del soporte. Además, presenta en una de las caras un eje hueco de 15mm de longitud, diámetro exterior de 42mm, el mismo que el diámetro interior de la caja de pedalier y donde se insertan los casquillos que lo simulan, y 31mm como diámetro interior, donde se inserta el eje del pedalier, permitiendo un ajuste con juego para facilitar el giro del mismo.

Las dimensiones generales son de 80mm de alto, 100mm de ancho de base y 25mm de espesor, además de contar con dos agujeros pasantes de 5.5mm de diámetro donde se insertan los tornillos para roscar en madera mencionados con anterioridad.

El material propuesto en el diseño es el mismo que el resto de componentes impresos en 3D, el filamento plástico PLA.

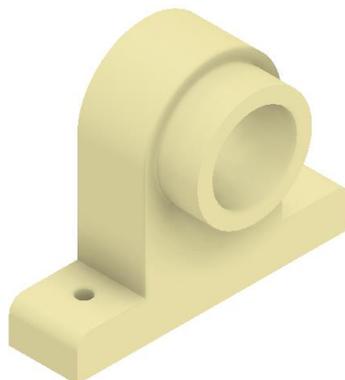


Ilustración 91: Soporte eje pedalier

Para conocer con mayor detalle todas las características dimensionales de este componente, ver en el apartado de planimetría: Plano 1.3.1.6.

La unión en "T", por su parte, ha sido diseñada para unir el tubo del sillín al eje y caja del pedalier, mostrando el interior de dicha unión por el diseño en sección realizado, acoplándose a los casquillos de perfil tubular que simulan la caja de pedalier, a partir del vaciado interior de 22.5mm de radio y del desfase en el corte realizado en la parte inferior, creando una sección circular de 30° adicional, que garantiza el apriete.

En la parte superior de la pieza es donde se sitúa un doble vaciado, el primero de 17.5mm de radio interior y una profundidad de 18mm por el que se inserta el perfil tubular que simula el tubo del sillín, hasta hacer tope, y en esa misma superficie es donde se encuentra el segundo vaciado de 16mm de radio interior, que simula el espacio disponible en el entorno real.

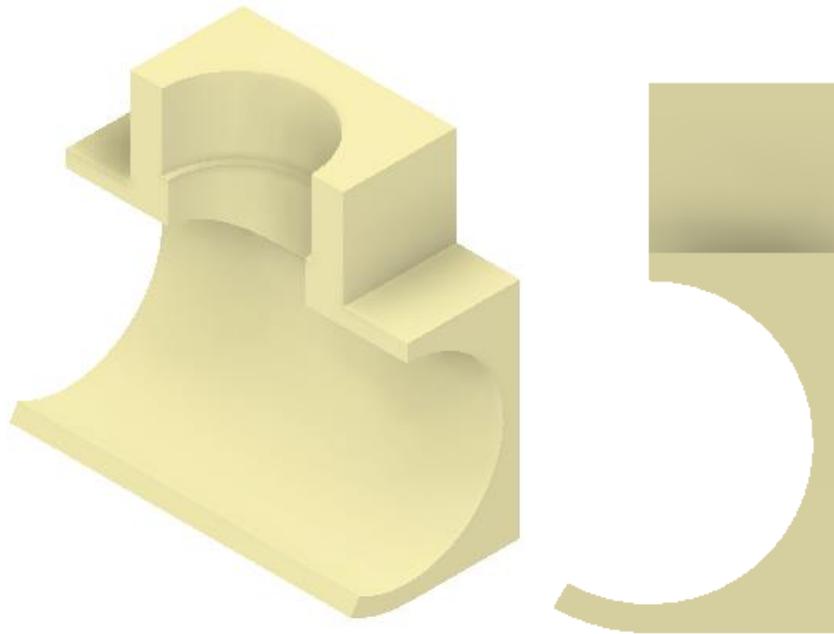


Ilustración 92: Unión T

Las dimensiones generales de la pieza son de 76.5mm de alto y 80mm de ancho, proponiéndose como material en el diseño el filamento plástico PLA, como al resto de piezas.

Para conocer con mayor detalle todas las características dimensionales de este componente, ver en el apartado de planimetría: Plano 1.3.1.5.

El tercer y último conjunto es el formado por los perfiles tubulares que se utilizan para simular a los del eje y caja de pedalier y el tubo del sillín.

Se trata de tres tipos de perfil tubular de acero S235 con soldadura longitudinal, el primero de ellos, que simula a un eje de pedalier existente en un conjunto de plato y bielas, es un perfil de 30mm de diámetro exterior y espesor de 1.5mm, el segundo, que simula al tubo de la caja de pedalier, de diámetro exterior 45mm y el mismo espesor, utilizado para hacer dos casquillos de 15mm de longitud, y el tercero, de 190mm de longitud, 35mm de diámetro exterior y también el mismo espesor, que simula el tubo del sillín.

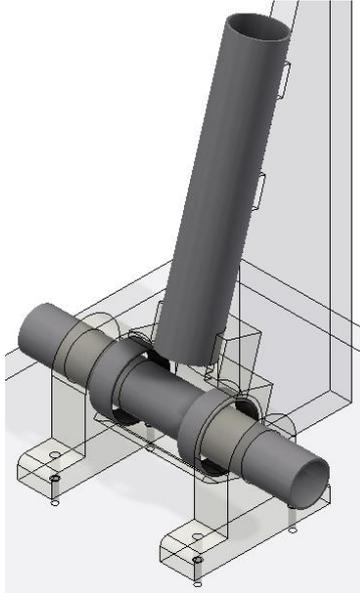


Ilustración 93: Perfiles acero

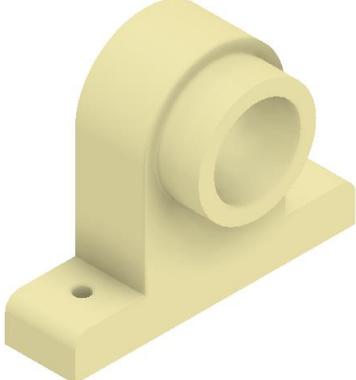
Para ver los planos y ensamblaje de estos componentes ver en el apartado de planimetría: Plano 1.3.1.2, 1.3.1.3, 1.3.1.4 y el plano 1.3.1 "BANCADA PROTOTIPO".

5.3.1.2. FABRICACIÓN DE LA BANCADA

La fabricación ha sido realizada siguiendo el mismo método, máquina, material y parametrización que la realizada anteriormente, para los componentes de la bancada fabricados mediante impresora 3D.

Para el resto de componentes sólo ha sido necesaria la utilización de una sierra de calar como herramienta de corte y un taladro para realizar los agujeros pertinentes.

A continuación, se procede a mostrar una tabla comparativa donde se expone una fotografía de cada una de las piezas fabricadas, comparándolas con una captura del archivo CAD 3D del que proceden:

MODELO CAD 3D	PIEZA FABRICADA
	



5.3.1.3. MONTAJE DE LA BANCADA

El montaje es la última fase en la construcción de la bancada, en la cual se procede al ensamblaje de las piezas previamente definidas y posteriormente fabricadas.

Conociendo ya cada una de ellas y sus funciones, únicamente se van a exponer las fases seguidas para la consecución del montaje y las tareas de acabado o ajuste que se hayan podido realizar durante el ensamblaje de cada pieza (lijado, pintado, abocardado de agujeros, roscados, etc.).

Las fases seguidas han sido las mismas que de conjuntos cuenta este ensamblaje, siendo éstas el montaje del conjunto base, montaje del conjunto soporte del eje y la unión de los tubos y finalmente, montaje de los perfiles tubulares que simulan al eje, caja de pedalier y al tubo del sillín.

A continuación, se exponen gráficamente, mediante fotografías tomadas durante el proceso, cada una de las fases mencionadas, indicando textualmente como incidencias si se han requerido tareas de acabado o ajuste, y en caso afirmativo cuáles han sido.

FASE I: MONTAJE DEL CONJUNTO BASE

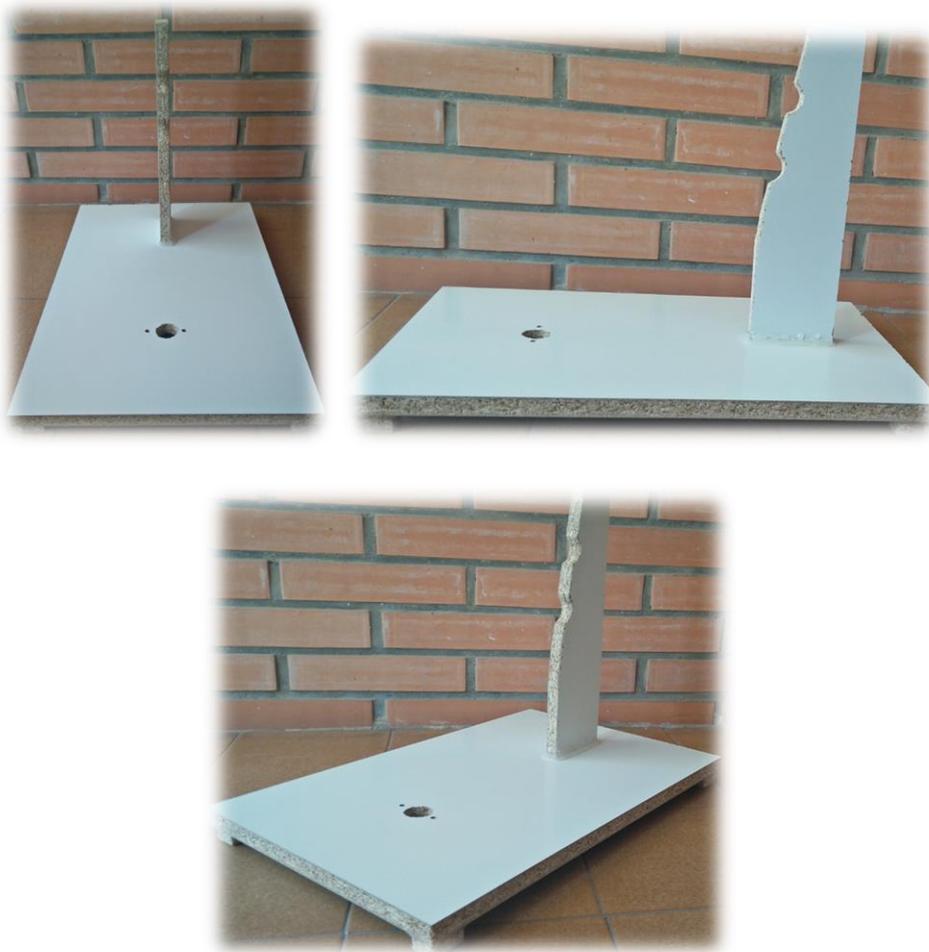


Ilustración 94: Unión soporte bancada con cola termofusible

INCIDENCIAS:

- No se ha realizado en esta fase el taladrado para ubicar los soportes del eje del pedalier debido a que se montarán con tornillos para madera, de roscado propio.
- Los cantos han debido de ser lijados, incluyendo las esquinas interiores de las hendiduras para el soporte del botellín, mejorando así su acabado con respecto al diseño original.
- Añadidas patas inferiores al soporte para mejorar su disposición y aspecto.

FASE II: MONTAJE DEL SOPORTE DE EJE Y UNIÓN "T"



Ilustración 95: Atornillado a la base y verificación ajuste unión T



Ilustración 96: Unión soporte perfiles a bancada

INCIDENCIAS:

-Abocardado y lijado de los agujeros de los soportes del eje para dar mayor regulación en el montaje y asegurar la coaxialidad de ambos soportes. Se cambian los tornillos avellanados previstos por tornillos de cabeza plana para mejorar dicha regulación.

FASE III: MONTAJE PERFILES TUBULARES

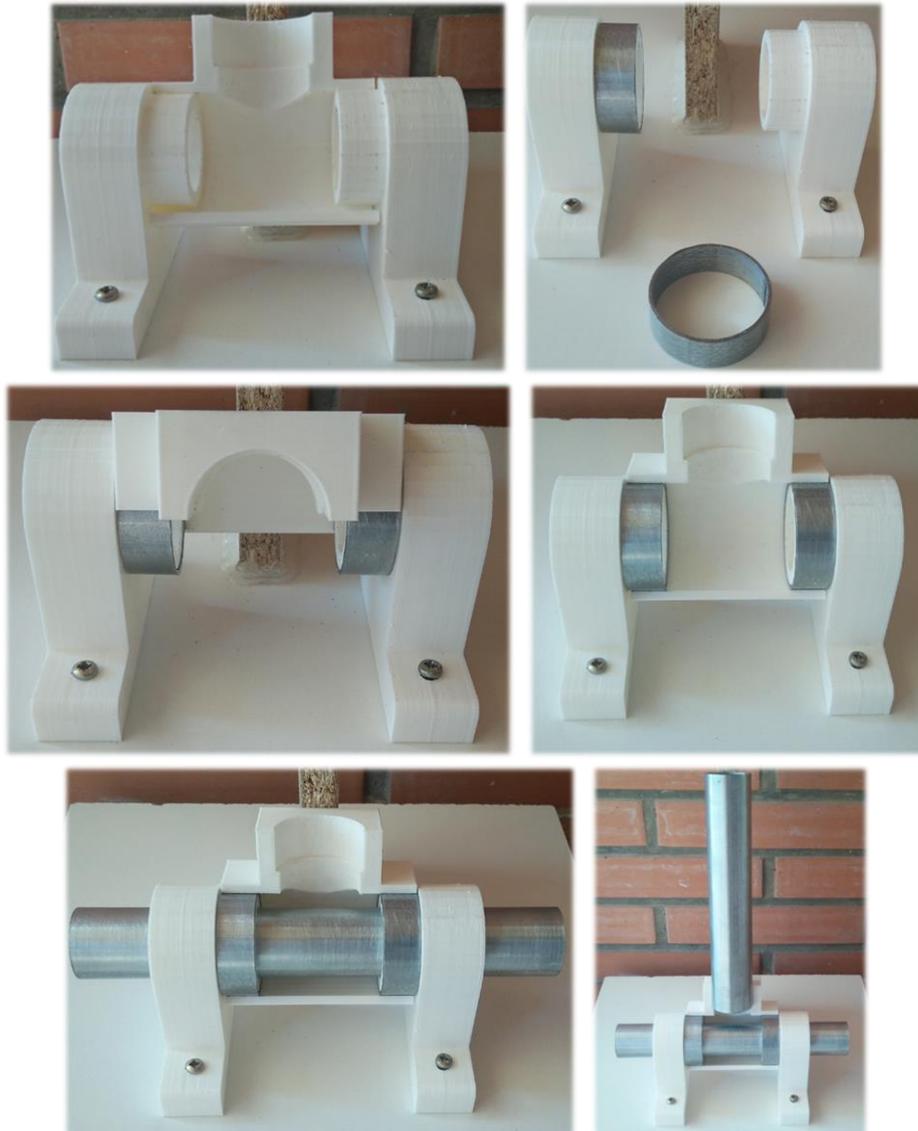


Ilustración 97: Proceso de montaje perfiles tubulares

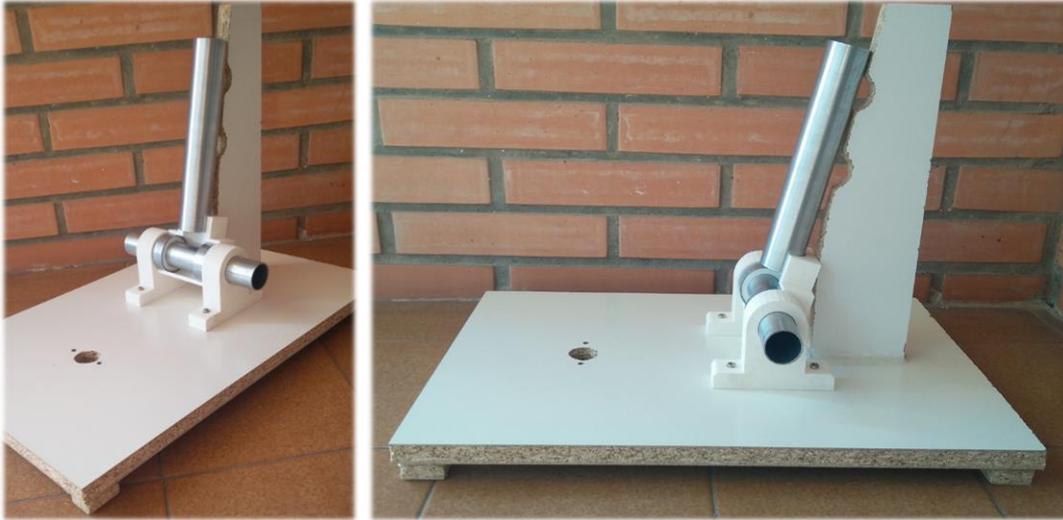


Ilustración 98: Montaje final bancada

INCIDENCIAS:

-Los perfiles tubulares han tenido que lijarse y pulirse dadas las malas condiciones con las que se habían adquirido, prestando especial atención al cordón de soldadura interno (recordar que los tubos son con soldadura longitudinal).

5.3.2. MONTAJE PROTOTIPO

Dado el nivel de conocimiento que se tiene ya de las funciones y características de cada uno de los componentes, y de sus piezas, se va a proceder a exponer únicamente las fases que se han seguido para realizar el montaje final y las tareas de acabado o ajuste que se hayan podido realizar durante el montaje de cada componente (lijado, pintado, abocardado de agujeros, roscados, etc.).

Las fases seguidas han sido el montaje del conjunto motriz, montaje del conjunto de alimentación y control, conexionado eléctrico, montaje del conjunto de mando, y acabado final, donde se realizarán tareas de mejora estética de todo el conjunto.

A continuación, siguiendo el método realizado con la bancada, se exponen gráficamente, mediante fotografías tomadas durante el proceso, cada una de las fases mencionadas, indicando textualmente como incidencias si se han requerido tareas de acabado o ajuste, y en caso afirmativo cuáles han sido.

5.3.2.1. FASE I: MONTAJE CONJUNTO MOTRIZ



Ilustración 99: Despiece reductora hipocicloidal



Ilustración 100: Premontaje reductora hipocicloidal

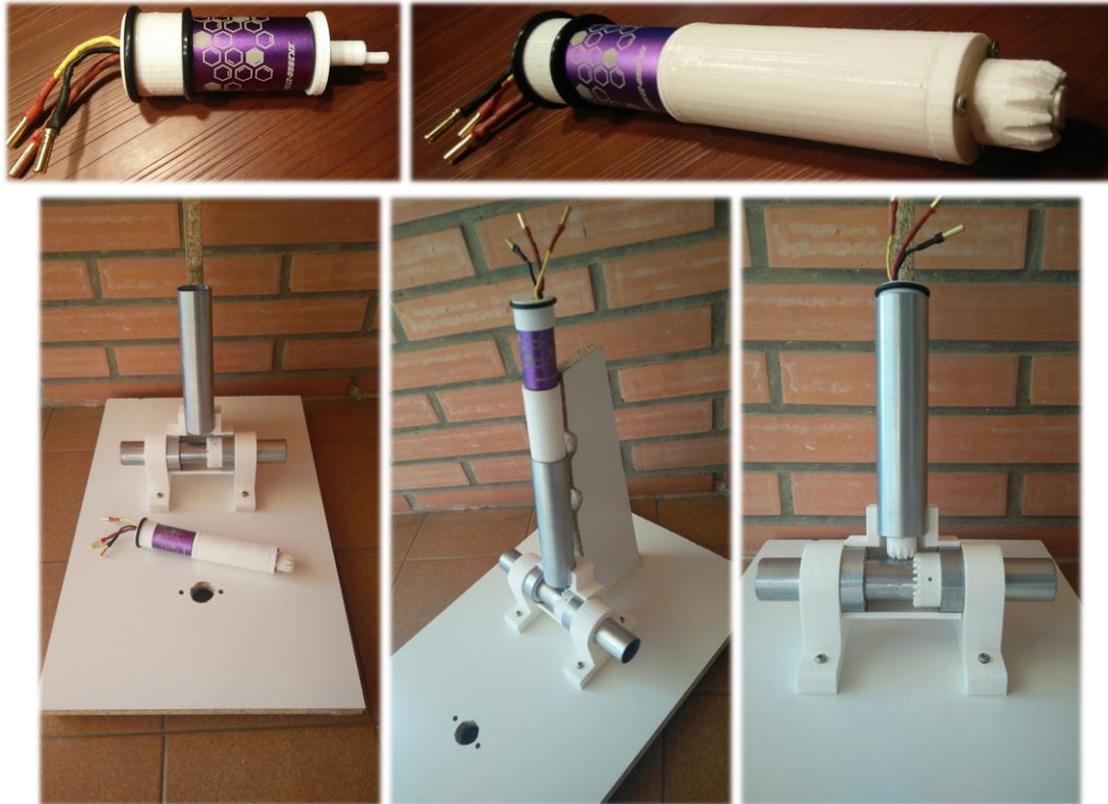


Ilustración 101: Proceso montaje conjunto motriz

INCIDENCIAS:

- A las piezas fabricadas en la última remesa de impresión 3D se les ha tenido que realizar lijado de las superficies exteriores que entran en contacto con otras piezas, como es el caso del engranaje central de la última etapa, lijado de superficies interiores, caso de ello es el de la corona cónica, cuya fabricación no se ha encontrado dentro de las tolerancias establecidas, por lo que se ha tenido que lijar también el perfil tubular del eje del pedalier, y abocardado de agujeros de tornillos y ejes, para todas las piezas que se insertan o llevan insertado otro elemento.

-Se ha descartado la utilización de tornillería en la sujeción de la corona cónica al eje de pedalier dado el ajuste existente mencionado, y en el cierre del piñón cónico, que por el mismo motivo ajusta sin problemas. Como el objetivo es realizar unas pruebas no se considera de obligada utilización cada una de las piezas previstas de tornillería, y además de este modo se reduce el peso del conjunto para la realización de los test.

-El motor ha sido ensamblado con dos separadores en lugar de uno sólo pues se ha visto mejorado el apriete.

-Se ha eliminado mediante lijado la rebaba del cordón de soldadura longitudinal del perfil tubular del tubo del sillín para evitar interferencias.

-Roscado de los agujeros de soporte de las protecciones del engranaje exterior y unión realizada mediante tornillos para roscado en madera, en lugar de tornillos tipo Allen.

5.3.2.2. FASE II: MONTAJE CONJUNTO DE ALIMENTACIÓN Y CONTROL



Ilustración 102: Proceso montaje conjunto alimentación y control



Ilustración 103: Montaje final conjunto alimentación y control

INCIDENCIAS:

- Lijado de las superficies por donde se pasan cables para facilitar dicha tarea, como es el caso de los soportes del botellín y del separador inicial que sostiene el variador.
- Agujereado de la superficie inferior del botellín para pasar los cables del variador.
- Roscado de los agujeros del conjunto de soporte del botellín.
- Precintado de todas las conexiones eléctricas de los elementos presentes dentro del botellín mediante cinta aislante, para evitar contactos indeseados.
- Se ha tenido que sujetar el perfil tubular que simula el tubo del sillín con cinta aislante al soporte de la bancada debido al peso del botellín y el ángulo de sujeción, que provocaban el balanceo hacia delante del mismo.

5.3.2.3. FASE III: CONEXIONADO ELÉCTRICO (MOTOR - VARIADOR)



Ilustración 104: Cableado motor-ESC

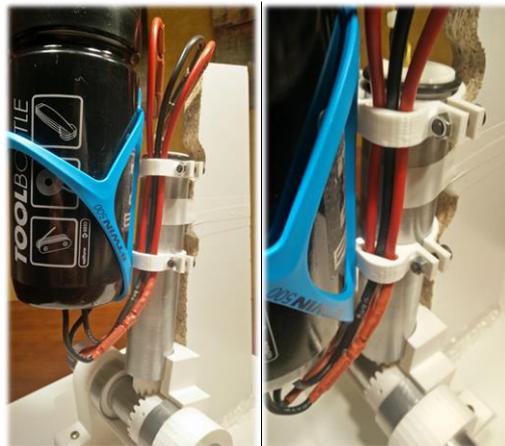


Ilustración 105: Ajuste longitud cableado

INCIDENCIAS:

- Corte, reajuste y soldado de los cables de conexión debido a la longitud excesiva que presentaban, pudiendo entorpecer la realización de los test.

5.3.2.4. FASE IV: MONTAJE CONJUNTO DE MANDO



Ilustración 106: Proceso montaje conjunto mando

INCIDENCIAS:

-Se ha pospuesto el embreado de la potencia que sujeta el manillar a la fase de acabado final.

5.3.2.5. FASE V: ACABADO FINAL

Fase final del montaje del prototipo en la que se van a mostrar las mejoras estéticas realizadas a todo el conjunto, especialmente a la bancada.

Dichas mejoras, como se puede ver a continuación, se basan en el pintado de las caras mecanizadas de la bancada, pulido de piezas y colocación de etiquetas y/o pegatinas indicativas.



Ilustración 107: Prototipo completado

5.4. PUESTA EN MARCHA DEL PROTOTIPO

Última fase, la puesta en marcha, aquella en la que los diferentes diseños y sistemas tecnológicamente distintos que se integran en el prototipo, empiezan a trabajar unidos por primera vez. Es en esta fase donde se deben pulir detalles relacionados con el montaje de los diferentes componentes o depurar código de la programación realizada, tanto de la app como del microcontrolador, susceptible de mejora.

Para tal fin se han realizado dos tipos de test, en primer lugar, uno de verificación de interferencias mecánicas y en segundo lugar uno de verificación de la comunicación entre Smartphone y motor.

5.4.1. TEST DE VERIFICACIÓN DE INTERFERENCIAS MECÁNICAS

Para validar que el diseño del sistema de transmisión mecánica de potencia es válido, se ha realizado un test poniendo en funcionamiento cada elemento del sistema por separado, comprobando aquellos puntos más críticos a ser reparados, ajustados o que necesitarían de una revisión de cara al producto final.

El procedimiento seguido ha consistido, primero, en la verificación del funcionamiento de la reductora, ensamblando una etapa, luego dos etapas y finalizando con las tres etapas.



Ilustración 108: Capturas test de verificación interferencias. Reductora hipocicloidal

De este modo queda demostrada la validez de la reductora hipocicloidal, en la cual, en tan sólo 10cm de longitud se ha conseguido realizar una reducción de 125:1.

En segundo lugar, se ha realizado la verificación del correcto engrane de la pareja de engranajes cónicos, resultando también válida, teniendo en cuenta el material empleado y el tamaño del dentado de los engranajes.

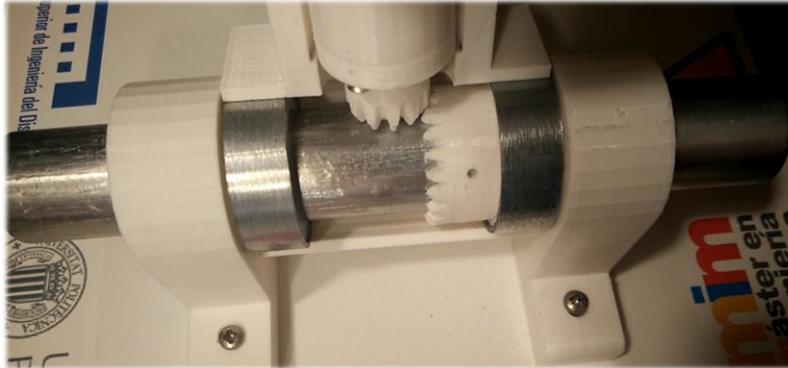


Ilustración 109: Captura test de verificación interferencias. Par engranajes

5.4.2. TEST DE VERIFICACIÓN DE COMUNICACIÓN SMARTPHONE - MOTOR

Para verificar la correcta comunicación entre el Smartphone y el motor ha sido suficiente con comprobar que el envío de órdenes de cambios de velocidad seleccionados en la app eran ejecutados por el motor, a través del microcontrolador y el variador, sin retardos excesivos.

Para una mejor apreciación visual, se ha extraído el motor de la reductora, para verificar las variaciones en el giro, así como el sentido del mismo. El montaje realizado para el test es el siguiente:



Ilustración 110: Capturas montaje test de verificación comunicación Smartphone-motor

El procedimiento que se ha seguido para conseguir el "OK" en este test consta primero de la comprobación del encendido y apagado de la señal Bluetooth (recordar que una pulsación corta sobre el símbolo lo enciende, y una larga lo apaga), y segundo de la comprobación de los cambios de velocidad, de modo ascendente, descendente, y secuencias de marcha-paro entre las tres velocidades disponibles.

Para conseguir dichas velocidades el microcontrolador envía un valor numérico, que representa el ancho de pulso de la señal PWM, en microsegundos, requerida por el variador. Dichos anchos o longitudes se encuentran estandarizados entre 1ms (pulso mínimo) y 2ms (pulso máximo),

enviándose en ciclos de 20ms de duración (datos establecidos en el estándar del protocolo de comunicación RC a través de PWM).

Dichos valores extraídos del código de Arduino UNO, son los siguientes:

```
const int vel_nula = 1000; // Ancho del pulso PWM : NULO 1000
const int vel_lenta = 1330; // Ancho del pulso PWM : LENTO 1330
const int vel_media = 1350; // Ancho del pulso PWM : MEDIO 1350
const int vel_rapida = 1390; // Ancho del pulso PWM : RÁPIDO 1390
```

Ilustración 111: Parámetros PWM

Los valores escogidos dependen del tipo de motor, pues no todos admiten todo el rango de anchos de pulso, alcanzándose las velocidades máximas por debajo de la longitud máxima, y del modo de funcionamiento elegido en el variador. Para su correcta elección requieren de la realización de varias pruebas, alternando dichos valores. Las razones de la elección de estos parámetros se han expuesto en el apartado de justificaciones de este proyecto, concretamente en la sección de puesta en marcha.

Cabe añadir que este tipo de variadores requieren de un pulso inicial de activación, que según el fabricante será de longitud mínima, 1ms, o de máxima, 2ms. En el caso del ESC utilizado el pulso debe ser de longitud mínima, como muestra el siguiente fragmento del código:

```
ESC.writeMicroseconds(1000); // Señal inicial activación ESC (Variador).
```

Ilustración 112: Activación ESC

Como se puede observar la función que genera los pulsos en Arduino es writeMicroseconds() de la librería Servo.h .

Para conseguir el correcto funcionamiento del motor a partir de los parámetros elegidos, se ha configurado el variador en modo "Airplane Fixed Wings" que se caracteriza por realizar el arranque del motor a tan sólo un 5% de la máxima velocidad posible.



Ilustración 113: Capturas test de verificación comunicación Smartphone-motor

6. JUSTIFICACIÓN DETALLADA DE LOS COMPONENTES Y/O ETAPAS DE CADA UNA DE LAS FASES DE DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA.

La justificación de cada decisión tomada en cualquiera de las fases de desarrollo de este proyecto, referente al diseño, fabricación, montaje o puesta en marcha, resulta indispensable para dotarlo de una base sólida que desemboque en un futuro desarrollo del producto final, reflejo del cual es el prototipo aquí desarrollado.

Para llevar a cabo el proceso justificativo primero se ha definido la hipótesis de partida, donde se encuentran detalladas las necesidades físicas que el sistema de asistencia al pedaleo proyectado debe cumplir, y a continuación las justificaciones pertinentes de cada fase de desarrollo respecto a dicha hipótesis de partida.

Siguiendo la misma línea organizativa realizada durante la descripción detallada de las fases y sus componentes, las justificaciones a realizar se dividen en:

- JUSTIFICACIONES DE DISEÑO
- JUSTIFICACIONES DE FABRICACIÓN
- JUSTIFICACIONES DE MONTAJE
- JUSTIFICACIONES DE PUESTA EN MARCHA

6.0. HIPÓTESIS DE PARTIDA

La hipótesis de partida representa la base de todas las justificaciones, y es en la que se definen los datos iniciales a partir de los cuales realizar los cálculos, dimensionamientos o elecciones pertinentes de cada componente o tecnología utilizados.

Dicha hipótesis parte de una situación determinada en la que se considera idónea la utilización del sistema de asistencia al pedaleo, para la cual ha sido creado. Esta situación es aquella que todo aficionado al ciclismo de carretera encuentra en muchos de sus entrenamientos o rutas, las subidas con un desnivel positivo importante, con pendientes superiores al 5%, en las que los latidos se disparan, pero no de igual forma la cadencia del pedaleo, entendida esta como el número de revoluciones que realizan las bielas por minuto o las pedaladas que un ciclista es capaz de dar en un minuto.

Con el fin de establecer referencias, un estudio publicado en 2001 del Departamento de Ciencias Morfológicas y Fisiología de la Universidad Europea de Madrid, titulado "Preferred pedalling cadence in professional cycling" afirmaba que un ciclista profesional desarrolla una cadencia de 71rpm en subidas exigentes, mientras que en el llano se encuentra en torno a las 90rpm.

Dado que no se requiere adquirir la cadencia de un ciclista profesional en las subidas, la cadencia establecida como dato hipotético de partida ha sido de 60rpm, cadencia más que correcta para subir con solvencia cualquier pendiente sin disparar el ritmo cardiaco.

Definida la cadencia, el siguiente dato a determinar es el par que el motor debe ofrecer para garantizar una correcta asistencia, estableciéndose en torno a los 20Nm, el equivalente a realizar una fuerza de 11.6 kg sobre el pedal de una biela de 175mm de longitud, más que suficiente si se recuerda que el sistema no está pensado para dejar de pedalear, pues dicha fuerza adicional sirve únicamente de apoyo a la ya imprimida por el ciclista sobre los pedales.

Teniendo en cuenta la normativa vigente expuesta con anterioridad, que limita la potencia máxima a desarrollar por el motor de este tipo de aplicaciones en 250W, y contemplando la cadencia determinada anteriormente, aplicando la ecuación que relaciona la potencia transmitida con el par y la velocidad de giro, "(1) $P=T*\omega$ ", se obtiene que el par máximo a desarrollar por el conjunto motriz debe estar entorno a los 40Nm, valor muy por encima del establecido y que lo valida dentro del marco legal.

Establecidos los datos de partida referidos a la velocidad, par y potencia a desarrollar por el conjunto motriz, cabe mencionar también aquellos que hacen referencia a las características dimensionales de los cuadros de bicicleta donde se puede instalar el sistema.

De este modo, apoyándose por las especificaciones del proyecto, se establece un espacio disponible medio de 32mm de diámetro y 400mm de longitud máxima, donde el prototipo debe ser capaz de instalarse.

DATOS INICIALES	
VELOCIDAD FINAL EJE PEDALIER (rpm)	60
PAR MOTOR (Nm)	20
POTENCIA MÁXIMA LEGAL (W)	250
DIMENSIONES MÁXIMAS (mm)	Ø32X400

Ilustración 114: Datos de partida

A continuación, se proceden a exponer las justificaciones realizadas en cada una de las fases descritas del proyecto.

6.1. JUSTIFICACIONES DE DISEÑO

Las justificaciones de diseño hacen referencia a los cálculos, selección y dimensionado realizados durante el diseño mecánico y eléctrico del prototipo y a la selección de los componentes que integran el diseño electrónico/programación.

6.1.1. CÁLCULOS, SELECCIÓN Y DIMENSIONADO DE COMPONENTES DISEÑO MECÁNICO Y ELÉCTRICO DEL PROTOTIPO

Debido a la dependencia en el diseño, dimensionado y selección que presentan los componentes mecánicos y eléctricos entre sí, dada su conexión en la transmisión mecánica de potencia, es necesario realizar este apartado siguiendo el orden real de elección de cada uno de ellos, en el que primero se ha seccionado y dimensionado el motor y la batería, luego se ha seleccionado y diseñado el par de engranaje y la reductora y para finalizar se ha seleccionado el variador.

Antes de entrar en detalle, cabe recordar que la principal limitación existente en este proyecto era la escasa financiación disponible, por lo que los componentes eléctricos han tenido que ser adquiridos de forma comercial, lo que ha limitado su total adaptación a las características del prototipo.

A continuación, se expone la justificación de los componentes mecánico-eléctricos, mostrando con antelación las ecuaciones a desarrollar en los cálculos pertinentes.

ECUACIONES UTILIZADAS	
(1)	$P(W) = T(Nm) * \omega(rad/s)$
(2)	$P(W) = V (Voltios) * I(Amperios)$
(3)	$I(-) = \omega i(rpm) / \omega f(rpm)$
(4)	$Ah(Amperios * hora) = A(Amperio) * h(hora)$
(5)	$Dp(mm) = M(mm) * z(-)$
(6)	$\alpha(^{\circ}) = \arctan(z1(-)/z2(-))$
(7)	$De(mm) = 2 * M(mm) * \cos \alpha(^{\circ})$

Ilustración 115: Ecuaciones utilizadas

6.1.1.1. SELECCIÓN Y DIMENSIONADO MOTOR Y BATERÍA

El motor se ha seleccionado dentro de la gama de los motores brushless inrunner, de cuatro polos y alto amperaje, característicos del mundo de los coches a radiocontrol, por ser dimensional y económicamente viable.

Añadir que los brushless outrunner han sido rechazados por no cumplir los requisitos dimensionales (ya que el ubicar el rotor alrededor del estator obliga a aumentar el diámetro de la carcasa, resultando motores no tan pequeños), y aunque otras alternativas sí los cumplían, no ofrecían las mismas prestaciones de potencia o simplemente eran demasiado costosas de asumir para la realización de un prototipo.

Así pues, se tiene un motor con una carcasa de 28mm de diámetro exterior, que encaja perfectamente en el espacio interior de 32mm de diámetro proyectado, y presenta un valor máximo de corriente de 45A idóneo para ofrecer mayor potencia a menores valores de tensión de alimentación, lo que se traduce en un mayor par motor a menor voltaje. Pero muestra un inconveniente que ha debido de subsanarse mediante la reductora.

Se trata de la elevada constante de velocidad, característica de estos motores, Kv, de 2730rpm/V, que aun siendo la menor de los motores disponibles con carcasa de 28mm, es aún muy elevada, pues alimentándose con baterías de más de 10-15V, las revoluciones de salida del eje llegan a valores difíciles de asumir por una reductora y un par de engranaje que buscan abaratar el proceso de fabricación. Tampoco hay que olvidar el límite de 250W de potencia nominal máxima, que se excedería con los valores de tensión descritos.

Para discernir entonces que tensión es la adecuada para alimentar el motor, y seleccionar así la batería, de modo que se obtenga un valor de reducción asumible y una potencia dentro del límite legal, se ha realizado una tabla comparativa.

Dicha tabla muestra las tensiones de las baterías de polímero de litio empleadas en este tipo de motores, las cuales son válidas por características dimensionales (cabén en un botellín), por prestaciones y por coste económico (mismo proveedor, transporte, etc.) no así otros tipos, como las de Níquel-Hidruro metálico o Níquel-Cadmio, por la menor densidad de energía (energía almacenada/kg) y tasa de descarga (intensidad máxima que ofrece la batería de forma segura y constante) que poseen en comparación.

Notar que todas las baterías propuestas son aptas, según especificación de tensión de alimentación máxima, para el motor seleccionado.

BATERÍA (CELDAS EN SERIE)	TENSIÓN (V)	RPM	REDUCCIÓN	POTENCIA (W)	PAR (Nm)
5S	18,5	50505	841,75	832,5	132,5
4S	14,8	40404	673,4	666	106
3S	11,1	30303	505,05	499,5	79,5
2S	7,4	20202	336,7	333	53
1S	3,7	10101	168,35	166,5	26,5

Ilustración 116: Comparativa baterías vs velocidad vs reducción

Como se puede extraer de la tabla, el valor de tensión de alimentación que ofrece una relación de reducción asumible para el prototipo y se encuentra dentro de los límites legales en cuanto a potencia nominal es el comprendido entre las baterías de una (1S) y dos celdas (2S).

2S	7,4	20202	336,7	333	53
1S	3,7	10101	168,35	166,5	26,5

Ilustración 117: Rango válido elección batería

Concretamente, el valor de tensión de alimentación que consigue ofrecer la potencia nominal máxima legal de 250W es de 5.55V (cálculo realizado según la ecuación "(2) $P=V \cdot I$ "), valor que se encuentra a medio camino entre ambas baterías.

Así pues, valorando las capacidades potenciales en cuanto a rendimiento de ambas, y que la ley indica como límite únicamente la potencia nominal, se ha elegido la batería de dos celdas, 7.4V, dado el rango mayor de aumento de par y velocidad que puede ofrecer en determinadas ocasiones. Al fin y al cabo, el objetivo es la construcción de un prototipo en el que se van a realizar una serie de test sin poner en peligro la integridad de ninguna persona ajena a este proyecto.

Calculada la tensión de la batería, aún quedan dos propiedades o características más por determinar, y no menos importantes, como son la capacidad y la tasa de descarga.

La capacidad, determinada por los miliamperios que en una hora la batería es capaz de suministrar, depende del uso que se le va a dar, y como éste es meramente demostrativo, se establece un tiempo de alrededor 8min en el que la batería debe ser capaz de suministrar el 100% de la corriente máxima del motor, que aplicando la ecuación "(4) $Ah=A*h$ ", se obtiene como resultado una capacidad de 6000mAh.

Por último, queda por determinar la tasa de descarga, la cual como ya se ha dicho, indica la intensidad máxima que es capaz de ofrecer la batería de forma segura y constante, y viene reflejada por un número seguido de una "C" (capacidad), valor que, multiplicado por la capacidad de la batería en cuestión, da como resultado el amperaje buscado. Pues bien, si aplicamos dicha relación, para la batería de 6000mAh, y un motor de 45A, se requeriría una tasa de descarga mínima de 7.5C.

El dimensionado de las características en teoría estaría ya completo de no ser porque el fabricante recomienda aplicar un coeficiente de seguridad a dicha tasa de descarga de entre 5 y 10, por lo que la tasa de descarga debe estar entre 37.5C y 75C.

La selección da como resultado una batería de polímero de litio de 5900mAh de capacidad, dos celdas en serie y en paralelo (2S2P) y una tasa de descarga 60C, que, suministrando la máxima corriente requerida por el motor, ofrece una duración máxima teórica de 7 minutos y 53 segundos, y una velocidad en el eje de 20202rpm, que mediante una reducción teórica total de 336.7:1, hace girar el eje del pedalier a la cadencia preestablecida de 60rpm.

6.1.1.2. SELECCIÓN Y CÁLCULOS DISEÑO PAR DE ENGRANAJE

Dado el espacio disponible y la perpendicularidad de los ejes inicial (motor situado en el tubo del sillín) y final (eje del pedalier), que además se intersectan, el único componente de transmisión idóneo para transmitir potencia mecánica es el engranaje cónico.

Este engranaje además puede contar con dos tipos de dentado, el recto, más ruidoso y con menos superficie de contacto, pero con mayor facilidad de diseño y fabricación, y el helicoidal, menos ruidoso, con mayor superficie de contacto, pero de fabricación mucho más costosa.

Dada la finalidad mecánica del prototipo y siendo el ruido un factor no determinante (este punto ya ha sido explicado con anterioridad), el dentado recto resulta el adecuado.

De este modo, el par de engranaje seleccionado es cónico y recto. Ahora hay que conocer sus dimensiones principales, y la reducción parcial que aplica al conjunto motriz.

Así pues, el par de engranaje está formado por un piñón, que debe caber en un espacio de 32mm de diámetro, contener un cubo suficiente como para insertar el eje proveniente del conjunto motorreductor, y tener un dentado apto para una sencilla fabricación, con el fin de abaratar costes.

La corona, por su parte, debe cumplir los mismos requisitos de fabricación que el piñón, pero variando las características dimensionales especificadas, ya que el espacio disponible exterior es de 39mm de diámetro y debe insertarse en el eje del pedalier, de 30mm de diámetro exterior,

por lo que debe ser un grosor suficiente como para contener un cajado de ese diámetro, pero no tanto como para crear interferencia con la caja del pedalier.

Para realizar la elección se va a analizar el diámetro exterior de la corona, aceptando como válido el que más próximo se encuentre al diámetro exterior de 39mm, ya que es el más susceptible de sufrir interferencias, mediante la variación del módulo, aumentando su valor según la norma, intentando mantener un coeficiente de transmisión de reducción en torno a 2:1, estimado como correcto para disminuir la reducción a realizar por la reductora, y no tan elevado como para causar rotura del dentado de la corona o el piñón.

SERIE DE MÓDULOS NORMALIZADOS							
Módulo	Paso cir.	Módulo	Paso cir.	Módulo	Paso cir.	Módulo	Paso cir.
0,30	0,942	2,50	7,854	8	25,133	27	84,823
0,40	1,257	2,75	8,639	9	28,274	30	94,248
0,50	1,571	3,00	9,425	10	31,416	33	103,673
0,60	1,885	3,25	10,210	11	34,558	36	113,097
0,70	2,199	3,50	10,996	12	37,699	39	122,522
0,80	2,513	3,75	11,781	13	40,841	42	131,947+
0,90	2,827	4,00	12,566	14	43,982	45	141,372
1,00	3,142	4,50	14,137	15	47,124	50	157,080
1,25	3,927	5,00	15,708	16	50,265	55	172,788
1,50	4,712	5,50	17,279	18	56,549	60	188,496
1,75	5,498	6,00	18,850	20	62,832	65	204,204
2,00	6,283	6,50	20,420	22	69,115	70	219,912
2,25	7,069	7,00	21,991	24	75,398	75	235,619

Ilustración 118: Serie de módulos normalizados para engranajes

A continuación se expone una tabla que muestra la primera iteración realizada para la elección de los parámetros básicos que se utilizan en el diseño del piñón y la corona, en la que se establece como variable de estudio el módulo, partiendo del unitario, y como constantes el coeficiente de transmisión y el número de dientes de la corona, partiendo de 20 dientes, valor que se considera correcto ya que un dentado inferior obligaría a disponer de un módulo más elevado y un reparto de las fuerzas axiales, radiales y tangenciales en un menor número de dientes. Por el contrario, un mayor número de los mismos, a la vista del espacio disponible, provocaría una disminución del tamaño de cada diente, lo que influiría negativamente en la fabricación.

i	2	2	2	2	2
z1	10	10	10	10	10
z2	20	20	20	20	20
M	1	1,25	1,5	1,75	2
Dp1	10	12,5	15	17,5	20
Dp2	20	25	30	35	40
α_P	26,57	26,57	26,57	26,57	26,57
α_C	63,43	63,43	63,43	63,43	63,43
De1	11,79	14,29	16,79	19,29	21,79
De2	20,89	25,89	30,89	35,89	40,89

Ilustración 119: Elección parámetros según módulo óptimo

Como se puede observar de la tabla, un aumento del módulo influye directamente en el aumento del diámetro exterior de la corona, obteniéndose como óptimo un módulo igual a 1.75, ya que con un valor superior el diámetro exterior excede al máximo admisible.

Estableciendo como constante dicho valor, se exponen a continuación tres tablas con iteraciones distintas con el fin de seleccionar definitivamente los parámetros de diseño idóneos. Así pues, se muestra en primera instancia el resultado de la variación del dentado del piñón, manteniendo constante el de la corona, en segunda la variación del dentado de la corona, manteniendo constante el del piñón y en tercera instancia la variación de ambos.

i	2	1,818182	1,666667
z1	10	11	12
z2	20	20	20
M	1,75	1,75	1,75
Dp1	17,5	19,25	21
Dp2	35	35	35
α_P	26,57	28,81	30,96
α_C	63,43	61,19	59,04
De1	19,29	21	22,72
De2	35,89	35,96	36,03

Ilustración 120: Elección parámetros según dentado óptimo 1

i	2	2,1	2,2
z1	10	10	10
z2	20	21	22
M	1,75	1,75	1,75
Dp1	17,5	17,5	17,5
Dp2	35	36,75	38,5
α_P	26,57	25,46	24,44
α_C	63,43	64,54	65,56
De1	19,29	19,31	19,32
De2	35,89	37,61	39,33

Ilustración 121: Elección parámetros según dentado óptimo 2

i	2	1,909091	1,833333
z1	10	11	12
z2	20	21	22
M	1,75	1,75	1,75
Dp1	17,5	19,25	21
Dp2	35	36,75	38,5
α_P	26,57	27,65	28,61
α_C	63,43	62,35	61,39
De1	19,29	21,02	22,76
De2	35,89	37,68	39,46

Ilustración 122: Elección parámetros según dentado óptimo 3

A la vista de los cálculos expuestos, un aumento únicamente de los dientes del piñón provoca la disminución del coeficiente de reducción y un inapreciable aumento del diámetro exterior, un aumento por igual de los dientes de la corona, aun provocando un aumento considerable de su diámetro exterior no es apto por superar el coeficiente de reducción máximo admisible, y en última instancia, un aumento de ambos dentados provoca tanto el aumento del diámetro exterior a valores cercanos al máximo admisible y una leve disminución del coeficiente de reducción.

Así pues, según las conclusiones anteriores, la tercera iteración es la correcta, obteniéndose un par de engranaje cónico recto, de módulo 1.75, un piñón de 11 dientes y una corona de 21 dientes de diámetro exterior 37.68mm, que garantiza el juego en el interior de la caja de pedalier, y ofrece un coeficiente de reducción muy próximo al deseado, de 1.909:1.

6.1.1.3. SELECCIÓN Y CÁLCULOS DISEÑO REDUCTORA

La reductora es el componente principal para garantizar la velocidad y el par requerido en el eje del pedalier y así subsanar la elevada constante de velocidad del motor seleccionado.

Para cumplir con el cometido se ha seleccionado una reductora hipocicloidal, característica, desde el punto de vista del funcionamiento que ofrece en el campo de la robótica, por aportar alta capacidad de carga en espacios muy reducidos, y altos coeficientes de reducción en pocas etapas, lo que es muy beneficioso para este prototipo.

Estas cualidades se deben a la elevada superficie de contacto que mantiene en cada ciclo (únicamente se necesita un lóbulo menos en el engranaje central que en el exterior para realizar la reducción, lo que origina que hasta 2/3 de los lóbulos existentes se encuentran en contacto en todo momento, a diferencia de los engranajes rectos en los que la carga se concentra en uno o dos dientes), y a los pocos componentes que realizan la reducción, ya que donde una reductora planetaria necesitaría, como mínimo, tres engranajes exteriores o planetas, un engranaje central o "sol" y una corona, la reductora hipocicloidal sólo necesita dos, lo que posibilita optimizar mejor el espacio disponible, y además reduce el coste total del conjunto, requisito indispensable en este prototipo.

Por otra parte, desde el punto de vista del diseño y la fabricación, se trata de una reductora fácil de diseñar, ya que sus formas son simples (se definen a partir de 6 únicos parámetros), y fácil de fabricar, pues ninguna de sus partes contiene dentados diminutos.

Todos estos argumentos no hacen más que validar la viabilidad de utilizar una reductora hipocicloidal en el prototipo.

Una vez concluida la selección se exponen los cálculos realizados para su diseño.

Los datos iniciales son:

DATOS INICIALES REDUCTORA		
V0	20202	rpm
Vf	114,5	rpm
i	176,4	(-)
Dext	32	mm
LtotalMax	250	mm

Ilustración 123: Datos iniciales reductora

A la vista de los datos, se necesita realizar un inciso en referencia a la velocidad inicial, siendo ésta la que ofrece el motor a la máxima tensión de la batería, por lo que, con el fin de obtener un rango adicional de velocidad y reducir el consumo de la misma, se va a establecer como velocidad nominal del sistema el 70% de la máxima velocidad permitida (esto se consigue gracias a la modulación por ancho de pulso, también conocida como PWM, a tratar más profundamente en el apartado de "puesta en marcha" de la instalación).

Así pues, los datos iniciales con la corrección de velocidad son:

DATOS INICIALES REDUCTORA CORREGIDOS

V0 (70%)	14141,4	rpm
Vf	114,5	rpm
i	124	(-)
Dext	32	mm
LtotalMax	250	mm

Ilustración 124: Datos iniciales reductora corregidos

Como se observa se va a necesitar una reductora cuya reducción total sea de aproximadamente 124:1.

En primer lugar, hay que conocer el número de etapas necesarias para realizar esta reducción, y las restricciones de las mismas, descartando de inicio, por motivos dimensionales y de reparto de esfuerzos, el uso de una única etapa. Dichas restricciones son dos, la primera, que, por motivos de fabricación y simplificación de componentes, todas las etapas deben ser iguales, misma reducción, y la segunda, que no deben superarse las cuatro etapas, pues aumentaría la longitud del conjunto y el número de componentes utilizados, inviable económicamente hablando.

Así pues, siguiendo estos preceptos, a continuación, se muestra una tabla contemplando diferentes posibilidades:

REDUCCIÓN TEÓRICA	124			(-)
NÚMERO DE ETAPAS	2	3	4	
REDUCCIÓN ETAPA TEÓRICA	11,14	4,98	3,34	
REDUCCIÓN ETAPA REAL	11	5	3	
REDUCCIÓN TOTAL REAL	121	125	81	
VELOCIDAD SALIDA REDUCTORA REAL	116,87	113,13	174,59	
VELOCIDAD EJE PEDALIER REAL	61,22	59,26	91,45	rpm

Ilustración 125: Opciones diseño reductora

Aclaración: Por temas constructivos, las reductoras hipocicloidales sólo admiten valores de reducción enteros (por lógica no se pueden tener lóbulos parciales), de ahí la diferencia entre las reducciones real y teórica.

A la vista de la tabla, se descarta rápidamente la reductora de cuatro etapas, la cual ofrecería una velocidad final muy superior a la deseada, y también, aun cumpliendo aproximadamente los requisitos de velocidad y reducción, la reductora de dos etapas y un coeficiente de reducción parcial 11:1, por considerarse dimensionalmente más difícil y costosa de fabricar, dado el espacio disponible, que la alternativa de tres etapas.

Por lo tanto, la opción válida y que más se aproxima a los valores de reducción y velocidad final requeridos es la reductora hipocicloidal de tres etapas, con un coeficiente de reducción parcial 5:1 y total 125:1, que hace posible el giro del eje del pedalier en torno a las 60rpm deseadas, exenta la aplicación de los rendimientos de cada etapa.

NÚMERO ETAPA	VELOCIDAD PARCIAL (rpm)	PAR (Nm)
<i>MOTOR</i>	14141,4	0,157
1	2828,28	0,787
2	565,656	3,935
3	113,1312	19,676

*Valores teóricos calculados, exentos de aplicación de rendimiento.

Ilustración 126: Velocidades relativas etapas reductora

Como información adicional en el ANEXO III se ha dispuesto una descripción de aquellos componentes potencialmente más críticos, es decir, de sufrir una rotura, de la transmisión mecánica de potencia del prototipo.

6.1.1.3. SELECCIÓN VARIADOR

El variador comercial seleccionado cumple los requisitos dimensionales exigidos, por lo que se puede esconder conjuntamente con la batería y el resto de componentes electrónicos en un botellín portaherramientas convencional. Además, está especialmente diseñado para la alimentación de motores brushless de radiocontrol y su control, mediante microcontroladores externos.

Pero lo que lo caracteriza y razón por la cual ha sido elegido, es por ser característico para el uso en helicópteros, también a radiocontrol, gracias a los modos de control disponibles en su software interno, que dotan de mayor suavidad a los movimientos ordenados, en pocas palabras, ofrece una resolución en cuanto a parámetros de control que no ofrecen otro tipo de variadores de estas características. Además, presenta una relación prestaciones/coste muy buena, lo cual sigue la línea de todos los elementos comerciales adquiridos para el prototipo.

6.1.2. SELECCIÓN DE COMPONENTES DISEÑO ELECTRÓNICO/PROGRAMACIÓN DEL PROTOTIPO

La selección de los componentes que integran el diseño electrónico sigue a grandes rasgos la misma línea que la selección del variador.

Tanto el microcontrolador Arduino Uno, como el módulo Bluetooth HC-05 cumplen los requisitos dimensionales, por lo que también pueden esconderse dentro del botellín, y los requisitos económicos establecidos.

Además, el dotar de un microcontrolador externo al variador, ya que conectando éste a un simple mando de radiocontrol también puede controlarse manualmente el motor, le otorga al prototipo la posibilidad de comunicarse inalámbricamente, mediante la más que probada tecnología Bluetooth, evitándose de este modo cablear una conexión adicional entre el Smartphone y Arduino Uno.

Por otra parte, se ha escogido implementar una aplicación propia con el fin de adaptar al máximo el sistema de mando a las habilidades potenciales del sistema de asistencia al pedaleo, gracias a la plataforma de desarrollo y mejora continua que ofrece el software MIT APP INVENTOR 2 empleado, así como su funcionalidad en miles de Smartphone gracias al S.O. Android.

6.2. JUSTIFICACIONES DE FABRICACIÓN

Las justificaciones de fabricación hacen referencia únicamente a la validez del método y del material empleado para la fabricación.

6.2.1. MÉTODO Y MATERIAL EMPLEADO EN LA FABRICACIÓN DEL PROTOTIPO

Los métodos de fabricación disponibles para este tipo de componentes, atendiendo al material en que se fabrican y a la utilización de los procedimientos más económicos para ello, podían haber sido dos, el mecanizado por control numérico (CNC) si se hubiese utilizado acero, o la impresión 3D, donde el material a emplear podría haber sido desde ABS a Nylon, pasando por el PLA.

Dadas las limitaciones descritas en el proyecto, y las dimensiones de las piezas, el mecanizar todas las piezas desde brutos en acero resultaba ilógico a sabiendas del coste económico que este proceso representa.

Por ello, el carácter experimental que tiene todo prototipo y la disponibilidad ofrecida por los Servicios Mecánicos del Instituto de Automática e Informática Industrial de la Universidad Politécnica de Valencia, para la fabricación de las piezas utilizando la impresión 3D por extrusión, han sido factores determinantes en la elección del método de fabricación.

En cuanto al material de las piezas del prototipo, se ha empleado el disponible por este departamento, el filamento plástico PLA.

Aun siendo los métodos disponibles dadas las limitaciones económicas, la dimensión de los componentes hace que la impresión 3D sea más idónea para su fabricación que la mecanización. Es por ello que se propondría para una futura fabricación del producto final, el mismo método, pero variando los materiales, utilizando desde Nylon hasta aleaciones de Titanio.

6.3. JUSTIFICACIONES DE MONTAJE

Las justificaciones de montaje hacen referencia al diseño y a la selección del material y de los componentes utilizados en la construcción de la bancada.

6.3.1. DISEÑO DE LA BANCADA

El diseño de la bancada está estrechamente ligado al material empleado en la fabricación del prototipo, ya que obliga a limitar los esfuerzos a introducir en los test, haciendo imposible las pruebas sobre una bicicleta real, y propiciando el diseño de una bancada exclusiva para realizar otro tipo de pruebas.

Así pues, la bancada se ha diseñado de acuerdo a dos principios, simplicidad y visibilidad.

Simplicidad, porque debe ser de fácil montaje y desmontaje, para permitir la rápida realización de pruebas, cambios de piezas, modificaciones etc. Por lo que cuenta únicamente con cuatro uniones atornilladas, que no impiden la extracción de ningún componente.

Y visibilidad, porque el objetivo de un prototipo y de la bancada que lo sujeta es mostrar, a las personas interesadas, que aquello que se ha construido es correcto y cumple con los requisitos establecidos en el proyecto.

Es por ello que se ha optado por ensamblar una unión "T" seccionada, con dos soportes para el eje y con los perfiles tubulares que simulan el espacio disponible real, con el fin de poder observar el correcto funcionamiento del elemento mecánico final, el par de engranaje cónico-recto.

6.3.2. MATERIALES Y COMPONENTES SELECCIONADOS PARA LA BANCADA

Los materiales empleados en el diseño y fabricación de la bancada son tres, el PLA, para las piezas a fabricar mediante impresora 3D, de este modo se consigue un ahorro económico en componentes al utilizar el mismo bruto que el resto de piezas, el acero S235 para los tubos empleados, siendo de una medida comercial, lo que también consigue ahorro, y por último la madera, en forma de tablón de aglomerado prelacado blanco, también comercial y con el que además se ahorra dado su reducido coste.

Así pues, dada la naturaleza de la bancada, el factor que ha prevalecido en su diseño y posterior fabricación ha sido el económico, consiguiéndose de forma más que satisfactoria.

6.4. JUSTIFICACIONES DE PUESTA EN MARCHA

Las justificaciones de puesta en marcha hacen referencia al tipo de pruebas realizadas para la comprobación de interferencias mecánicas y a la validez de la parametrización realizada en el código implementado, en microcontrolador y variador, para el control del motor.

6.4.1. PRUEBAS REALIZADAS EN LA VERIFICACIÓN DE INTERFERENCIAS MECÁNICAS

Las pruebas realizadas han aportado validez al diseño de los distintos componentes que integran el sistema de transmisión mecánica de potencia, individualmente, comprobando una a una las zonas más problemáticas donde surgían o podían surgir interferencias.

El motivo por el cual se han realizado de forma individualizada reside en que el material empleado para la fabricación, el PLA, no ha permitido poner en funcionamiento todo el conjunto, debido a las irregularidades que contenían algunas piezas, que por su especial morfología eran difícilmente subsanables sin volver a fabricar, y a la deformación plástica que se producía en el mismo cuando por fricción se calentaba.

Con todo ello ha quedado demostrado que el diseño es válido, por lo que es posible conseguir una reductora muy compacta, de reducción de 125:1, en tan sólo 10cm de longitud, con la dificultad que ello conlleva, y con un adecuado material es posible hacer funcionar el prototipo al completo.

6.4.2. PARAMETRIZACIÓN DEL MOTOR MEDIANTE MICROCONTROLADOR Y VARIADOR

Para la selección de los valores de la parametrización realizada en el microcontrolador se realizaron una serie de pruebas que determinaron que el arranque del motor se produce en torno a los 1320 microsegundos de ancho de pulso, y en torno a los 1790 microsegundos de ancho de pulso se alcanzaba la velocidad máxima.

Conocidos estos valores y adaptándose a los requerimientos del test de interferencias mecánicas, se establecieron las tres velocidades disponibles, lenta, media y rápida.

La velocidad lenta mediante un ancho de pulso de 1330 microsegundos, hace rotar al eje del motor a una velocidad perfecta para visualizar el funcionamiento de la reductora. Dicha visualización se podría incluso mejorar disminuyendo dicha velocidad, pero entonces es cuando el llamado "efecto cogging" o par de detención del motor generado por la interacción de sus

imanes, entra en juego, provocando un movimiento coloquialmente definido a "trompicones". Por dicha razón se ha establecido un ancho de pulso mínimo de 1330 microsegundos para conseguir una velocidad "lenta" (realmente las tres velocidades son lentas, dados los requerimientos del test de interferencias).

Por otra parte, se ha establecido como velocidad media aquella que se consigue a partir de un ancho de pulso de 1350 microsegundos, y rápida a partir de los 1390 microsegundos.

Una vez realizada la justificación de los parámetros empleados en el microcontrolador, cabe añadir la razón por la cual se ha escogido el modo o "governor" denominado como "AIRPLANE FIXED WINGS" del ESC utilizado. La razón es muy sencilla, existen diferentes modos de funcionamiento a escoger en el variador, los cuales, a grandes rasgos, se diferencian por el porcentaje de velocidad mínima (porcentaje de acelerador) requerido para realizar el arranque del motor.

Así pues, de los modos existentes se ha escogido el "AIRPLANE FIXED WINGS" debido a que requería únicamente un 5% de la velocidad máxima, ofreciendo un rango de funcionamiento continuo de 5% a 100%, a diferencia del resto de modos de funcionamiento, adaptados para manejo de helicópteros RC, donde el porcentaje mínimo de velocidad de arranque está establecido en un 40%, ofreciendo un rango de funcionamiento de un 40% a un 100%. En otras palabras, el rango real de funcionamiento del motor del prototipo se encuentra por debajo del mínimo requerido para estos modos, por lo que la elección resultaba bastante obvia.

ANEXOS

ANEXO I. GUÍA DE DISEÑO DE LOS PRINCIPALES COMPONENTES DE LA REDUCTORA HIPOCICLOIDAL EN AUTODESK INVENTOR PROFESSIONAL 2017

Este apartado anexo a la memoria tiene como función mostrar el proceso de diseño seguido en los componentes más importantes en la transmisión interna de la reductora hipocicloidal del prototipo.

A continuación, se va a describir de forma esquemática el proceso de diseño seguido para la creación de:

- ENGRANAJE CENTRAL
- ENGRANAJE EXTERIOR-CARCASA
- DISCO SALIDA ETAPA COMPLETA



Ilustración 127: Diseño reductora hipocicloidal

1. PARÁMETROS Y PROCESO DE DISEÑO

En primer lugar, se definen los parámetros iniciales necesarios para la realización del diseño y a continuación se procede a detallar de forma esquemática el proceso seguido en cada componente.

1.1. PARÁMETROS DE DISEÑO

La siguiente tabla muestra los parámetros iniciales de diseño introducidos en AUTODESK INVENTOR PROFESSIONAL 2017:

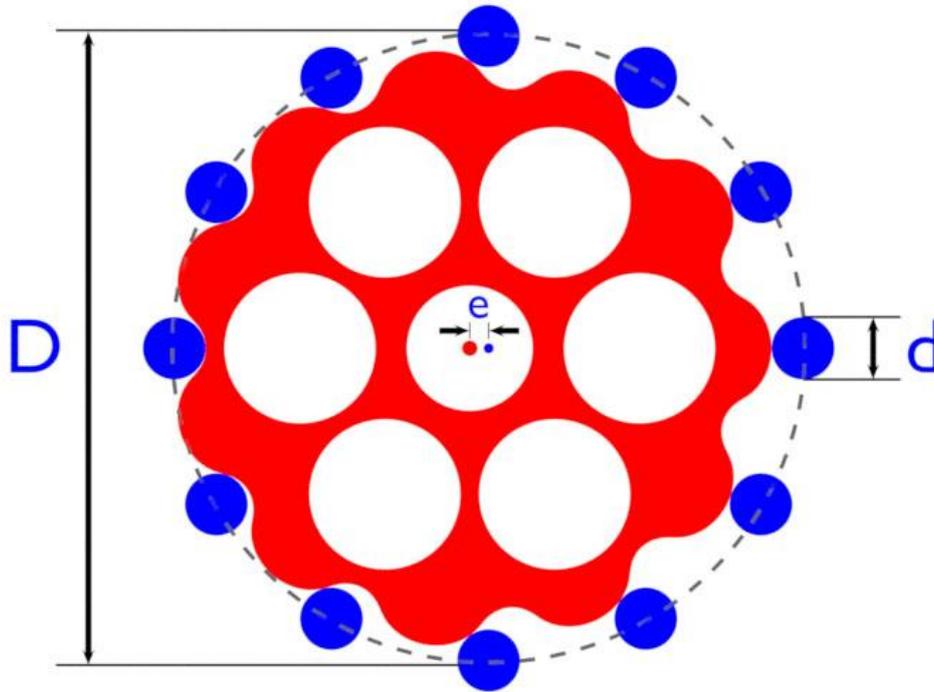


Ilustración 128: Esquema diseño reductora hipocicloidal

COMPONENTE		ENGRANAJE CENTRAL	ENGRANAJE EXTERIOR-CARCASA	DISCO SALIDA ETAPA COMPLETA	
PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR			UD
DIÁMETRO EXTERIOR	D	27	32	20	mm
DIÁMETRO PINES	d	6	6	-	mm
NÚMERO PINES*	N	6	6	3	-
EXCENTRICIDAD	e	2	2	2	mm
DESFASE	i	3	3	3	mm
ÁNGULO ENTRE PINES	ε	60	60	-	°
LONGITUD	L	-	80	20	mm
ESPESOR	E	10	-	10	mm

*El número de pinos en el disco de salida completa hace referencia a los pinos interiores del engranaje central.

Ilustración 129: Datos introducidos diseño reductora

1.2. PROCESO DE DISEÑO

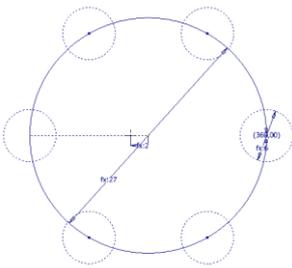
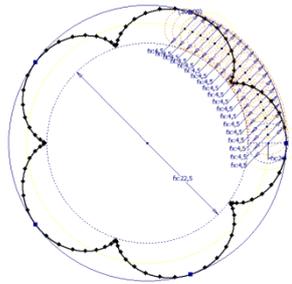
El proceso de diseño ha seguido un método gráfico basado en la representación del movimiento generado por un epitrocoide, "curva que describe un punto excéntrico a una circunferencia generatriz que rueda sin deslizamiento sobre una circunferencia directriz, tangencialmente", el cual, al realizar un lazo cerrado, representa la forma inicial del engranaje central, previa aplicación del factor de reducción igual a la mitad del diámetro de los pines, que garantiza el contacto tangencial entre los lóbulos de dicho engranaje central, y los pines del engranaje exterior-carcasa. De este modo quedan definidos el engranaje central y el exterior, gracias al mismo epitrocoide, pero sin aplicar ningún factor de reducción.

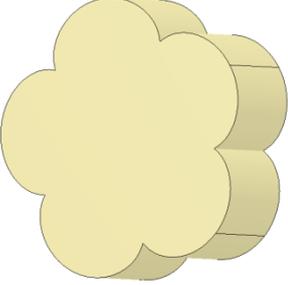
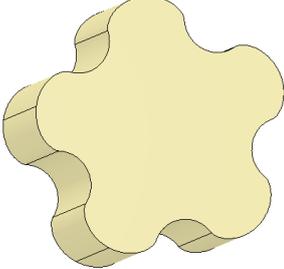
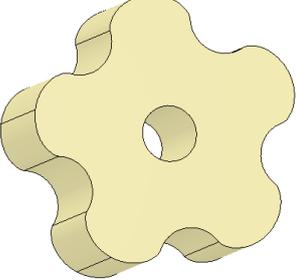
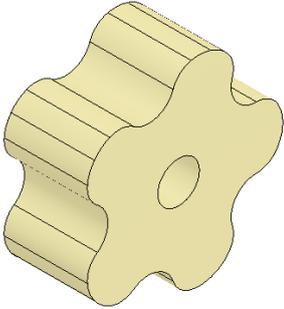
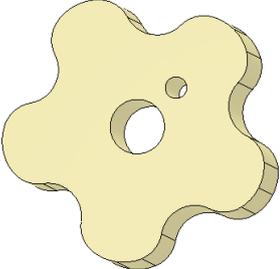
Para definir el disco de salida de etapa completa, basta con analizar el movimiento excéntrico descrito por los lóbulos, a partir de los cuales se obtiene el diámetro exterior necesario para definir la superficie tangencial a los pines de contacto interior del engranaje central, que posibilitarán la conversión del movimiento rotacional excéntrico en coaxial al eje principal del conjunto. Dicho diámetro exterior resulta de multiplicar por dos el diámetro de los pines interiores y sumar el valor de la excentricidad establecida.

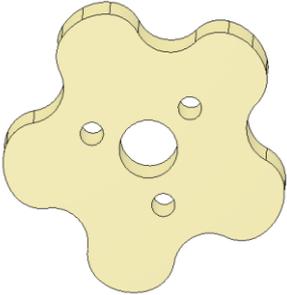
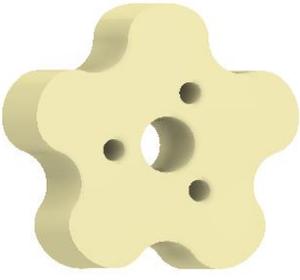
En la siguiente referencia se puede acceder a una página web que explica detalladamente el diseño de este tipo de elementos: <http://www.otvinta.com/tutorial05.html>.

A continuación, se muestran gráficamente los pasos seguidos para el diseño de estos tres componentes.

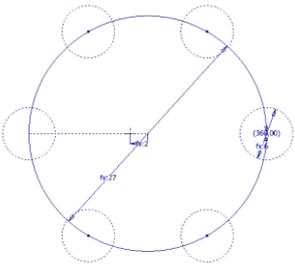
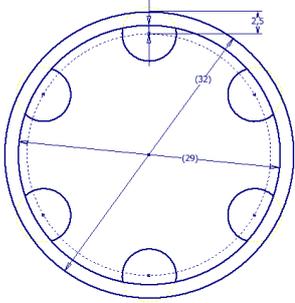
1.2.1. DISEÑO ENGRANAJE CENTRAL

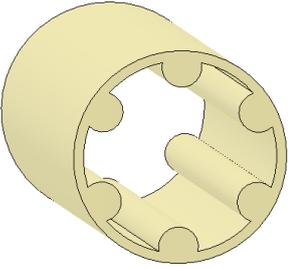
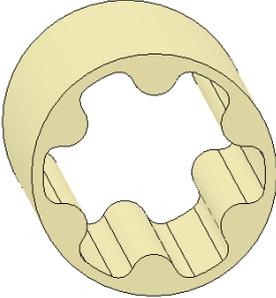
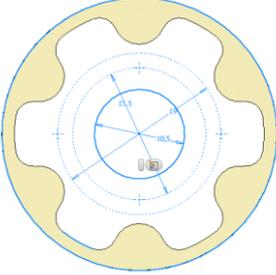
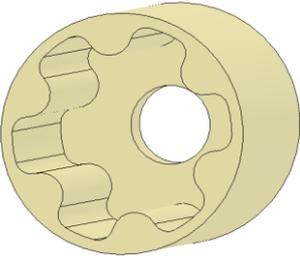
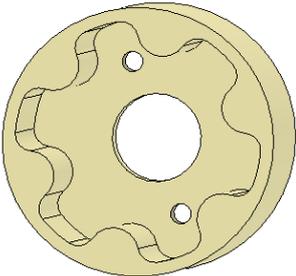
CAPTURA	OPERACIÓN	DESCRIPCIÓN
	<p>BOCETO 2D</p>	<p><i>Dibujo del boceto que representa el diámetro de los pines y su posición, así como el diámetro de la circunferencia central del epitrocoide.</i></p>
	<p>BOCETO 2D</p>	<p><i>Dibujo del epitrocoide a partir del patrón formado por la sección de curva creada a partir de la rotación de la circunferencia generatriz un ángulo igual a 360°.</i></p>

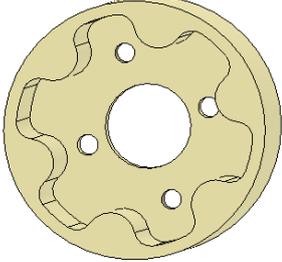
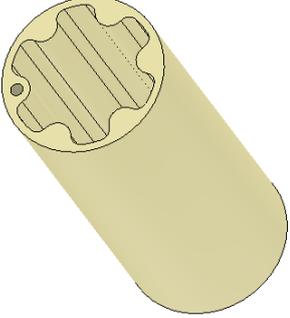
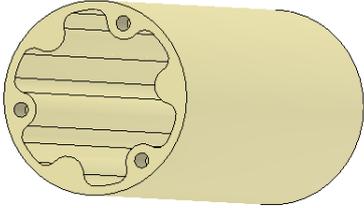
	EXTRUSIÓN	<i>Creación del cuerpo inicial del epitrocoide.</i>
	ENGROSADO	<i>Reducción volumétrica del epitrocoide según el factor de "desfase" dado para garantizar la tangencialidad de los lóbulos durante la rotación excéntrica.</i>
	VACIADO INTERIOR	<i>Operación de eliminación de material para crear el agujero donde se inserta el eje excéntrico.</i>
	EMPALME	<i>Redondeado de las aristas laterales para evitar interferencias.</i>
	AGUJERO	<i>Creación del agujero inicial donde insertar los pines de acero.</i>

	<p>PATRÓN CIRCULAR</p>	<p><i>Creación del resto de los 3 agujeros donde se insertan los 3 pines de acero que posibilitan la rotación coaxial al eje motor.</i></p>
	<p>VISTA 3D</p>	<p><i>Resultado final.</i></p>

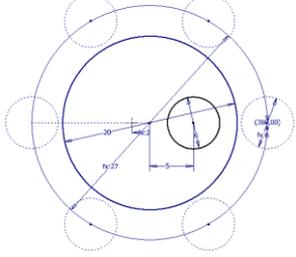
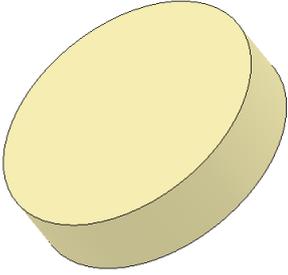
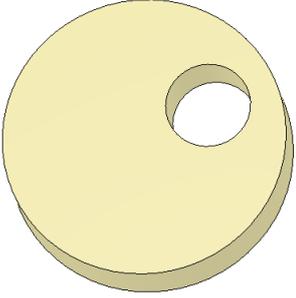
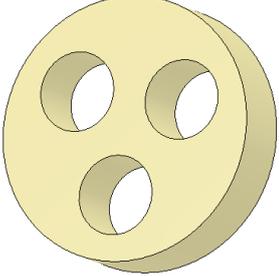
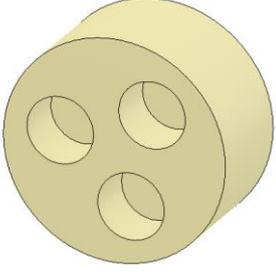
1.2.2. DISEÑO ENGRANAJE EXTERIOR-CARCASA

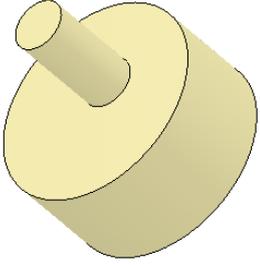
<p>CAPTURA</p>	<p>OPERACIÓN</p>	<p>DESCRIPCIÓN</p>
	<p>BOCETO 2D</p>	<p><i>Dibujo del boceto que representa el diámetro de los pines y su posición, así como el diámetro de la circunferencia central del epitrocoide.</i></p>
	<p>BOCETO 2D</p>	<p><i>Dibujo de la sección principal de la carcasa, determinada por el diámetro exterior máximo escogido.</i></p>

	<p>EXTRUSIÓN</p>	<p><i>Creación del cuerpo principal de la carcasa.</i></p>
	<p>EMPALME</p>	<p><i>Redondeo de las aristas interiores para evitar problemas durante la fabricación y así añadir más material, reforzando las zonas de no contacto.</i></p>
	<p>BOCETO 2D</p>	<p><i>Dibujo de la sección de la base de la carcasa donde se inserta el eje de la reductora.</i></p>
	<p>EXTRUSIÓN</p>	<p><i>Creación de la base de la carcasa.</i></p>
	<p>AGUJERO</p>	<p><i>Operación de eliminación de material para insertar los tornillos de sujeción del motor.</i></p>

	<p>AGUJERO</p>	<p><i>Operación de eliminación de material para insertar los tornillos de cabeza perdida de centrado del motor.</i></p>
	<p>AGUJERO</p>	<p><i>Operación de eliminación de material para insertar el tornillo de sujeción de la tapa de la reductora.</i></p>
	<p>PATRÓN CIRCULAR</p>	<p><i>Operación de repetición del agujero necesario para insertar los 3 tornillos de sujeción de la tapa de la reductora.</i></p>
	<p>VISTA 3D</p>	<p><i>Resultado final.</i></p>

1.2.3. DISEÑO DISCO SALIDA ETAPA COMPLETA

CAPTURA	OPERACIÓN	DESCRIPCIÓN
	BOCETO 2D	<p><i>Dibujo del boceto que representa el diámetro exterior máximo del disco para evitar interferencias con los pines de la carcasa.</i></p>
	EXTRUSIÓN	<p><i>Creación del cuerpo inicial del disco.</i></p>
	VACIADO INTERIOR	<p><i>Creación del agujero inicial de rodadura de los pines de acero del engranaje central.</i></p>
	PATRÓN CIRCULAR	<p><i>Operación de repetición para la creación de los 3 agujeros de rodadura de los pines de acero del engranaje central.</i></p>
	EXTRUSIÓN	<p><i>Adición de material en una de las caras para cubrir los agujeros y a continuación crear el eje excéntrico de inicio de la siguiente etapa.</i></p>

	<p>EXTRUSIÓN</p>	<p><i>Creación del eje excéntrico a insertar en el engranaje central de la siguiente etapa.</i></p>
	<p>VISTA 3D</p>	<p><i>Resultado final.</i></p>

ANEXO II. GUÍA DE DISEÑO DEL PAR DE ENGRANAJE CÓNICO-RECTO EN AUTODESK INVENTOR PROFESSIONAL 2017

Este apartado anexo a la memoria tiene como función mostrar el proceso de diseño seguido en uno de los componentes más importantes del prototipo, el par de engranajes cónico recto.

A continuación, se va a describir de forma esquemática el proceso de diseño seguido para la creación de:

- ENGRANAJE CÓNICO RECTO - PIÑÓN
- ENGRANAJE CÓNICO RECTO - CORONA

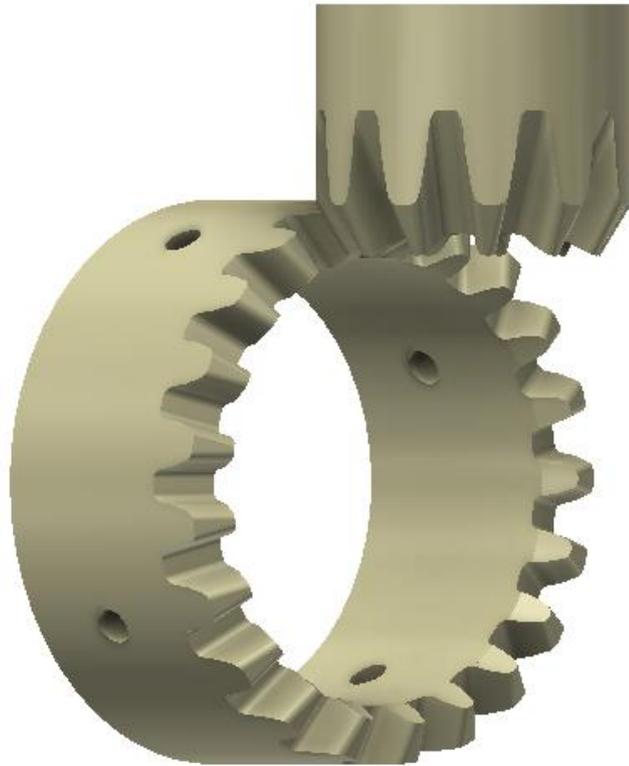


Ilustración 130: Diseño par engranaje cónico-recto

1. PARÁMETROS Y PROCESO DE DISEÑO

En primer lugar, se definen los parámetros iniciales necesarios para la realización del diseño y a continuación se procede a detallar de forma esquemática el proceso seguido en cada componente.

1.1. PARÁMETROS DE DISEÑO

La siguiente tabla muestra los parámetros iniciales de diseño introducidos en AUTODESK INVENTOR PROFESSIONAL 2017:

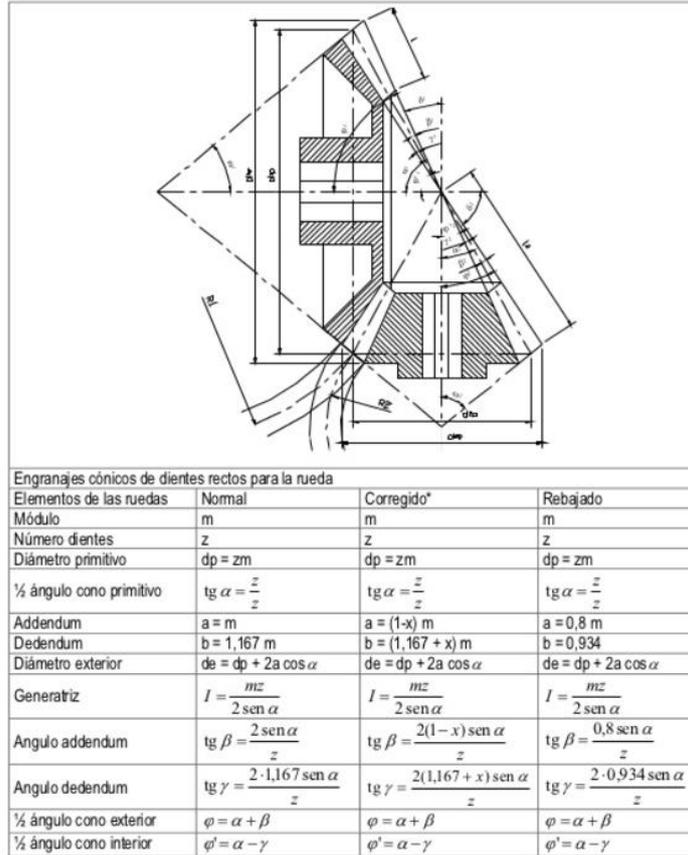


Ilustración 131: Esquema diseño par engranaje cónico-recto

COMPONENTE		PIÑÓN	CORONA	
PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR		UD
MÓDULO	M	1,75		-
NÚMERO DE DIENTES	z	11	21	-
DIÁMETRO PRIMITIVO	Dp	19,25	36,75	mm
DIÁMETRO EXTERIOR	De	21,02	37,68	mm
DIÁMETRO DE RAÍZ	Dr	17,0825	33,7425	mm
ÁNGULO DE PRESIÓN	φ	20		°
ÁNGULO CONICIDAD	α	27,65	62,35	°

1

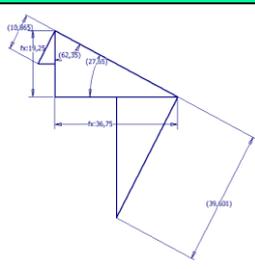
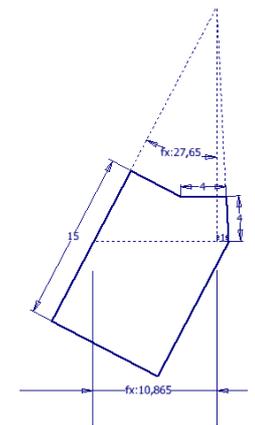
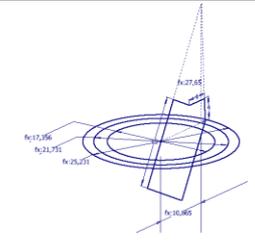
Ilustración 132: Datos introducidos diseño par engranaje cónico-recto

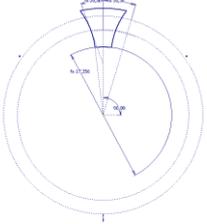
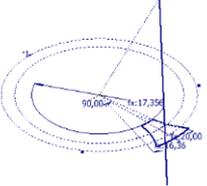
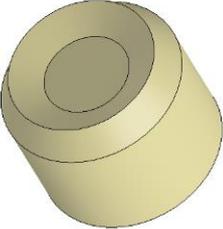
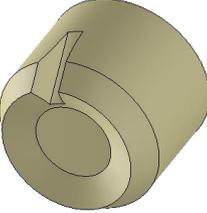
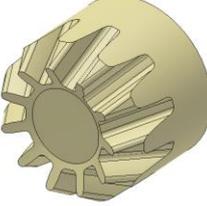
1.2. PROCESO DE DISEÑO

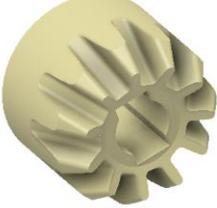
El proceso de diseño ha seguido un método gráfico basado en el cono primitivo que forma un par de engranajes cónicos (semiángulos del cual son los ángulos de conicidad introducidos, los cuales suman 90°), concretamente en la base mayor de éste a partir de la cual se define el dentado de piñón y corona. Esto es debido a que cuando se proyectan sobre el perfil complementario, tienen la misma forma que la de un engranaje cilíndrico de dientes rectos, el cual tiene un radio primitivo igual a la generatriz del cono complementario. Así pues, mediante la simple proyección del diente, definido como el de un engranaje cilíndrico, tomando como eje de proyección la mencionada generatriz, sobre el perfil cónico especial generado, se obtienen los componentes deseados. Añadir que el proceso seguido es idéntico en ambos casos.

A continuación, se muestran gráficamente los pasos seguidos para el diseño de ambos componentes.

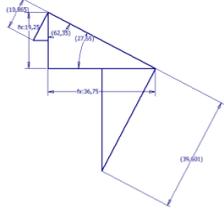
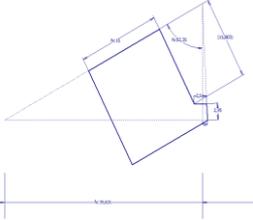
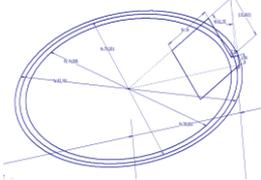
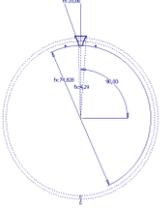
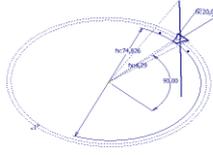
1.2.1. DISEÑO ENGRANAJE CÓNICO RECTO: PIÑÓN

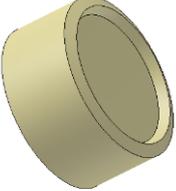
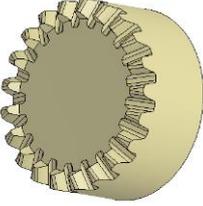
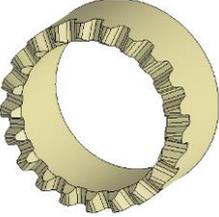
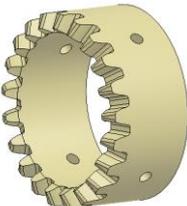
CAPTURA	OPERACIÓN	DESCRIPCIÓN
	<p>BOCETO 2D</p>	<p><i>Dibujo del boceto que representa los diámetros principales del dentado cónico, y los ángulos cónicos de piñón y corona.</i></p>
	<p>BOCETO 2D</p>	<p><i>Dibujo de la sección de forma cónica especial que va a tener el piñón.</i></p>
	<p>VISTA 3D</p>	<p><i>Representación de los bocetos anteriores en 3D.</i></p>

	BOCETO 2D	<p><i>Dibujo de la sección del espacio entre dientes, que coincide con el de un engranaje cilíndrico.</i></p>
	BOCETO 3D	<p><i>Representación de la generatriz, patrón de la futura operación de barrido para obtener el espacio entre dientes del engranaje.</i></p>
	REVOLUCIÓN	<p><i>Obtención del cuerpo principal del engranaje.</i></p>
	BARRIDO	<p><i>Vaciado exterior trazado siguiendo la generatriz representada a partir de la sección dibujada para obtener el espacio entre dos dientes.</i></p>
	EMPALME	<p><i>Redondeo de aristas para evitar problemas de engrane.</i></p>
	PATRÓN CIRCULAR	<p><i>Operación de repetición, concretamente de 11 veces la operación de vaciado del espacio entre dientes.</i></p>
	VACIADO INTERIOR	<p><i>Operación de eliminación de material interior para dar forma al espacio donde insertar el eje estándar.</i></p>

	<p>VISTA 3D</p>	<p><i>Resultado final.</i></p>
---	------------------------	--------------------------------

1.2.2. DISEÑO ENGRANAJE CÓNICO RECTO: CORONA

CAPTURA	OPERACIÓN	DESCRIPCIÓN
	<p>BOCETO 2D</p>	<p><i>Dibujo del boceto que representa los diámetros principales del dentado cónico, y los ángulos cónicos de piñón y corona.</i></p>
	<p>BOCETO 2D</p>	<p><i>Dibujo de la sección de forma cónica especial que va a tener la corona.</i></p>
	<p>VISTA 3D</p>	<p><i>Representación de los bocetos anteriores en 3D.</i></p>
	<p>BOCETO 2D</p>	<p><i>Dibujo de la sección del espacio entre dientes, que coincide con el de un engranaje cilíndrico.</i></p>
	<p>BOCETO 3D</p>	<p><i>Representación de la generatriz, patrón de la futura operación de barrido para obtener el espacio entre dientes del engranaje.</i></p>

	REVOLUCIÓN	<i>Obtención del cuerpo principal del engranaje</i>
	BARRIDO	<i>Vaciado exterior trazado siguiendo la generatriz representada a partir de la sección dibujada para obtener el espacio entre dos dientes.</i>
	EMPALME	<i>Redondeo de aristas para evitar problemas de engrane.</i>
	PATRÓN CIRCULAR	<i>Operación de repetición, concretamente de 21 veces la operación de vaciado del espacio entre dientes.</i>
	VACIADO INTERIOR	<i>Operación de eliminación de material interior para dar forma al espacio donde insertar el eje del pedalier.</i>
	AGUJERO	<i>Creación del agujero donde se insertan los tornillos de sujeción de la corona al eje del pedalier.</i>
	PATRÓN CIRCULAR	<i>Creación de todos los agujeros de sujeción de la corona.</i>

	<p>VISTA 3D</p>	<p><i>Resultado final.</i></p>
---	------------------------	--------------------------------

ANEXO III. CÁLCULO ELEMENTOS FINITOS COMPONENTES POTENCIALMENTE CRÍTICOS

En este apartado anexo a la memoria se muestra el análisis por el método de los elementos finitos realizado a algunos de los componentes considerados más críticos de la transmisión mecánica de la potencia del motor.

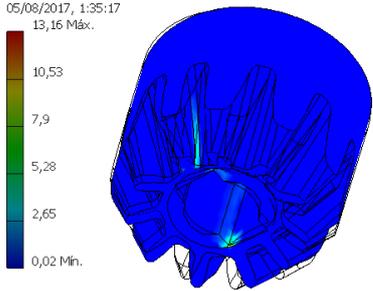
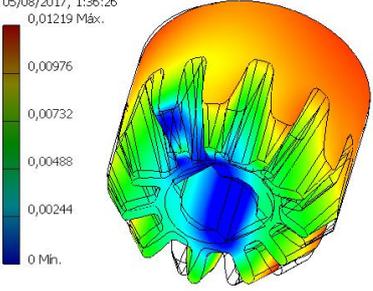
IMPORTANTE: Los análisis que van a mostrarse no afectan directamente al diseño del prototipo desarrollado en el proyecto, ya que como se ha mencionado más de una vez, éste queda exento de cualquier prueba de resistencia mecánica bajo tensiones estáticas o de fatiga, a causa de que el material empleado en su fabricación únicamente es válido para realizar pruebas de interferencias mecánicas, y con ello verificar que el sistema propuesto es apto, cinemáticamente hablando.

Por el contrario, los análisis a continuación mostrados sí que afectarían en el hipotético caso de la realización del proyecto de industrialización del prototipo aquí diseñado. Es por ello que los análisis realizados han sido sometiendo a esfuerzos escalados (1N, 1Nm o 0.5 MPa) al material empleado en el diseño, el filamento plástico PLA, con el fin de mostrar de forma gráfica aquellas zonas susceptibles de fallo.

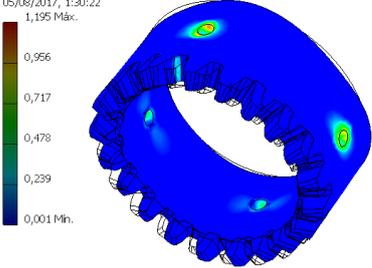
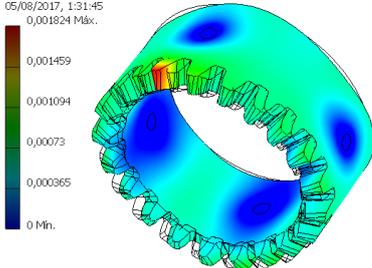
Los componentes sometidos a análisis van a ser el piñón y la corona del par de engranaje, el eje excéntrico de entrada, el disco de salida etapa completa, el disco de salida final completa, el engranaje central y el engranaje exterior-carcasa.

A continuación, se muestran unas tablas con los análisis realizados:

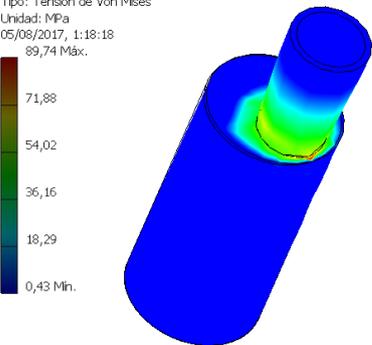
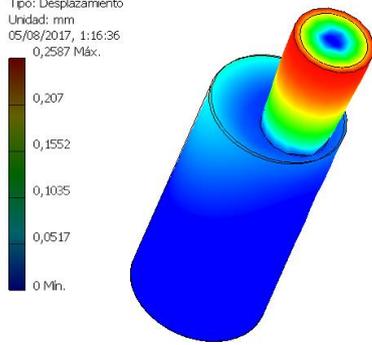
1. ANÁLISIS MEF PIÑÓN CÓNICO RECTO

TENSIÓN DE VON MISES	DESPLAZAMIENTO	OBSERVACIONES
<p>Tipo: Tensión de Von Mises Unidad: MPa 05/08/2017, 1:35:17 13,16 Máx.</p> 	<p>Tipo: Desplazamiento Unidad: mm 05/08/2017, 1:36:26 0,01219 Máx.</p> 	<p><i>La zona más crítica del piñón se encuentra en la base del diente en contacto con la corona (se ha establecido uno como máximo por estar del lado de la seguridad), debido a su reducido tamaño, y en el interior del vaciado donde insertar el eje del motorreductor.</i></p>

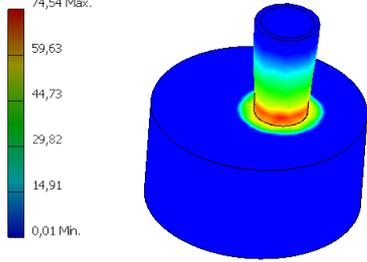
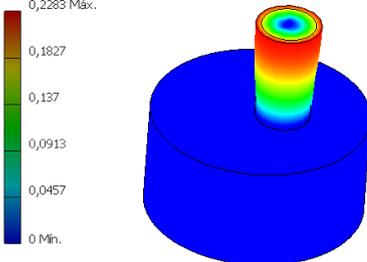
2. ANÁLISIS MEF CORONA CÓNICO RECTO

TENSIÓN DE VON MISES	DESPLAZAMIENTO	OBSERVACIONES
<p>Tipo: Tensión de Von Mises Unidad: MPa 05/08/2017, 1:30:22 1,195 Máx.</p> 	<p>Tipo: Desplazamiento Unidad: mm 05/08/2017, 1:31:45 0,001824 Máx.</p> 	<p><i>Las zonas más críticas de la corona son el dentado en contacto con el piñón, también uno solo, y los agujeros de los tornillos de cabeza perdida para fijarse al eje del pedalier, aunque parece ser que por ser 4 el esfuerzo está bien repartido.</i></p>

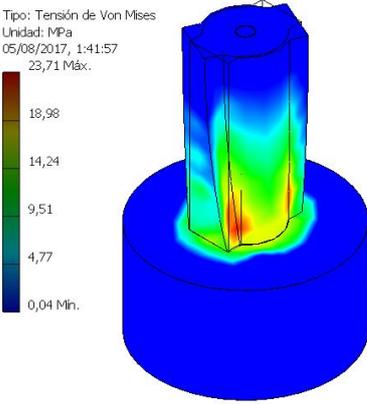
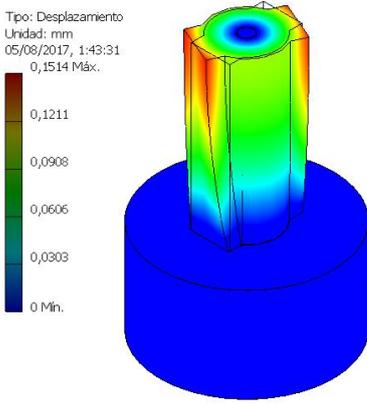
3. ANÁLISIS MEF EJE EXCÉNTRICO

TENSIÓN DE VON MISES	DESPLAZAMIENTO	OBSERVACIONES
<p>Tipo: Tensión de Von Mises Unidad: MPa 05/08/2017, 1:18:18 89,74 Máx.</p> 	<p>Tipo: Desplazamiento Unidad: mm 05/08/2017, 1:16:36 0,2587 Máx.</p> 	<p><i>La zona más crítica del eje excéntrico se encuentra en el cambio de sección y más concretamente en la zona más cercana a la superficie exterior de mayor diámetro.</i></p>

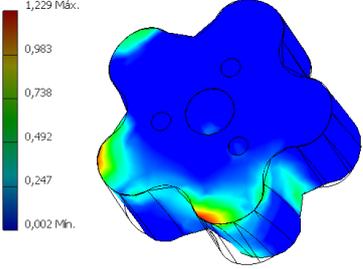
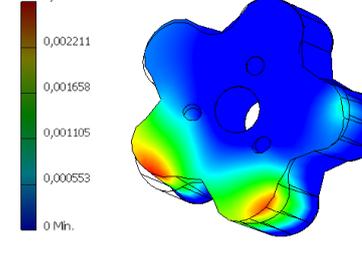
4. ANÁLISIS MEF DISCO DE SALIDA ETAPA COMPLETA

TENSIÓN DE VON MISES	DESPLAZAMIENTO	OBSERVACIONES
<p>Tipo: Tensión de Von Mises Unidad: MPa 05/08/2017, 1:48:03 74,54 Máx.</p> 	<p>Tipo: Desplazamiento Unidad: mm 05/08/2017, 1:48:36 0,2283 Máx.</p> 	<p><i>Con el disco de salida completa ocurre exactamente igual que con el eje excéntrico, pero más acuciado debido al mayor cambio de sección.</i></p>

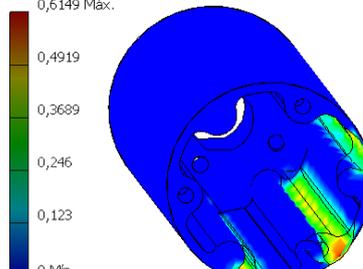
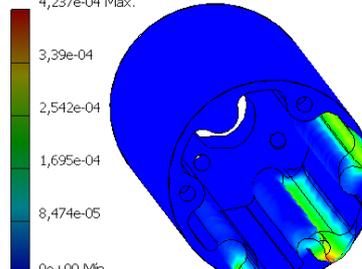
5. ANÁLISIS MEF DISCO DE SALIDA FINAL COMPLETA

TENSIÓN DE VON MISES	DESPLAZAMIENTO	OBSERVACIONES
<p>Tipo: Tensión de Von Mises Unidad: MPa 05/08/2017, 1:41:57 23,71 Máx.</p> 	<p>Tipo: Desplazamiento Unidad: mm 05/08/2017, 1:43:31 0,1514 Máx.</p> 	<p><i>La zona más crítica del disco de salida final completa corresponde al cambio de sección entre la zona que actúa de chaveta para el eje y el propio eje, aunque es un inconveniente menor al que ocurriría de patinar el eje por tener una menor sección de chaveta.</i></p>

6. ANÁLISIS MEF ENGRANAJE CENTRAL

TENSIÓN DE VON MISES	DESPLAZAMIENTO	OBSERVACIONES
<p>Tipo: Tensión de Von Mises Unidad: MPa 26/08/2017, 1:21:09 1,229 Máx. 0,983 0,738 0,492 0,247 0,002 Min.</p> 	<p>Tipo: Desplazamiento Unidad: mm 26/08/2017, 1:23:33 0,002764 Máx. 0,002211 0,001658 0,001105 0,000553 0 Min.</p> 	<p><i>Las zonas críticas del engranaje central son las caras de contacto con el engranaje exterior, concretamente en los cantos de la pieza que actúan de concentradores de tensión al no estar éstos redondeados.</i></p>

7. ANÁLISIS MEF ENGRANAJE EXTERIOR-CARCASA

TENSIÓN DE VON MISES	DESPLAZAMIENTO	OBSERVACIONES
<p>Tipo: Tensión de Von Mises Unidad: MPa 26/08/2017, 1:43:39 0,6149 Máx. 0,4919 0,3689 0,246 0,123 0 Min.</p> 	<p>Tipo: Desplazamiento Unidad: mm 26/08/2017, 1:44:42 4,237e-04 Máx. 3,39e-04 2,542e-04 1,695e-04 8,474e-05 0e+00 Min.</p> 	<p><i>Las zonas más críticas del engranaje exterior son aquellas caras de contacto con el engranaje central, siendo más notables en los extremos superiores que inferiores a causa del decremento de material. Notar que el análisis se ha realizado para una única etapa de contacto en un instante determinado donde engranan 3 lóbulos simultáneamente (teórico).</i></p>

CÓDIGO IMPLEMENTADO

Mediante Arduino IDE se ha realizado la siguiente programación para el control del variador:

```

CONTROL_BRUSHLESS_BT | Arduino 1.0.5-r2
Archivo Editar Sketch Herramientas Ayuda
CONTROL_BRUSHLESS_BT
#include <SoftwareSerial.h> // Librerías con software de transmisión (TX) y recepción (RX)
// de datos por bluetooth.
#include <Servo.h> // Librería software control de servos (para el variador es válida).
Servo ESC; // Nombre del "Servo", en este caso el variador.
SoftwareSerial BT(10,11); // Salidas PWM 10 y 11 como puerto serie.

const int vel_nula = 1000; // Ancho del pulso PWM : NULO 1000
const int vel_lenta = 1330; // Ancho del pulso PWM : LENTO 1330
const int vel_media = 1350; // Ancho del pulso PWM : MEDIO 1350
const int vel_rapida = 1390; // Ancho del pulso PWM : RÁPIDO 1390

int vel_selec = 0; // Inicializar variable velocidad a cero.

void setup() {

ESC.attach(9); // Asignar salida PWM 9 como salida de señal de control del servo.

Serial.begin(57600); // Configurar velocidad transmisión de datos bluetooth.
BT.begin(57600);

ESC.writeMicroseconds(1000); // Señal inicial activación ESC (Variador).
delay(1000);

}

void loop() { // Lectura de la señal bluetooth y escritura a través del puerto usb serial.

if(BT.available() > 0) // Recepción de número a través de la señal bluetooth.
{
int boton_selec = BT.parseInt(); // Almacena valor del tipo de velocidad elegida que se ha leído.

switch (boton_selec) { // Según valor leído entre 1 y 4, se asigna una velocidad al motor.
case 1:
vel_selec = vel_lenta;
break;

case 2:
vel_selec = vel_media;
break;

case 3:
vel_selec = vel_rapida;
break;

case 4:
vel_selec = vel_nula;
break;

default: // En caso de ser un valor distinto a los nombrados se detiene el motor.
vel_selec = vel_nula;
break;
}

Serial.println(vel_selec); // MODO TEST : Visualización de los valores enviados por monitor serie.
ESC.writeMicroseconds(vel_selec); // Función de escritura en el variador de la velocidad escogida.
}

}

```

Ilustración 134: Capturas código control en Arduino IDE

ANEXO V. MÓDULO BLUETOOTH HC-05: CONFIGURACIÓN INICIAL

Para realizar la configuración inicial del módulo HC-05, primero hay que conectarlo de una forma específica para que entre en modo de configuración, y posteriormente mediante el envío de los comandos AT oportunos ("ATENCIÓN", comandos estandarizados para la configuración de módulos inalámbricos), se procederá a la configuración de los parámetros del mismo.

ESQUEMA DE CONEXIÓN

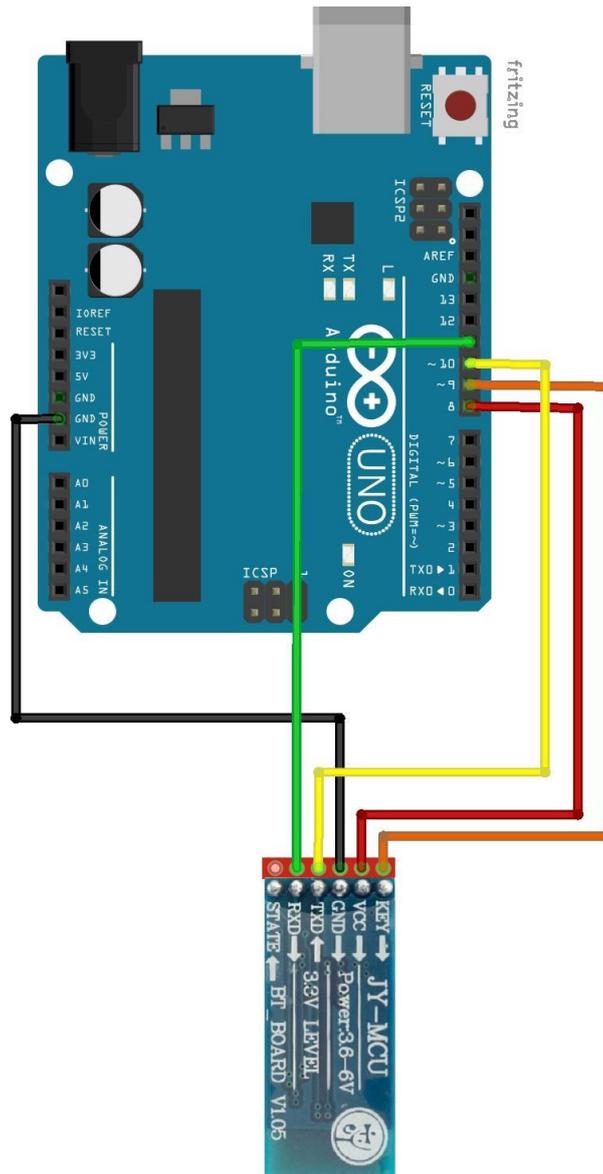


Ilustración 135: Conexión configuración inicial Arduino-módulo HC-05

CONFIGURACIÓN INICIAL

En primer lugar, hay que cargar el siguiente programa, testeado, probado y publicado en la web del proveedor escogido en la adquisición del módulo, en la placa mediante Arduino IDE, el software de programación de Arduino:

```
#include <SoftwareSerial.h>

SoftwareSerial BT1(10, 11); // RX | TX

void setup()
{
  pinMode(8, OUTPUT);
  pinMode(9, OUTPUT); // Al poner en HIGH forzaremos el modo AT
  digitalWrite(9, HIGH); // cuando se alimente de aqui
  delay (500) ; // Espera antes de encender el modulo
  Serial.begin(9600);

  Serial.println("Levantando el modulo HC-05");
  digitalWrite (8, HIGH); //Enciende el modulo

  Serial.println("Esperando comandos AT:");
  BT1.begin(57600);
}

void loop()
{
  // Keep reading from HC-05 and send to Arduino Serial Monitor
  if (BT1.available())
    Serial.write(BT1.read());

  // Keep reading from Arduino Serial Monitor and send to HC-05
  if (Serial.available())
    BT1.write(Serial.read());
}
```

Ilustración 136: Captura código para configuración inicial HC-05 en Arduino IDE

RESUMEN DE FUNCIONAMIENTO: Básicamente la placa entre en modo de configuración cuando el PIN 8 está en estado HIGH, y esto se consigue a partir del PIN 9.

PARAMETRIZACIÓN MEDIANTE COMANDOS AT

A partir del monitor serial de Arduino IDE se realiza el envío y recepción de comandos.

Para el funcionamiento del prototipo únicamente se ha cambiado la contraseña, la velocidad de envío y recepción de datos, a 57600bps, y el modo de funcionamiento, a modo esclavo, manteniéndose el resto de parámetros por defecto.

Los comandos enviados para configurarlo han sido los siguientes:

AT+BAUDX,: Fija la velocidad de comunicación entre el módulo y la consola de acuerdo a la siguiente tabla:

COMANDO	X	VELOCIDAD (bps)
AT+BAUD	1	1200
AT+BAUD	2	2400
AT+BAUD	3	4800
AT+BAUD	4	9600*
AT+BAUD	5	19200
AT+BAUD	6	38400
AT+BAUD	7	57600
AT+BAUD	8	115200

*POR DEFECTO

COMANDO ENVIADO: **AT+BAUD7**

AT+PINXXXX: Configura el número de identificación personal, que se requerirá para establecer la vinculación.

COMANDO ENVIADO: **AT+PIN2891**

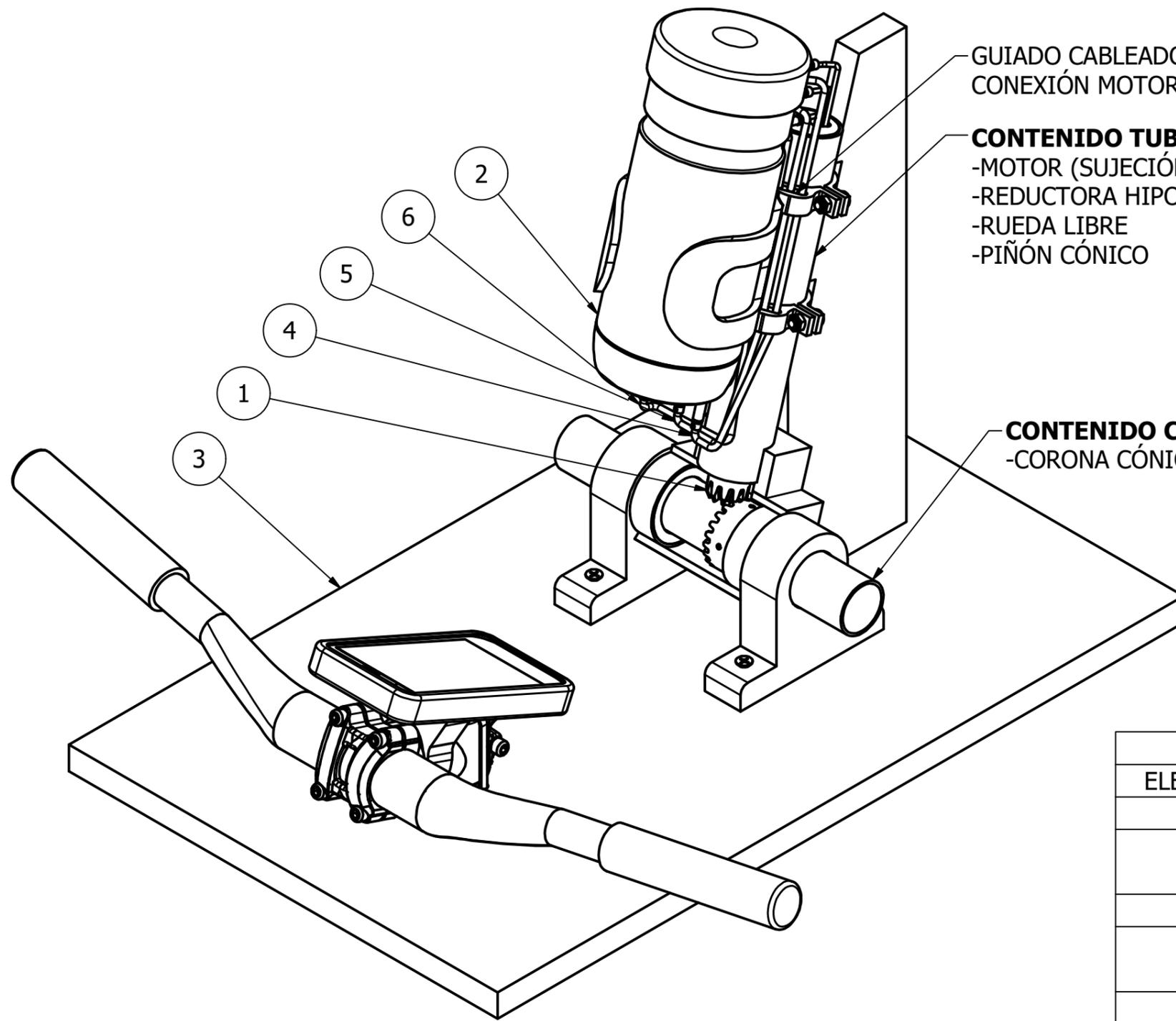
AT+ROLE0: Configura el módulo como Slave (esclavo).

COMANDO ENVIADO: **AT+ROLE0**

PLANOS

1. LISTADO DE PLANOS

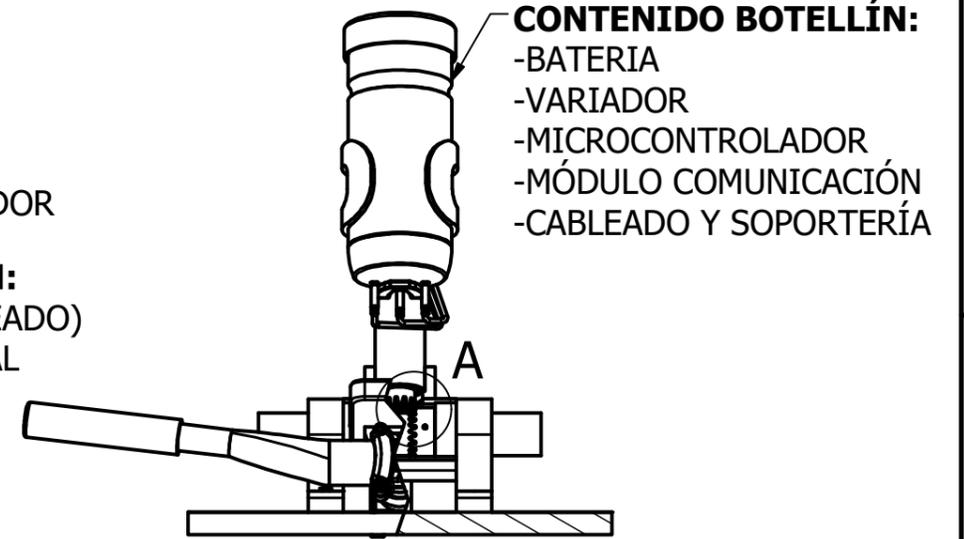
Nº PLANO	DESCRIPCIÓN	TIPO	FORMATO
1	PROTOTIPO	Conjunto	A3
1.1	SISTEMA MOTRIZ	Conjunto	A3
1.1.1	REDUCTORA HIPOCICLOIDAL	Conjunto	A3
1.1.1.1	EJE EXCÉNTRICO	Pieza	A4
1.1.1.2	SEPARADOR MOTOR CARCASA	Pieza	A4
1.1.1.3	ENGRANAJE CENTRAL	Pieza	A4
1.1.1.4	ENGRANAJE EXTERIOR CARCASA	Pieza	A4
1.1.1.5	DISCO SALIDA ETAPA COMPLETA	Pieza	A4
1.1.1.6	DISCO SALIDA FINAL COMPLETA	Pieza	A4
1.1.1.7	TAPA PROTECCIÓN INTERIOR	Pieza	A4
1.1.1.8	TAPA PROTECCIÓN EXTERIOR	Pieza	A4
1.1.1.9	SEPARADOR REDUCTORA RL	Pieza	A4
1.1.1.10	CIERRE SUJECIÓN RL	Pieza	A4
1.1.2	PAR ENGRANAJE	Conjunto	A3
1.1.2.1	PIÑÓN CÓNICO RECTO	Pieza	A4
1.1.2.2	CORONA CÓNICO RECTO	Pieza	A4
1.1.3	RUEDA LIBRE	Conjunto	A3
1.1.3.1	CORONA RL	Pieza	A4
1.1.3.2	ENGRANAJE RL	Pieza	A4
1.1.3.3	UÑETA RL	Pieza	A4
1.1.3.4	TAPA PROTECCIÓN RL	Pieza	A4
1.1.3.5	SEPARADOR RL PIÑÓN	Pieza	A4
1.1.3.6	CIERRE SUJECIÓN PIÑÓN CÓNICO	Pieza	A4
1.2	SISTEMA ELÉCTRICO SOPORTERÍA	Conjunto	A3
1.2.1	SOPORTE COMPONENTES ELÉCTRICOS	Conjunto	A3
1.2.1.1	SOPORTE BATERÍA INICIAL	Pieza	A4
1.2.1.2	SOPORTE BATERÍA MEDIO INFERIOR	Pieza	A4
1.2.1.3	SOPORTE BATERÍA MEDIO SUPERIOR	Pieza	A4
1.2.1.4	SOPORTE BATERÍA FINAL	Pieza	A4
1.2.2	ABRAZADERAS TUBO SILLÍN	Conjunto	A3
1.2.2.1	ABRAZADERA TUBO	Pieza	A4
1.2.2.2	ABRAZADERA TUBO 2	Pieza	A4
1.2.3	SUJECIÓN MOTOR	Conjunto	A3
1.2.3.1	TAPÓN MOTOR	Pieza	A4
1.3	BANCADA COMPLETA	Conjunto	A3
1.3.1	BANCADA PROTOTIPO	Conjunto	A3
1.3.1.1	BASE SOPORTE	Pieza	A4
1.3.1.2	TUBO SILLÍN	Pieza	A4
1.3.1.3	TUBO EJE PEDALIER	Pieza	A4
1.3.1.4	TUBO CAJA PEDALIER	Pieza	A4
1.3.1.5	UNIÓN T TUBOS	Pieza	A4
1.3.1.6	SOPORTE EJE PEDALIER	Pieza	A4
2	CONEXIONADO ELÉCTRICO	Esquema	A3



GUIADO CABLEADO
CONEXIÓN MOTOR Y VARIADOR

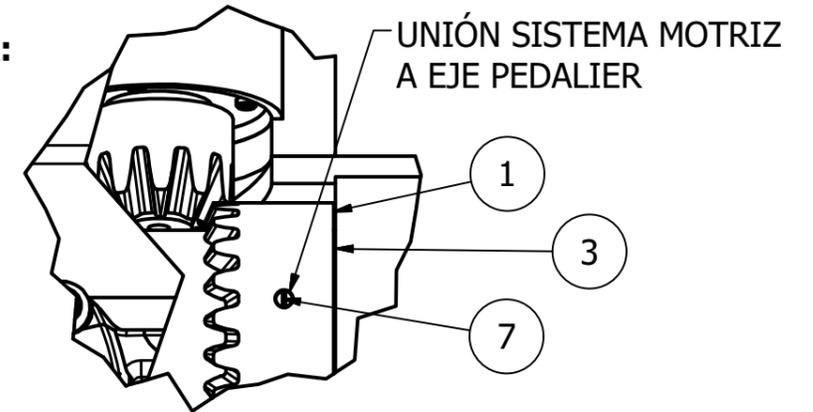
CONTENIDO TUBO SILLÍN:
-MOTOR (SUJECIÓN Y CABLEADO)
-REDUCTORA HIPOCICLOIDAL
-RUEDA LIBRE
-PIÑÓN CÓNICO

CONTENIDO CAJA PEDALIER:
-CORONA CÓNICA Y SUJECIÓN



CONTENIDO BOTELLÍN:
-BATERIA
-VARIADOR
-MICROCONTROLADOR
-MÓDULO COMUNICACIÓN
-CABLEADO Y SOPORTERÍA

A (1:1)



UNIÓN SISTEMA MOTRIZ
A EJE PEDALIER

PESO : 4,785 kg

LISTA DE PIEZAS

ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	1.1	SISTEMA MOTRIZ
2	1	1.2	SIST. ELECTRICO Y SOPORTERIA
3	1	1.3	BANCADA COMPLETA
4	1	TURNIGY W. ASSEMBLY	CABLE MOTOR AMARILLO
5	1	TURNIGY W. ASSEMBLY	CABLE MOTOR NEGRO
6	1	TURNIGY W. ASSEMBLY	CABLE MOTOR ROJO
7	4	DIN 427 - M3 x 8	TORNILLO SIN CABEZA

Diseñado, revisado y aprobado por:
Sergi Piquer Cano

Elementos de unión :
Estándar DIN/ISO

Escala dibujo :
1 : 5

Fecha dibujo :
13/08/2017



PROTOTIPO



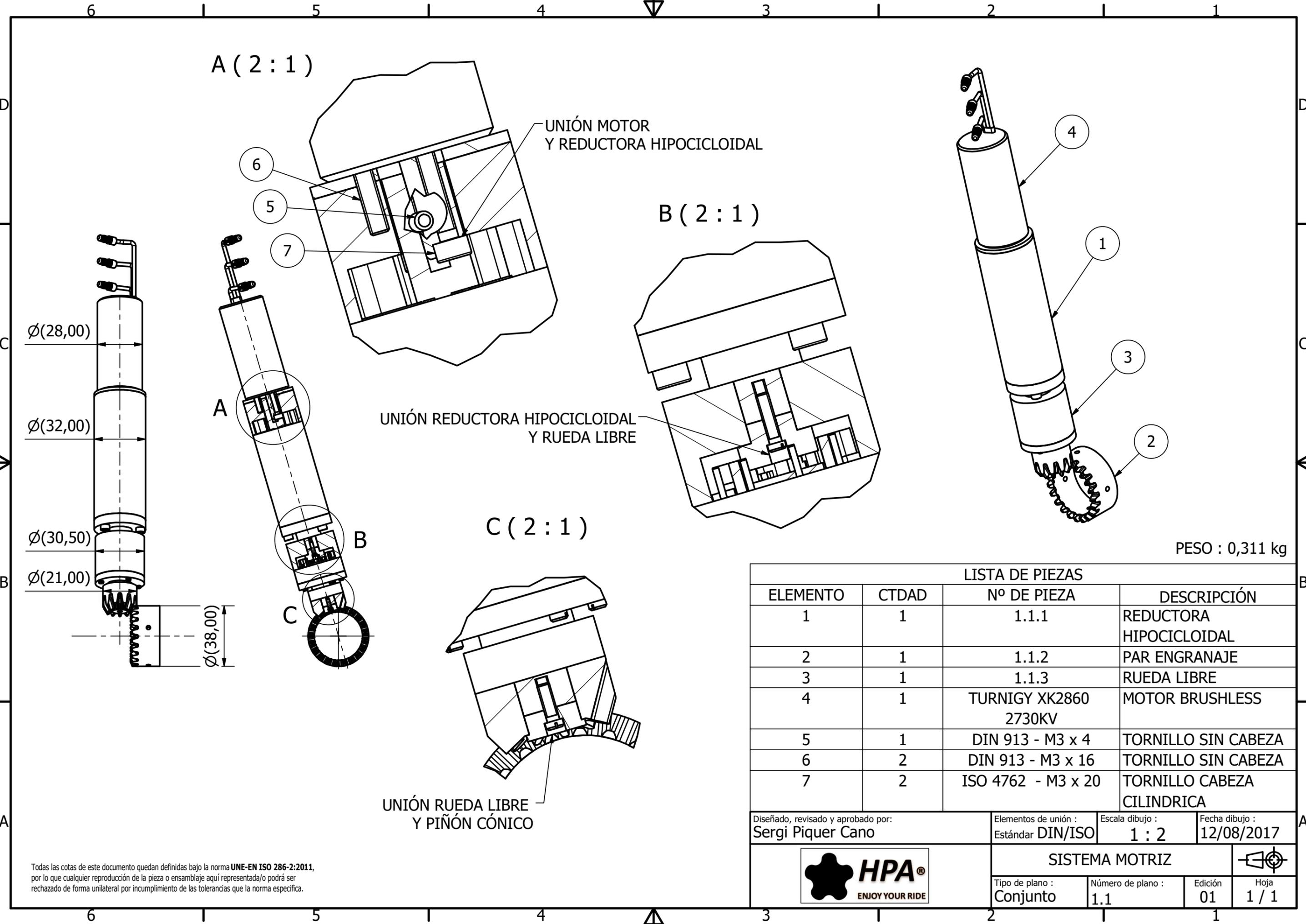
Tipo de plano :
Conjunto

Número de plano :
1

Edición
01

Hoja
1 / 1

Todas las cotas de este documento quedan definidas bajo la norma UNE-EN ISO 286-2:2011, por lo que cualquier reproducción de la pieza o ensamble aquí representada/o podrá ser rechazado de forma unilateral por incumplimiento de las tolerancias que la norma especifica.



A (2 : 1)

UNIÓN MOTOR Y REDUCTORA HIPOCICLOIDAL

B (2 : 1)

UNIÓN REDUCTORA HIPOCICLOIDAL Y RUEDA LIBRE

C (2 : 1)

UNIÓN RUEDA LIBRE Y PIÑÓN CÓNICO

PESO : 0,311 kg

LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	1.1.1	REDUCTORA HIPOCICLOIDAL
2	1	1.1.2	PAR ENGRANAJE
3	1	1.1.3	RUEDA LIBRE
4	1	TURNIGY XK2860 2730KV	MOTOR BRUSHLESS
5	1	DIN 913 - M3 x 4	TORNILLO SIN CABEZA
6	2	DIN 913 - M3 x 16	TORNILLO SIN CABEZA
7	2	ISO 4762 - M3 x 20	TORNILLO CABEZA CILINDRICA

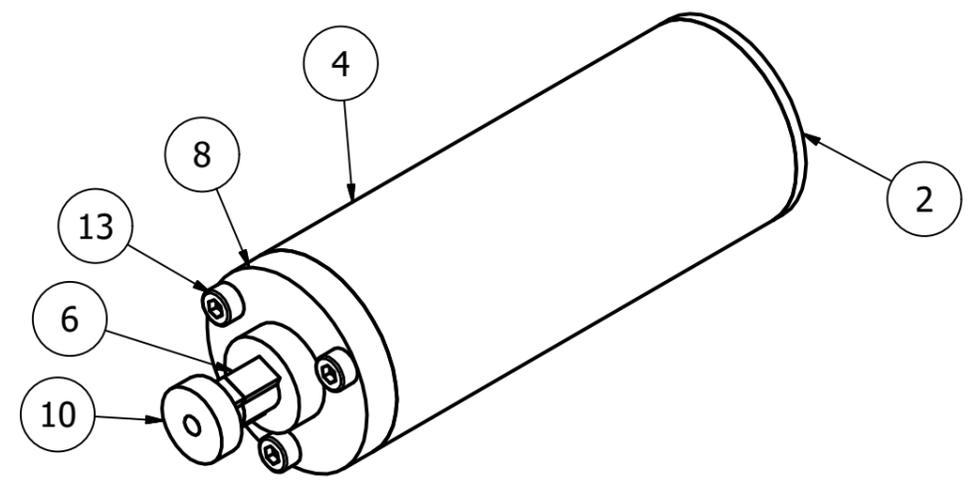
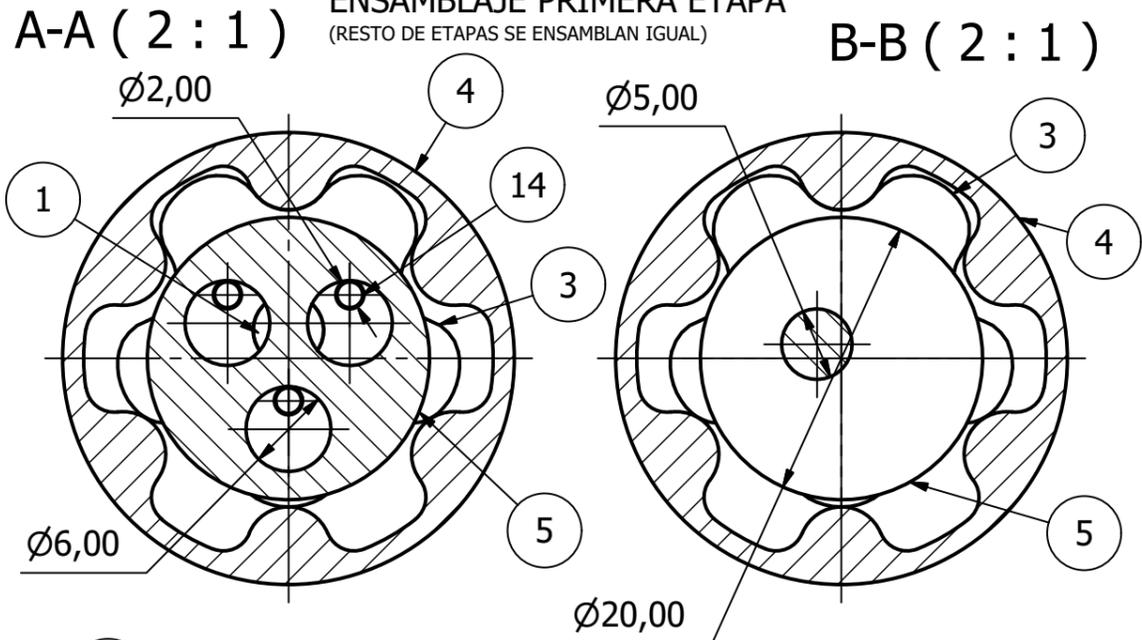
Diseñado, revisado y aprobado por: Sergi Piquer Cano	Elementos de unión : Estándar DIN/ISO	Escala dibujo : 1 : 2	Fecha dibujo : 12/08/2017
--	---	---------------------------------	-------------------------------------



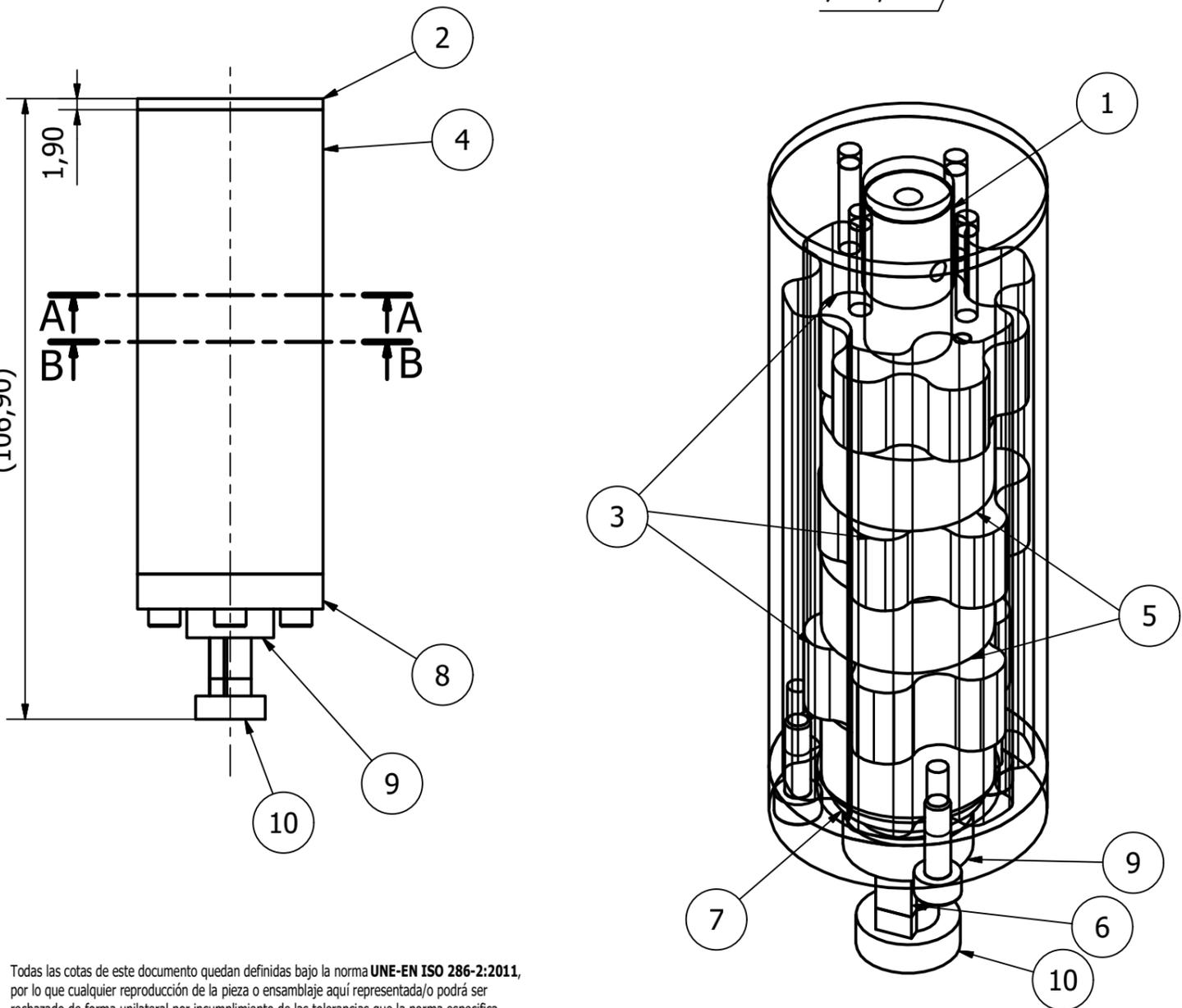
SISTEMA MOTRIZ			
Tipo de plano : Conjunto	Número de plano : 1.1	Edición 01	Hoja 1 / 1

Todas las cotas de este documento quedan definidas bajo la norma **UNE-EN ISO 286-2:2011**, por lo que cualquier reproducción de la pieza o ensamble aquí representada/o podrá ser rechazado de forma unilateral por incumplimiento de las tolerancias que la norma especifica.

ENSAMBLAJE PRIMERA ETAPA
(RESTO DE ETAPAS SE ENSAMBLAN IGUAL)



PESO : 0,074 kg



LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	1.1.1.1	EJE EXCENTRICO
2	1	1.1.1.2	SEPARADOR MOTOR CARCASA
3	3	1.1.1.3	ENGRANAJE CENTRAL
4	1	1.1.1.4	ENGRANAJE EXTERIOR CARCASA
5	2	1.1.1.5	DISCO SALIDA ETAPA COMPETA
6	1	1.1.1.6	DISCO SALIDA FINAL COMPLETA
7	1	1.1.1.7	TAPA PROTECCION INTERIOR
8	1	1.1.1.8	TAPA PROTECCION EXTERIOR
9	1	1.1.1.9	SEPARADOR REDUCTORA RL
10	1	1.1.1.10	CIERRE SUJECIÓN RL
12	1	DIN 920 - M2 x 8	TORNILLO CABEZA RANURADA
13	3	ISO 4762 - M3 x 10	TORNILLO CABEZA CILINDRICA
14	9	ISO 8734 - 2 x 14 - A	PASADOR CILINDRICO

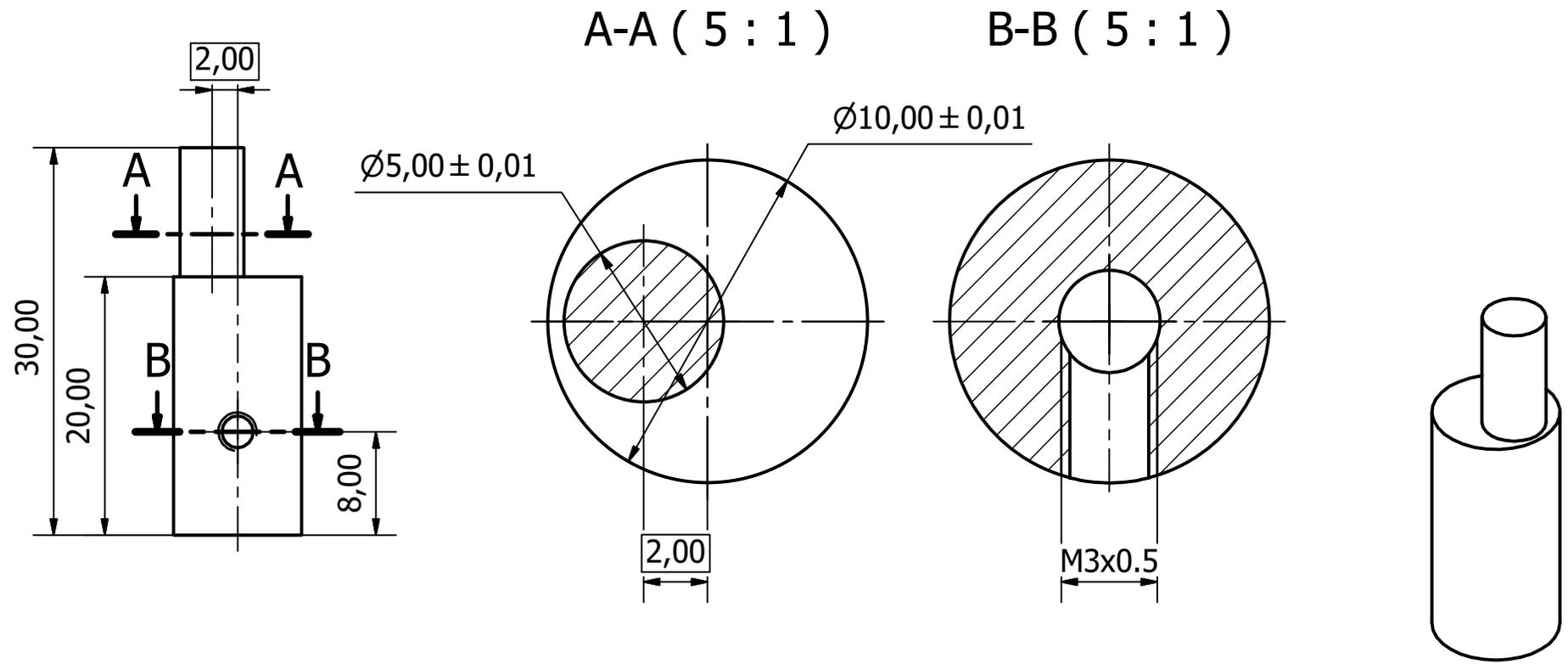
Diseñado, revisado y aprobado por: **Sergi Piquer Cano**
 Elementos de unión : Estándar **DIN/ISO**
 Escala dibujo : **1 : 1**
 Fecha dibujo : **12/08/2017**



REDUCTORA HIPOCICLOIDAL
 Tipo de plano : **Conjunto**
 Número de plano : **1.1.1**
 Edición : **01**
 Hoja : **1 / 1**

Todas las cotas de este documento quedan definidas bajo la norma **UNE-EN ISO 286-2:2011**, por lo que cualquier reproducción de la pieza o ensamble aquí representada/o podrá ser rechazado de forma unilateral por incumplimiento de las tolerancias que la norma especifica.

Parámetros impresión 3D	Ø Filamento	Temperatura extrusión	Velocidad impresión	Densidad relleno	Ø Boquilla	Grosor capa	Grosor pared	Grosor base inf/sup
Piezas L<25mm	3,0 mm	210 °C	30 mm/s	20 %	0,4 mm	0,15 mm	1,0 mm	0,8 mm
Piezas L>25mm					0,6 mm	0,20 mm	1,2 mm	1,0 mm

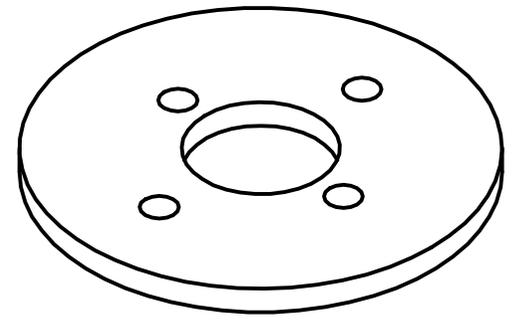
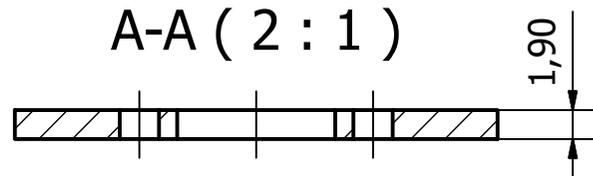
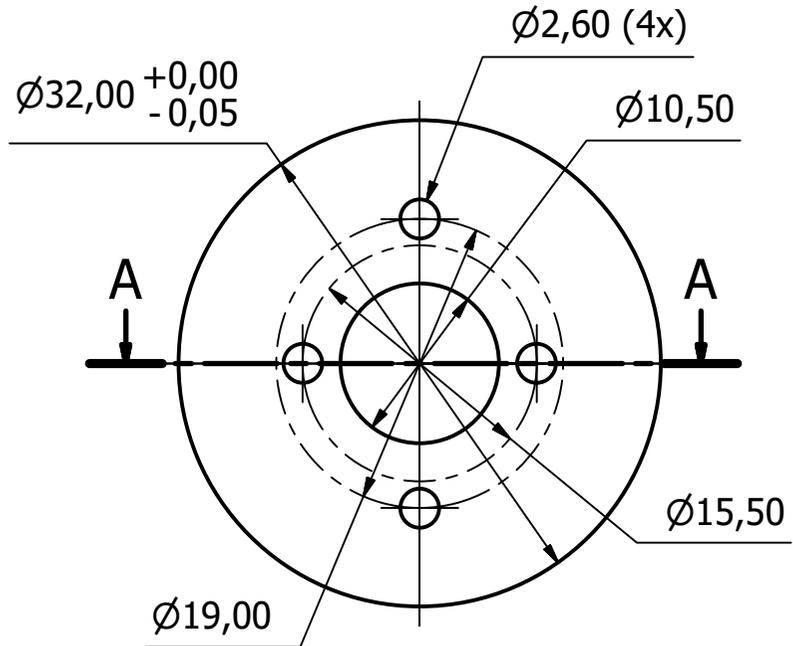


Todas las cotas de este documento quedan definidas bajo la norma **UNE-EN ISO 286-2:2011**, por lo que cualquier reproducción de la pieza o ensamblaje aquí representada/o podrá ser rechazado de forma unilateral por incumplimiento de las tolerancias que la norma especifica.

PESO : 0,002 kg

Diseñado, revisado y aprobado por: Sergi Piquer Cano	Material : PLA 3mm	Escala dibujo : 2 : 1	Fecha dibujo : 06/08/2017
	EJE EXCENTRICO		
	Tipo de plano : Pieza	Número de plano : 1.1.1.1	

Parámetros impresión 3D	Ø Filamento	Temperatura extrusión	Velocidad impresión	Densidad relleno	Ø Boquilla	Grosor capa	Grosor pared	Grosor base inf/sup
Piezas L<25mm	3,0 mm	210 °C	30 mm/s	20 %	0,4 mm	0,15 mm	1,0 mm	0,8 mm
Piezas L>25mm					0,6 mm	0,20 mm	1,2 mm	1,0 mm

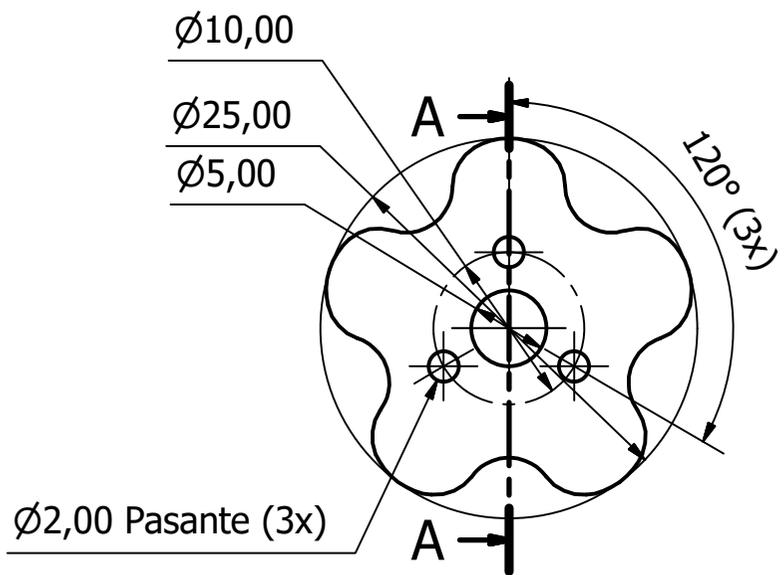


Todas las cotas de este documento quedan definidas bajo la norma **UNE-EN ISO 286-2:2011**, por lo que cualquier reproducción de la pieza o ensamblaje aquí representada/o podrá ser rechazado de forma unilateral por incumplimiento de las tolerancias que la norma especifica.

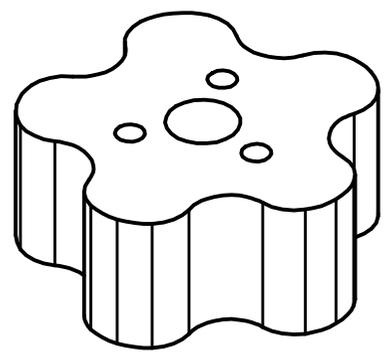
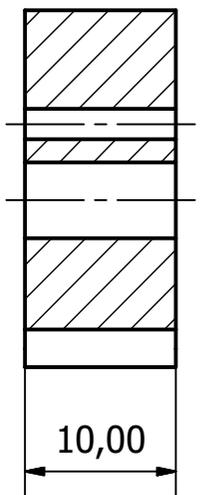
PESO : 0,002 kg

Diseñado, revisado y aprobado por: Sergi Piquer Cano		Material : PLA 3mm	Escala dibujo : 2 : 1	Fecha dibujo : 06/08/2017
		SEPARADOR MOTOR CARCASA		
		Tipo de plano : Pieza	Número de plano : 1.1.1.2	Edición 01

Parámetros impresión 3D	Ø Filamento	Temperatura extrusión	Velocidad impresión	Densidad relleno	Ø Boquilla	Grosor capa	Grosor pared	Grosor base inf/sup
Piezas L<25mm	3,0 mm	210 °C	30 mm/s	20 %	0,4 mm	0,15 mm	1,0 mm	0,8 mm
Piezas L>25mm					0,6 mm	0,20 mm	1,2 mm	1,0 mm



A-A (2 : 1)



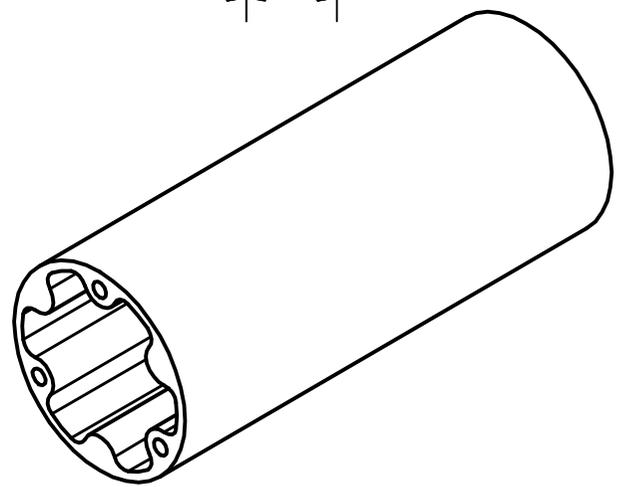
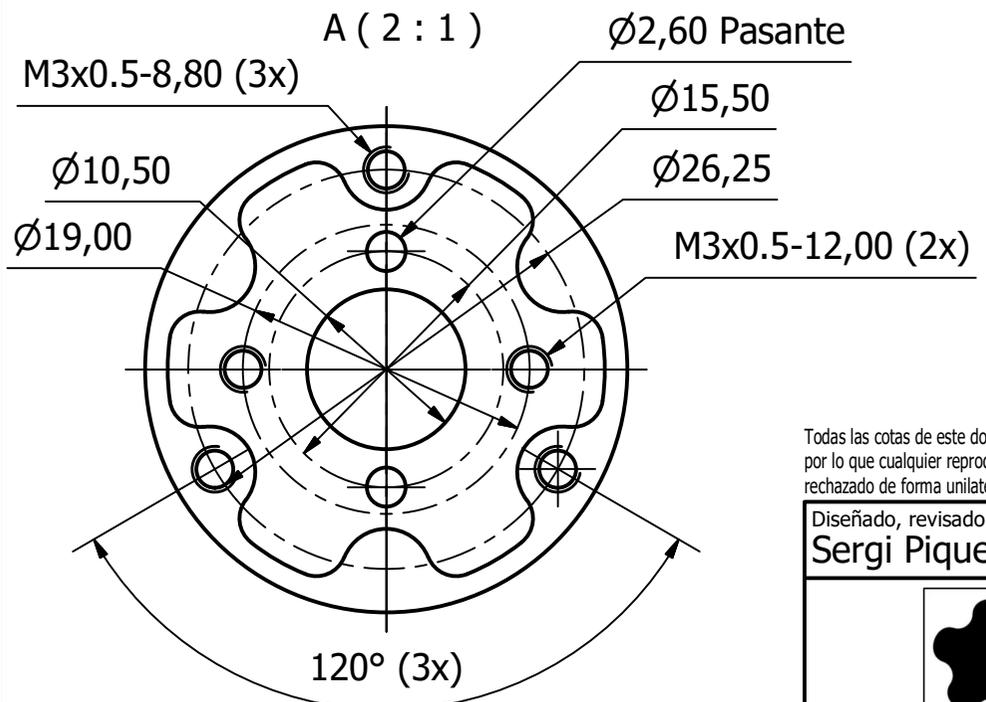
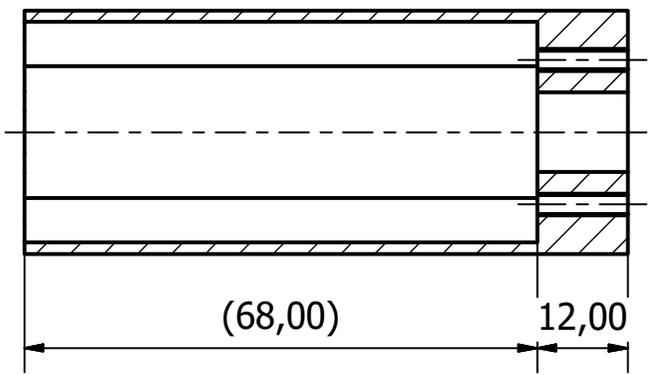
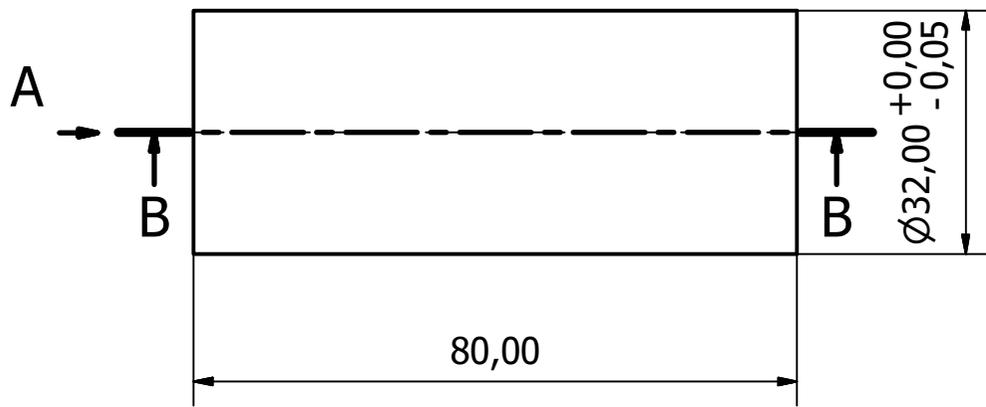
Todas las cotas de este documento quedan definidas bajo la norma **UNE-EN ISO 286-2:2011**, por lo que cualquier reproducción de la pieza o ensamblaje aquí representada/o podrá ser rechazado de forma unilateral por incumplimiento de las tolerancias que la norma especifica.

PESO : 0,004 kg

Diseñado, revisado y aprobado por: Sergi Piquer Cano		Material : PLA 3mm	Escala dibujo : 2 : 1	Fecha dibujo : 06/08/2017
		ENGRANAJE CENTRAL		
		Tipo de plano : Pieza	Número de plano : 1.1.1.3	Edición 01

Parámetros impresión 3D	Ø Filamento	Temperatura extrusión	Velocidad impresión	Densidad relleno	Ø Boquilla	Grosor capa	Grosor pared	Grosor base inf/sup
Piezas L<25mm	3,0 mm	210 °C	30 mm/s	20 %	0,4 mm	0,15 mm	1,0 mm	0,8 mm
Piezas L>25mm					0,6 mm	0,20 mm	1,2 mm	1,0 mm

B-B (1 : 1)

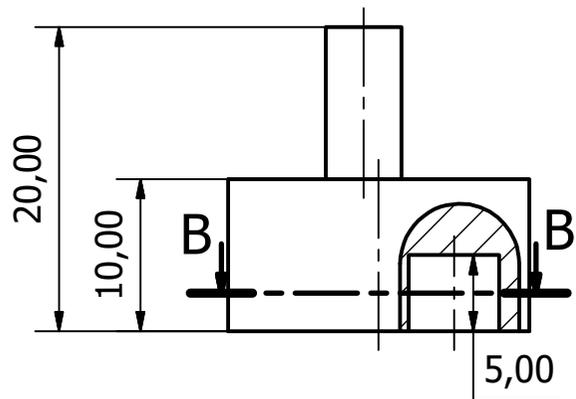


Todas las cotas de este documento quedan definidas bajo la norma **UNE-EN ISO 286-2:2011**, por lo que cualquier reproducción de la pieza o ensamble aquí representada/o podrá ser rechazado de forma unilateral por incumplimiento de las tolerancias que la norma específica.

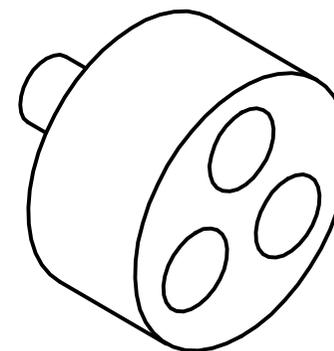
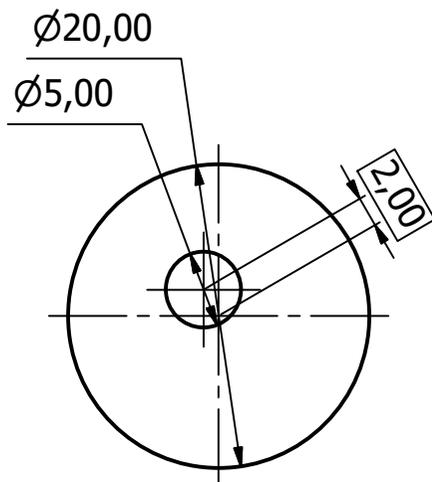
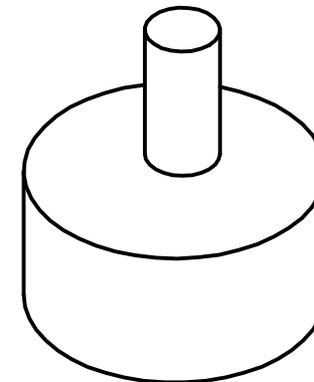
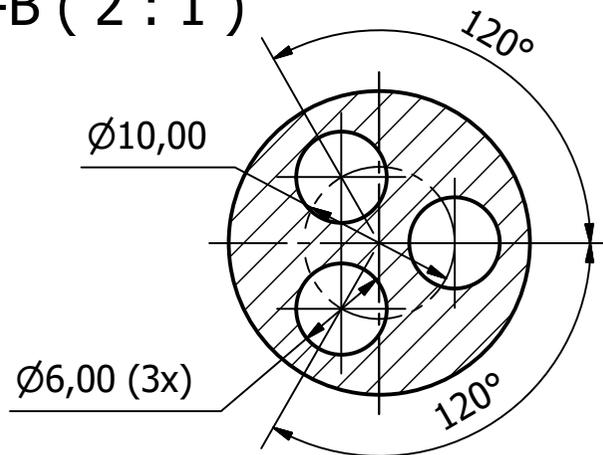
PESO : 0,033 kg

Diseñado, revisado y aprobado por: Sergi Piquer Cano		Material : PLA 3mm	Escala dibujo : 1 : 1	Fecha dibujo : 06/08/2017
		ENGRANAJE EXTERIOR CARCASA		
		Tipo de plano : Pieza	Número de plano : 1.1.1.4	

Parámetros impresión 3D	Ø Filamento	Temperatura extrusión	Velocidad impresión	Densidad relleno	Ø Boquilla	Grosor capa	Grosor pared	Grosor base inf/sup
Piezas L<25mm	3,0 mm	210 °C	30 mm/s	20 %	0,4 mm	0,15 mm	1,0 mm	0,8 mm
Piezas L>25mm					0,6 mm	0,20 mm	1,2 mm	1,0 mm



B-B (2 : 1)



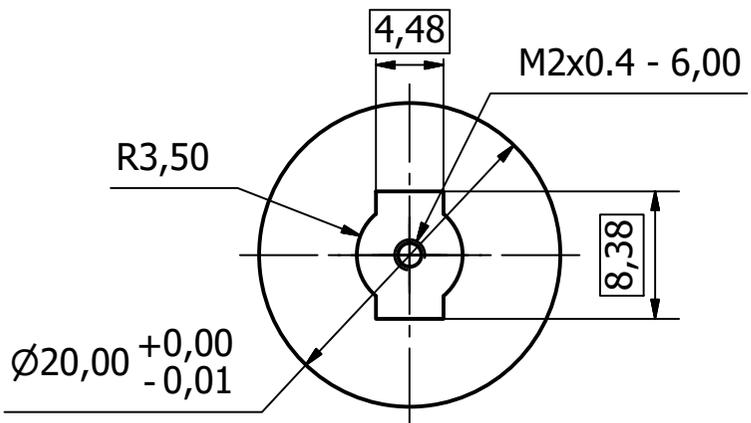
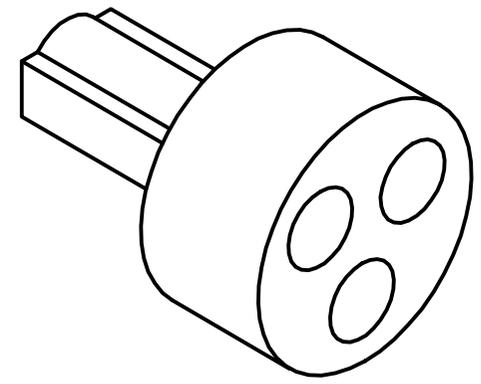
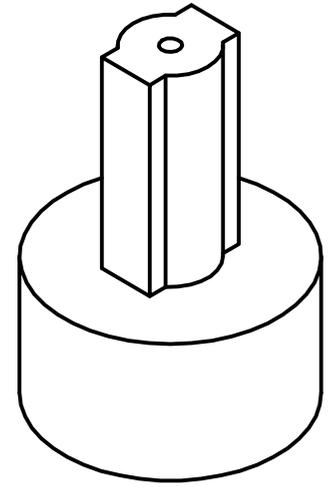
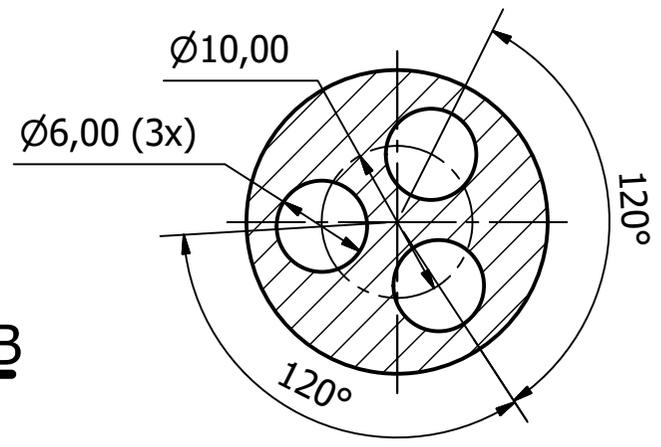
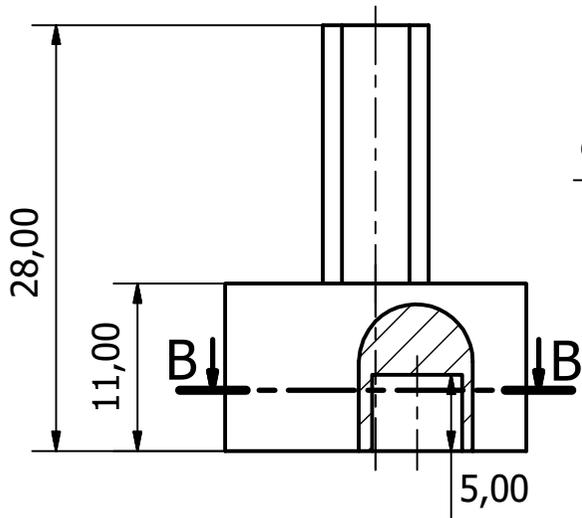
Todas las cotas de este documento quedan definidas bajo la norma **UNE-EN ISO 286-2:2011**, por lo que cualquier reproducción de la pieza o ensamblaje aquí representada/o podrá ser rechazado de forma unilateral por incumplimiento de las tolerancias que la norma especifica.

PESO : 0,004 kg

Diseñado, revisado y aprobado por: Sergi Piquer Cano	Material : PLA 3mm	Escala dibujo : 2 : 1	Fecha dibujo : 06/08/2017
	DISCO SALIDA ETAPA COMPETA		
	Tipo de plano : Pieza	Número de plano : 1.1.1.5	Edición 01

Parámetros impresión 3D	Ø Filamento	Temperatura extrusión	Velocidad impresión	Densidad relleno	Ø Boquilla	Grosor capa	Grosor pared	Grosor base inf/sup
Piezas L<25mm	3,0 mm	210 °C	30 mm/s	20 %	0,4 mm	0,15 mm	1,0 mm	0,8 mm
Piezas L>25mm					0,6 mm	0,20 mm	1,2 mm	1,0 mm

B-B (2 : 1)

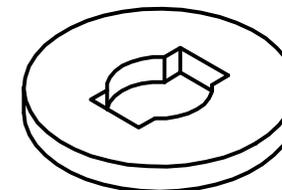
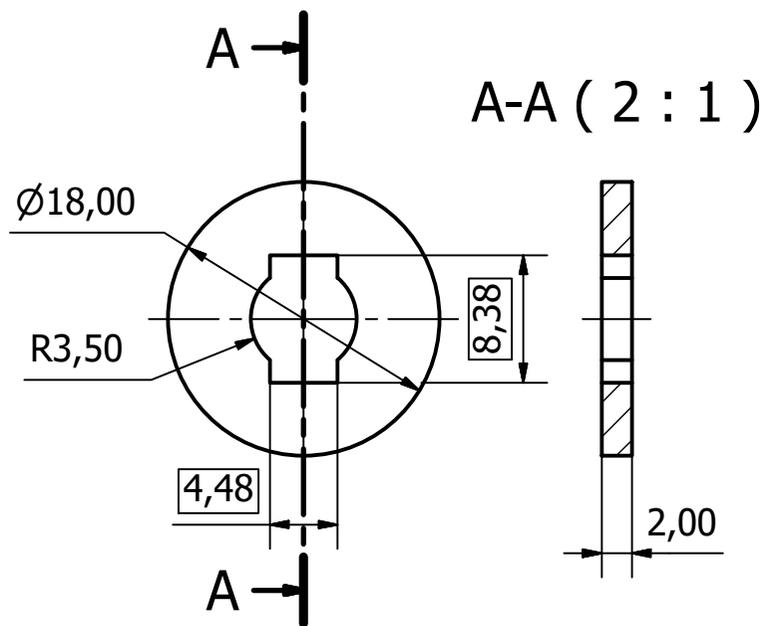


Todas las cotas de este documento quedan definidas bajo la norma **UNE-EN ISO 286-2:2011**, por lo que cualquier reproducción de la pieza o ensamble aquí representada/o podrá ser rechazado de forma unilateral por incumplimiento de las tolerancias que la norma especifica.

PESO : 0,005 kg

Diseñado, revisado y aprobado por: Sergi Piquer Cano		Material : PLA 3mm	Escala dibujo : 2 : 1	Fecha dibujo : 06/08/2017
		DISCO SALIDA FINAL COMPLETA		
		Tipo de plano : Pieza	Número de plano : 1.1.1.6	Edición 01

Parámetros impresión 3D	Ø Filamento	Temperatura extrusión	Velocidad impresión	Densidad relleno	Ø Boquilla	Grosor capa	Grosor pared	Grosor base inf/sup
Piezas L<25mm	3,0 mm	210 °C	30 mm/s	20 %	0,4 mm	0,15 mm	1,0 mm	0,8 mm
Piezas L>25mm					0,6 mm	0,20 mm	1,2 mm	1,0 mm

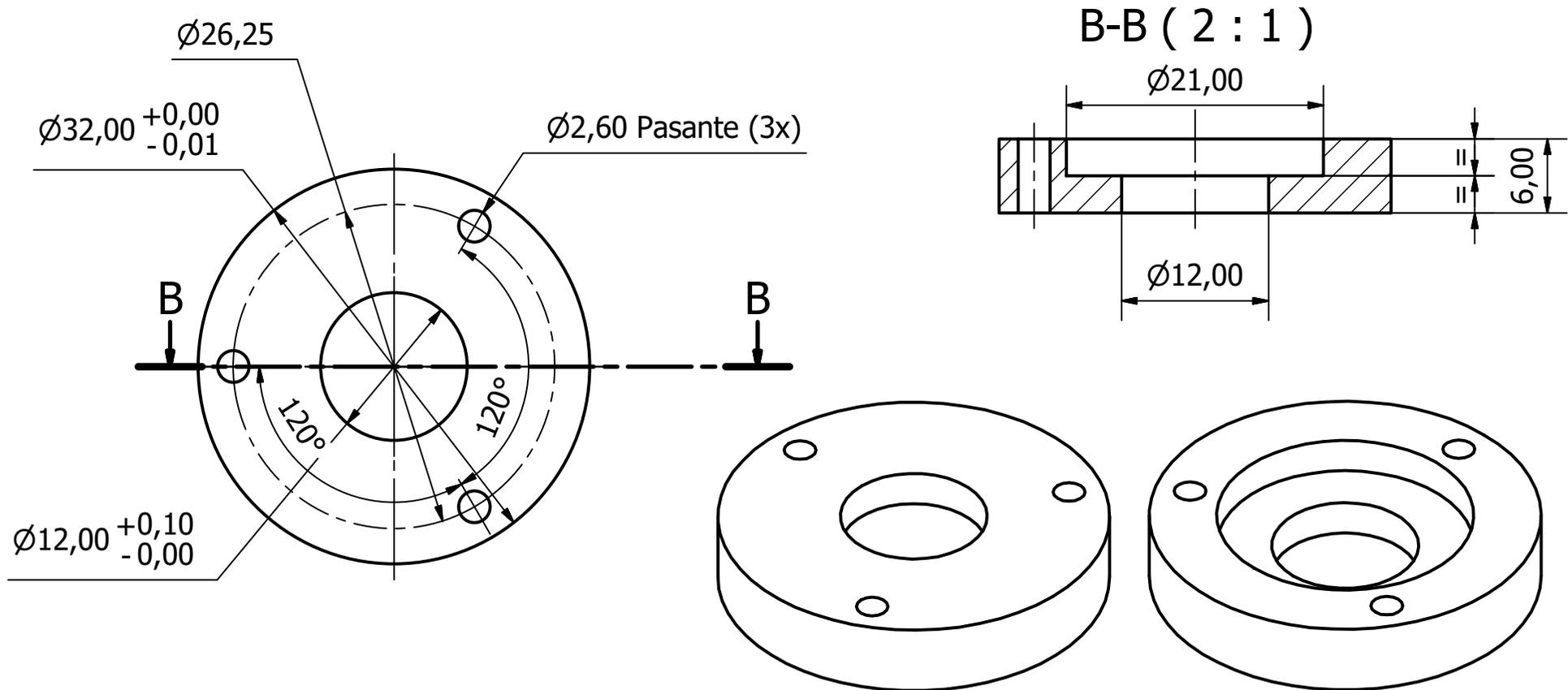


Todas las cotas de este documento quedan definidas bajo la norma **UNE-EN ISO 286-2:2011**, por lo que cualquier reproducción de la pieza o ensamblaje aquí representada/o podrá ser rechazado de forma unilateral por incumplimiento de las tolerancias que la norma especifica.

PESO : 0,001 kg

Diseñado, revisado y aprobado por: Sergi Piquer Cano	Material : PLA 3mm	Escala dibujo : 2 : 1	Fecha dibujo : 06/08/2017
	TAPA PROTECCION INTERIOR		
	Tipo de plano : Pieza	Número de plano : 1.1.1.7	Edición 01

Parámetros impresión 3D	Ø Filamento	Temperatura extrusión	Velocidad impresión	Densidad relleno	Ø Boquilla	Grosor capa	Grosor pared	Grosor base inf/sup
Piezas L<25mm	3,0 mm	210 °C	30 mm/s	20 %	0,4 mm	0,15 mm	1,0 mm	0,8 mm
Piezas L>25mm					0,6 mm	0,20 mm	1,2 mm	1,0 mm

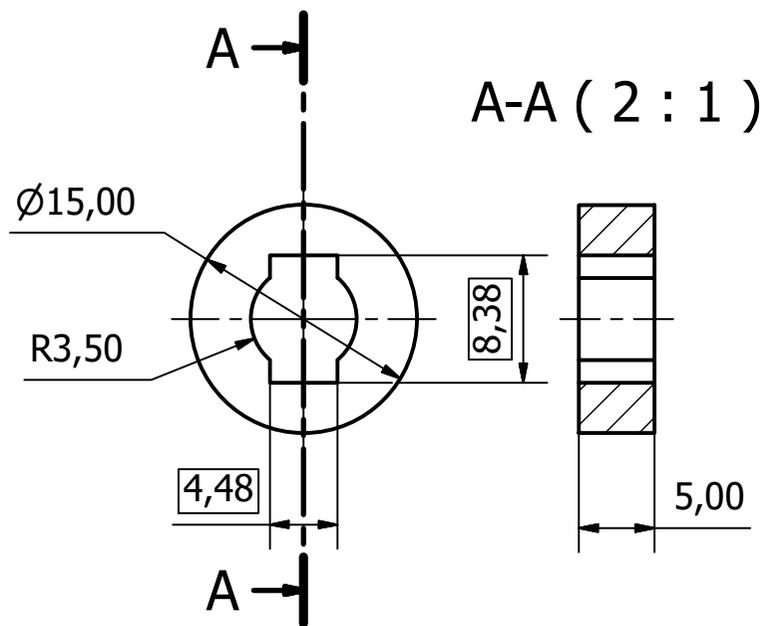


Todas las cotas de este documento quedan definidas bajo la norma **UNE-EN ISO 286-2:2011**, por lo que cualquier reproducción de la pieza o ensamble aquí representada/o podrá ser rechazado de forma unilateral por incumplimiento de las tolerancias que la norma especifica.

PESO : 0,004 kg

Diseñado, revisado y aprobado por: Sergi Piquer Cano		Material : PLA 3mm	Escala dibujo : 2 : 1	Fecha dibujo : 06/08/2017
		TAPA PROTECCION EXTERIOR		
		Tipo de plano : Pieza	Número de plano : 1.1.1.8	Edición 01

Parámetros impresión 3D	Ø Filamento	Temperatura extrusión	Velocidad impresión	Densidad relleno	Ø Boquilla	Grosor capa	Grosor pared	Grosor base inf/sup
Piezas L<25mm	3,0 mm	210 °C	30 mm/s	20 %	0,4 mm	0,15 mm	1,0 mm	0,8 mm
Piezas L>25mm					0,6 mm	0,20 mm	1,2 mm	1,0 mm



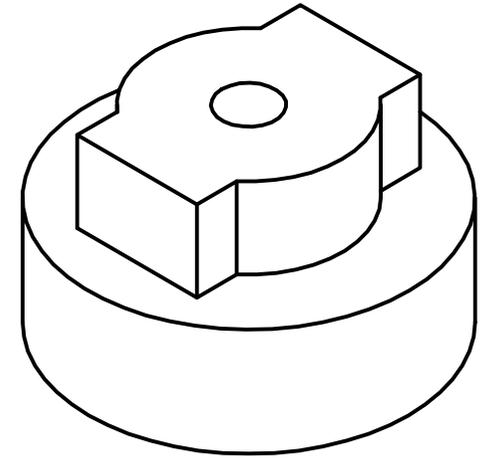
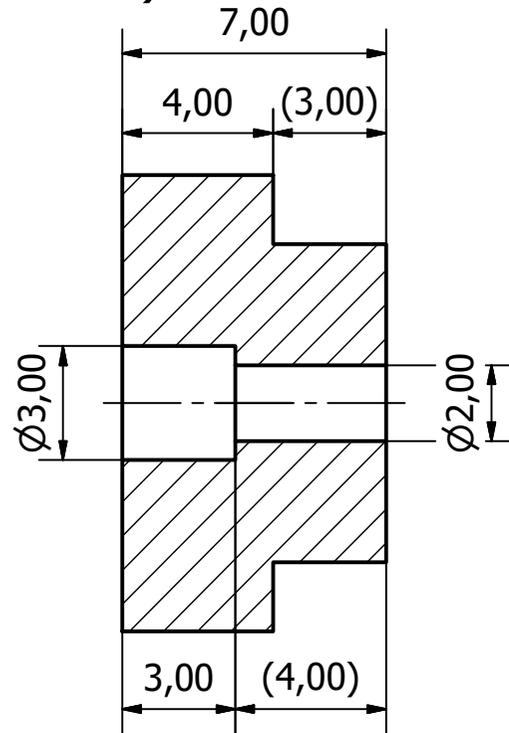
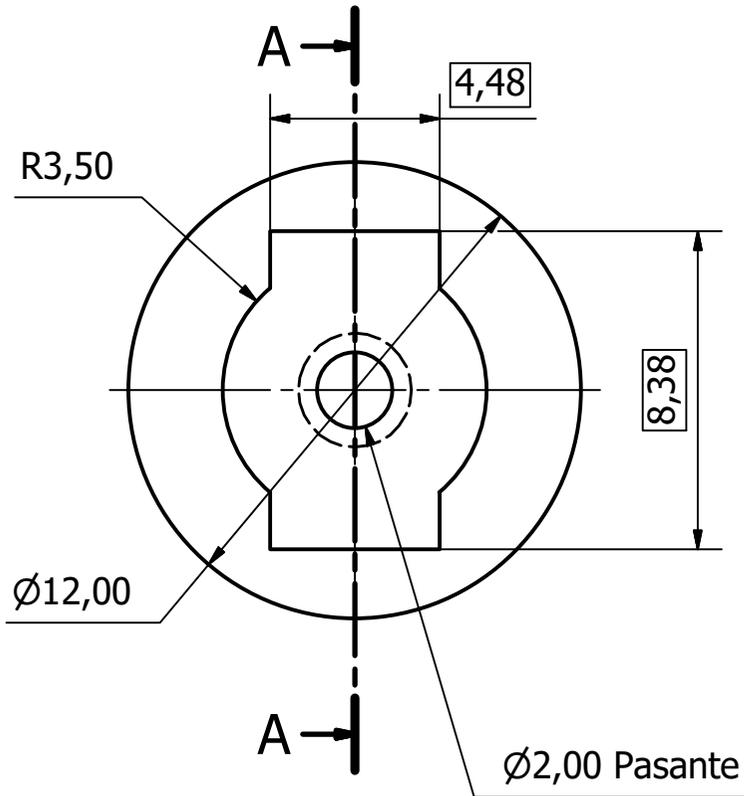
Todas las cotas de este documento quedan definidas bajo la norma **UNE-EN ISO 286-2:2011**, por lo que cualquier reproducción de la pieza o ensamblaje aquí representada/o podrá ser rechazado de forma unilateral por incumplimiento de las tolerancias que la norma especifica.

PESO : 0,001 kg

Diseñado, revisado y aprobado por: Sergi Piquer Cano	Material : PLA 3mm	Escala dibujo : 2 : 1	Fecha dibujo : 06/08/2017
	SEPARADOR REDUCTORA RL		
	Tipo de plano : Pieza	Número de plano : 1.1.1.9	Edición 01

Parámetros impresión 3D	Ø Filamento	Temperatura extrusión	Velocidad impresión	Densidad relleno	Ø Boquilla	Grosor capa	Grosor pared	Grosor base inf/sup
Piezas L<25mm	3,0 mm	210 °C	30 mm/s	20 %	0,4 mm	0,15 mm	1,0 mm	0,8 mm
Piezas L>25mm					0,6 mm	0,20 mm	1,2 mm	1,0 mm

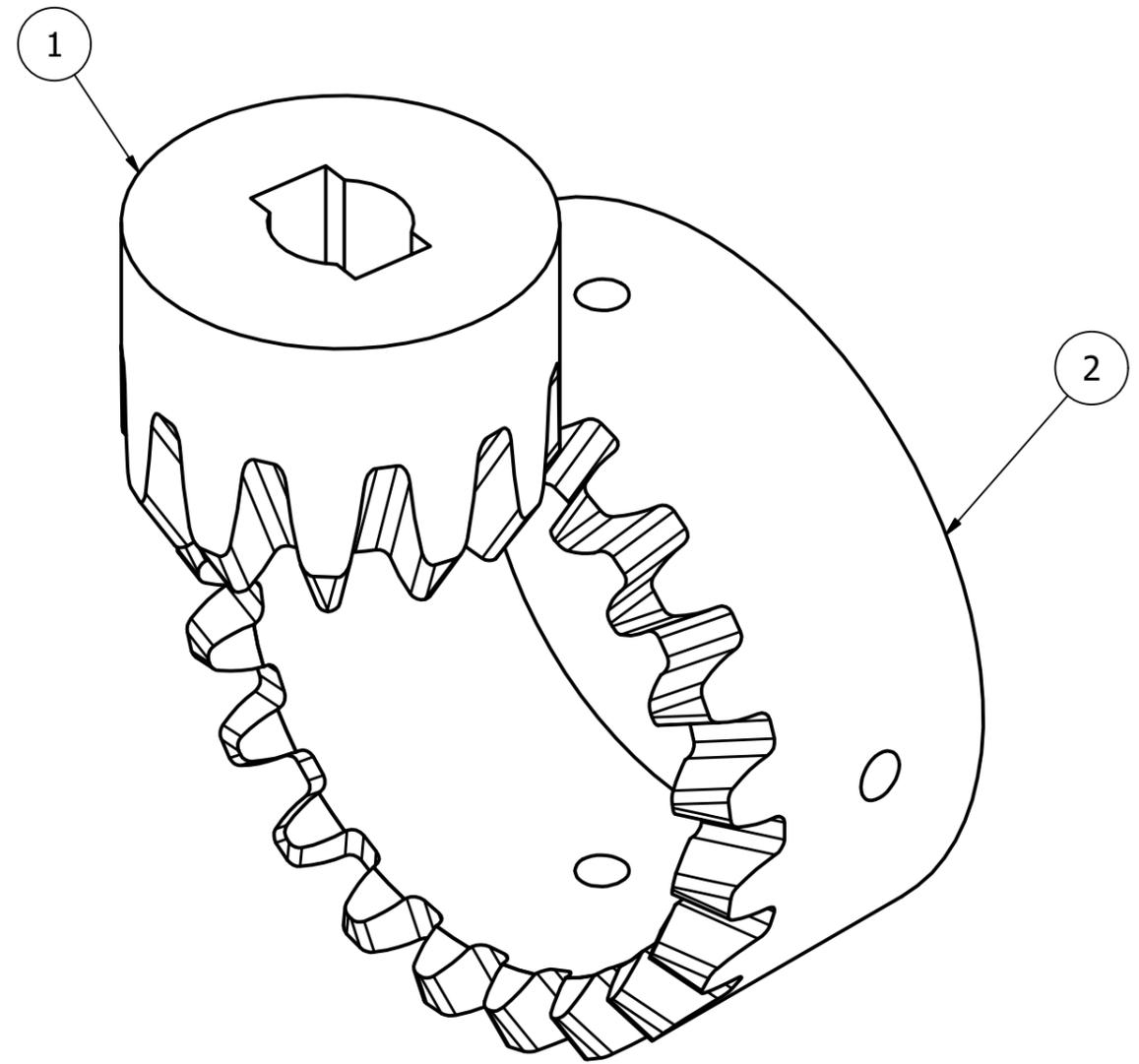
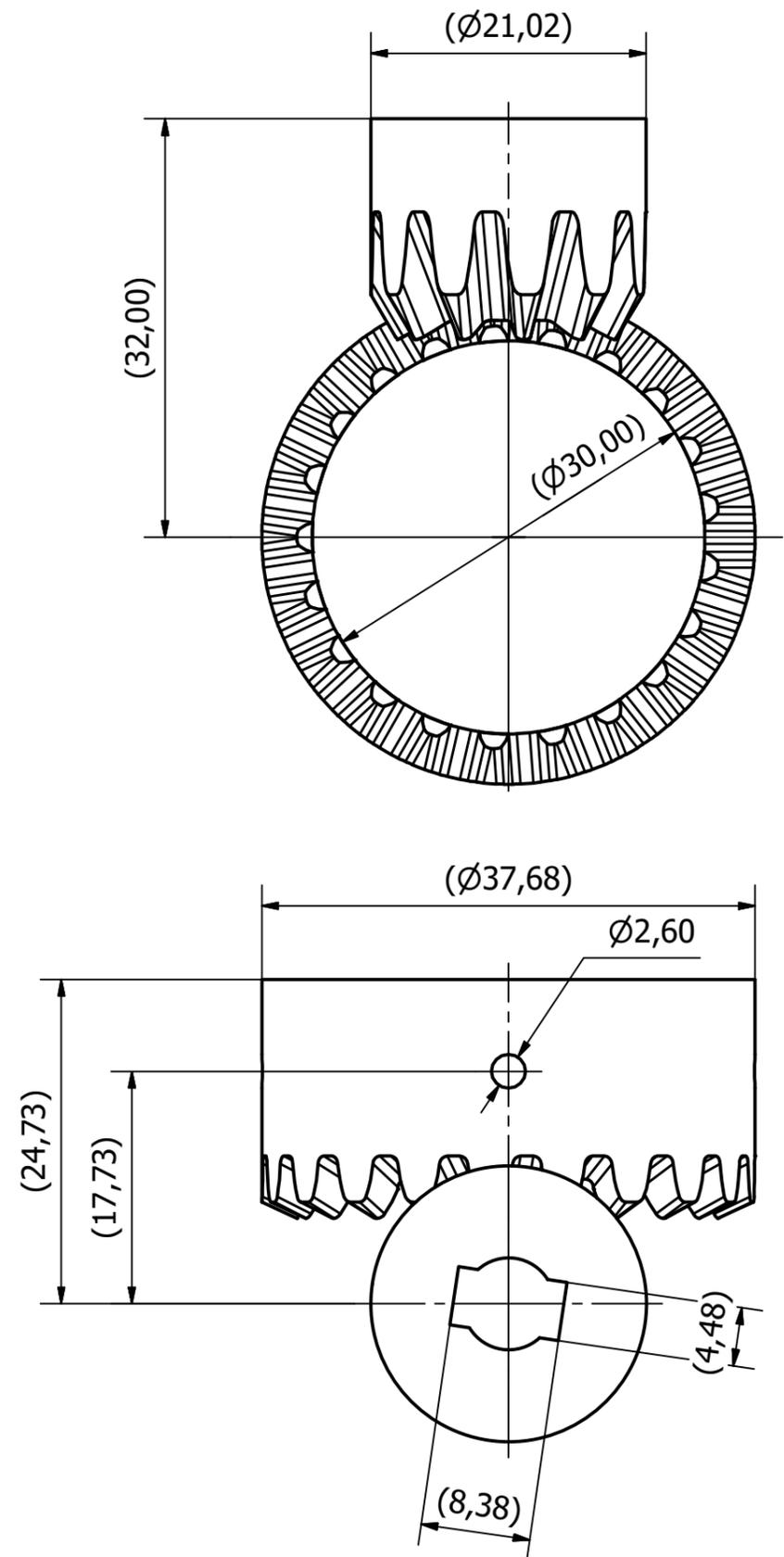
A-A (5 : 1)



Todas las cotas de este documento quedan definidas bajo la norma **UNE-EN ISO 286-2:2011**, por lo que cualquier reproducción de la pieza o ensamblaje aquí representada/o podrá ser rechazado de forma unilateral por incumplimiento de las tolerancias que la norma especifica.

PESO : 0,001 kg

Diseñado, revisado y aprobado por: Sergi Piquer Cano	Material : PLA 3mm	Escala dibujo : 5 : 1	Fecha dibujo : 06/08/2017
	CIERRE SUJECIÓN RL		
	Tipo de plano : Pieza	Número de plano : 1.1.1.10	Edición 01



PESO : 0,013 kg

LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	1.1.2.1	PIÑÓN CÓNICO RECTO
2	1	1.1.2.2	CORONA CÓNICO RECTO

Diseñado, revisado y aprobado por: Sergi Piquer Cano	Elementos de unión : Estándar DIN/ISO	Escala dibujo : 2 : 1	Fecha dibujo : 12/08/2017
PAR ENGRANAJE			
Tipo de plano : Conjunto	Número de plano : 1.1.2	Edición 01	Hoja 1 / 1

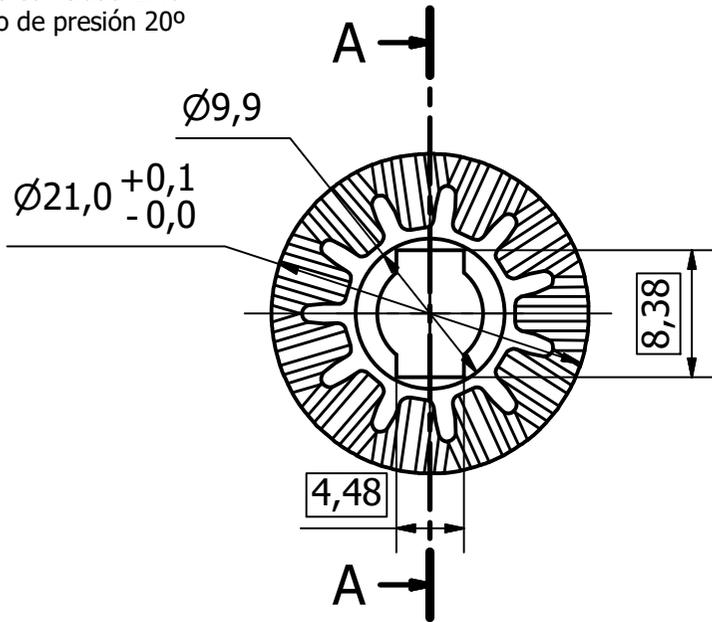
Todas las cotas de este documento quedan definidas bajo la norma **UNE-EN ISO 286-2:2011**, por lo que cualquier reproducción de la pieza o ensamble aquí representada/o podrá ser rechazado de forma unilateral por incumplimiento de las tolerancias que la norma especifica.



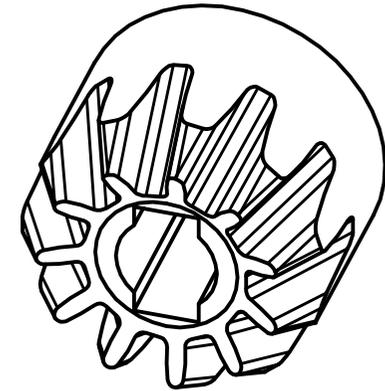
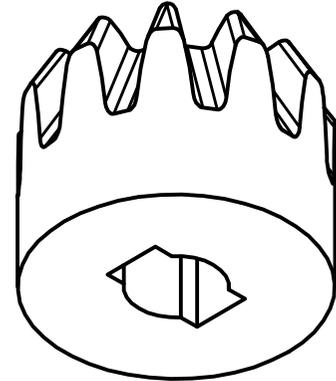
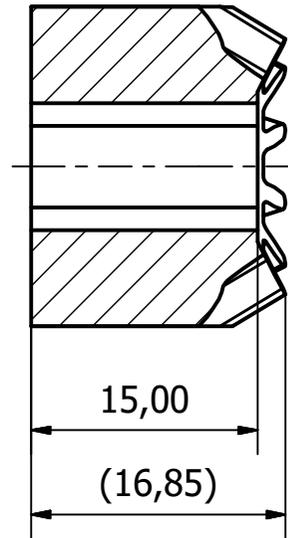
Parámetros impresión 3D	Ø Filamento	Temperatura extrusión	Velocidad impresión	Densidad relleno	Ø Boquilla	Grosor capa	Grosor pared	Grosor base inf/sup
Piezas L<25mm	3,0 mm	210 °C	30 mm/s	20 %	0,4 mm	0,15 mm	1,0 mm	0,8 mm
Piezas L>25mm					0,6 mm	0,20 mm	1,2 mm	1,0 mm

DATOS ENGRANAJE:

z 11
M 1.75
Dp 19.25mm
Ángulo conicidad 27.6°
Ángulo de presión 20°



A-A (2 : 1)



Todas las cotas de este documento quedan definidas bajo la norma **UNE-EN ISO 286-2:2011**, por lo que cualquier reproducción de la pieza o ensamblaje aquí representada/o podrá ser rechazado de forma unilateral por incumplimiento de las tolerancias que la norma especifica.

PESO : 0,005 kg

Diseñado, revisado y aprobado por: Sergi Piquer Cano	Material : PLA 3mm	Escala dibujo : 2 : 1	Fecha dibujo : 06/08/2017
	PIÑÓN CÓNICO RECTO		
	Tipo de plano : Pieza	Número de plano : 1.1.2.1	

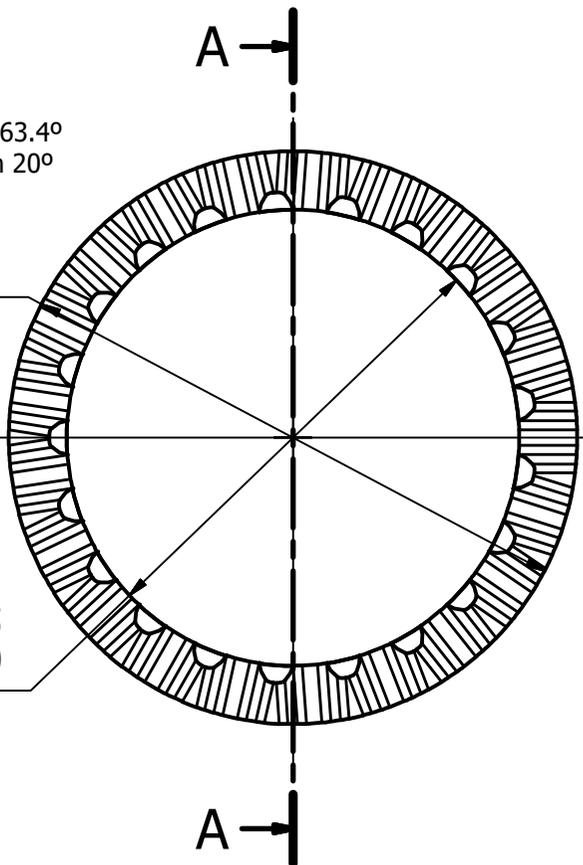
Parámetros impresión 3D	Ø Filamento	Temperatura extrusión	Velocidad impresión	Densidad relleno	Ø Boquilla	Grosor capa	Grosor pared	Grosor base inf/sup
Piezas L<25mm	3,0 mm	210 °C	30 mm/s	20 %	0,4 mm	0,15 mm	1,0 mm	0,8 mm
Piezas L>25mm					0,6 mm	0,20 mm	1,2 mm	1,0 mm

DATOS ENGRANAJE:

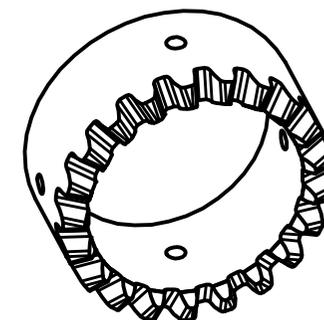
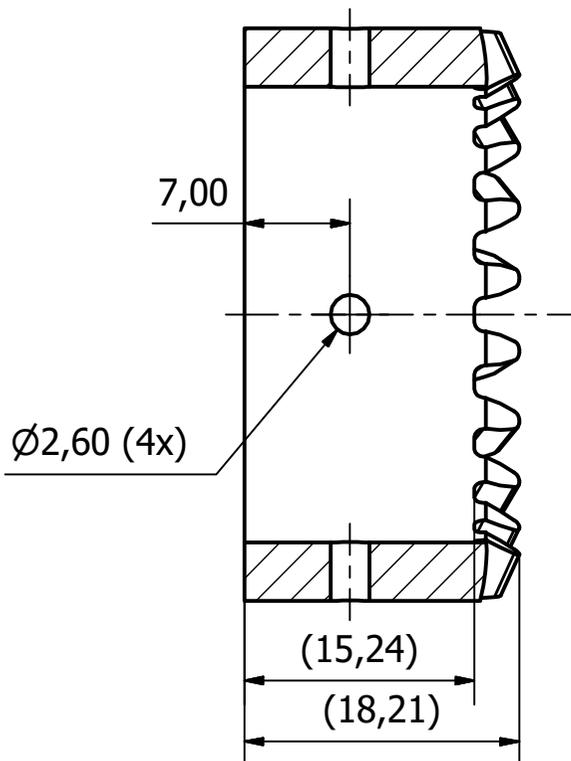
z 21
M 1.75
Dp 36.75mm
Ángulo conicidad 63.4°
Ángulo de presión 20°

Ø37,7 ^{+0,0}
-0,1

Ø30,0 ^{+0,5}
-0,0



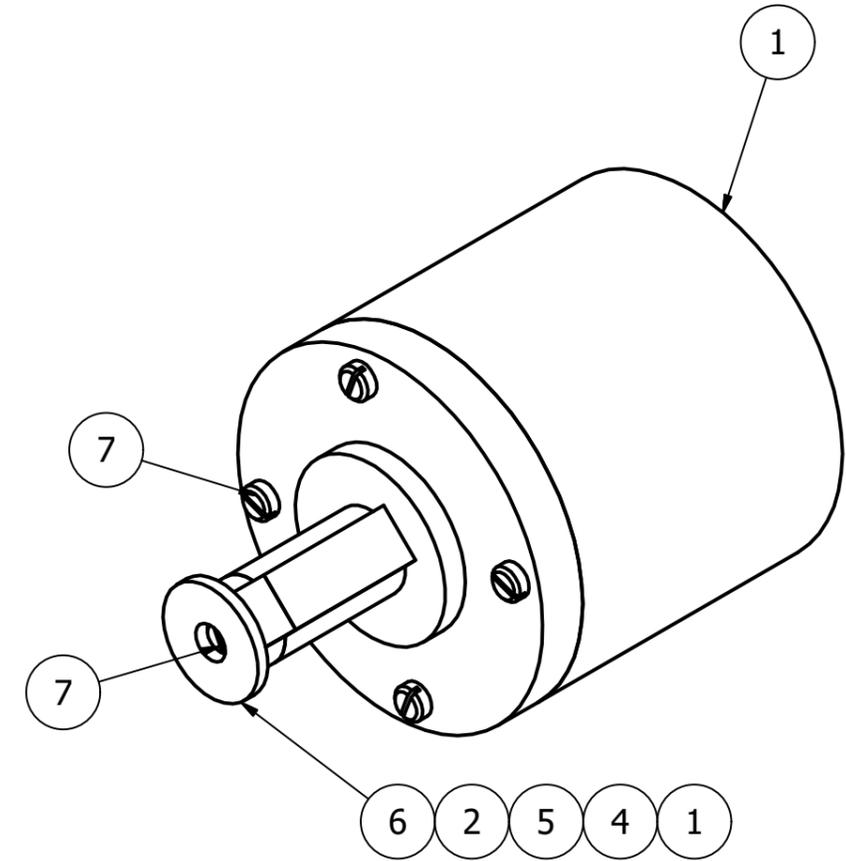
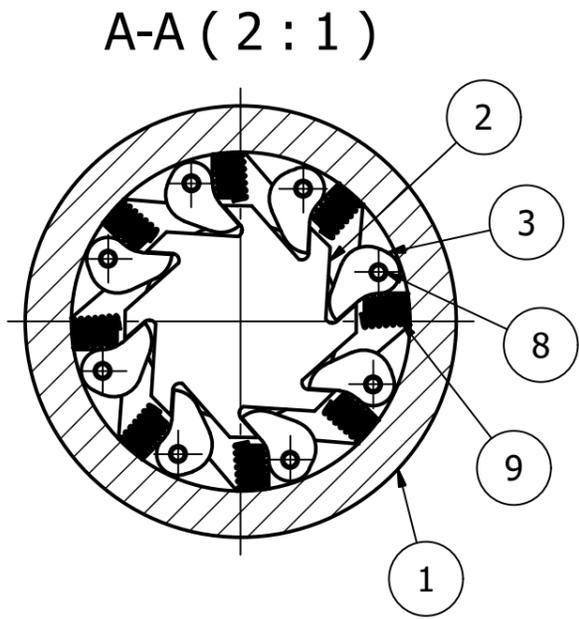
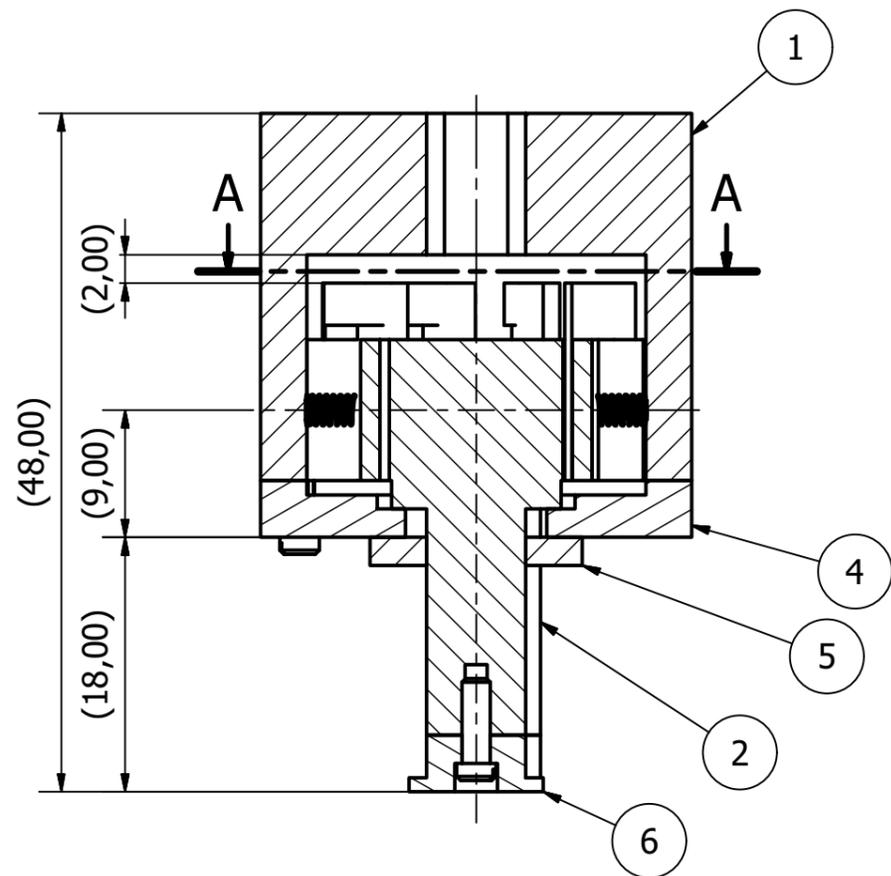
A-A (2 : 1)



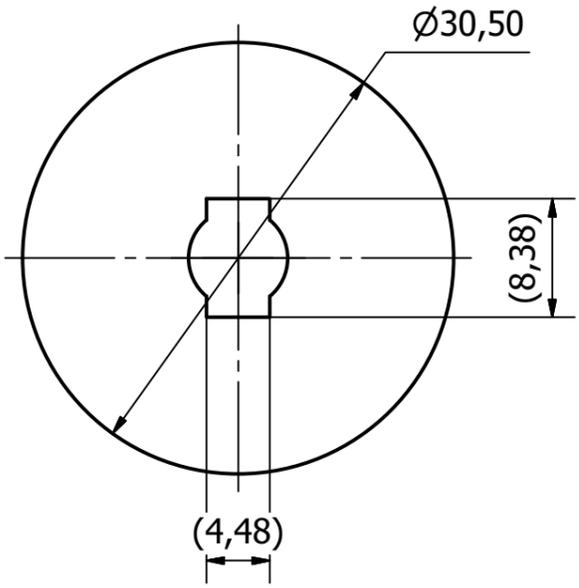
Todas las cotas de este documento quedan definidas bajo la norma **UNE-EN ISO 286-2:2011**, por lo que cualquier reproducción de la pieza o ensamblaje aquí representada/o podrá ser rechazado de forma unilateral por incumplimiento de las tolerancias que la norma especifica.

PESO : 0,008 kg

Diseñado, revisado y aprobado por: Sergi Piquer Cano		Material : PLA 3mm	Escala dibujo : 2 : 1	Fecha dibujo : 06/08/2017
		CORONA CÓNICO RECTO		
		Tipo de plano : Pieza	Número de plano : 1.1.2.2	



PESO : 0,024 kg



LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	1.1.3.1	CORONA RL
2	1	1.1.3.2	ENGRANAJE RL
3	8	1.1.3.3	UÑETA RL
4	1	1.1.3.4	TAPA PROTECCIÓN RL
5	1	1.1.3.5	SEPARADOR RL PIÑON
6	1	1.1.3.6	CIERRE SUJECION PIÑON CONICO
7	5	DIN 920 - M2 x 6	TORNILLO DE CABEZA CON CARA RANURADA
8	8	ISO 2338 - 1 h8 x 10	PASADOR CILINDRICO
9	8	M.RL. Ø2.25 x 7 esp	MUELLE RL

Diseñado, revisado y aprobado por: **Sergi Piquer Cano** Elementos de unión : Estándar **DIN/ISO** Escala dibujo : **2 : 1** Fecha dibujo : **12/08/2017**

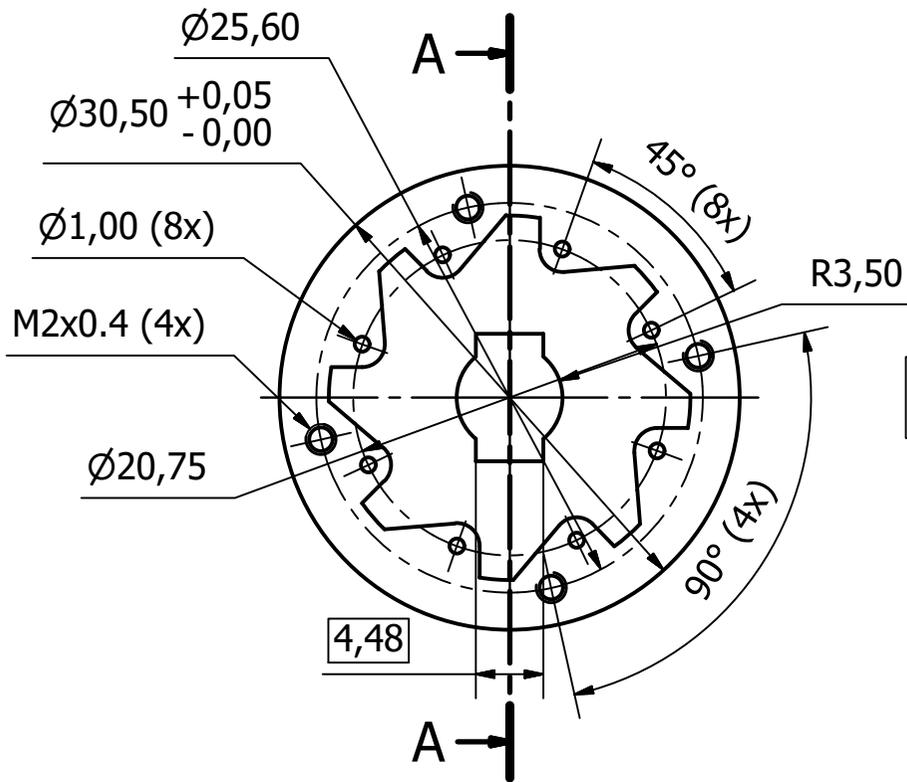
Todas las cotas de este documento quedan definidas bajo la norma **UNE-EN ISO 286-2:2011**, por lo que cualquier reproducción de la pieza o ensamblaje aquí representada/o podrá ser rechazado de forma unilateral por incumplimiento de las tolerancias que la norma especifica.



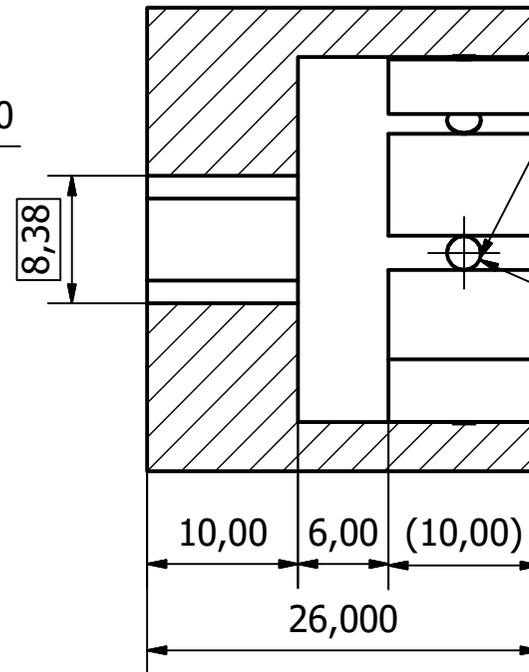
RUEDA LIBRE

Tipo de plano : **Conjunto** Número de plano : **1.1.3** Edición : **01** Hoja : **1 / 1**

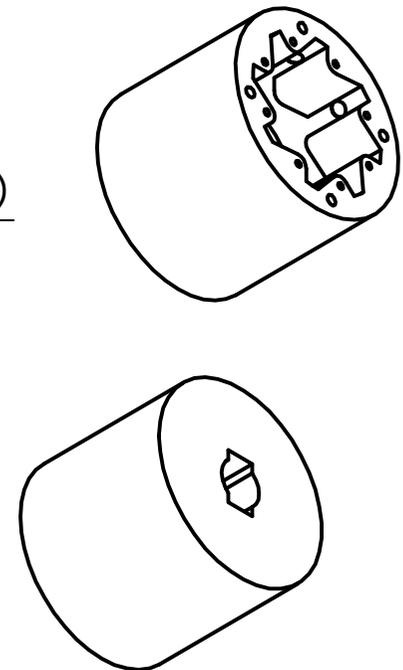
Parámetros impresión 3D	Ø Filamento	Temperatura extrusión	Velocidad impresión	Densidad relleno	Ø Boquilla	Grosor capa	Grosor pared	Grosor base inf/sup
Piezas L<25mm	3,0 mm	210 °C	30 mm/s	20 %	0,4 mm	0,15 mm	1,0 mm	0,8 mm
Piezas L>25mm					0,6 mm	0,20 mm	1,2 mm	1,0 mm



A-A (2 : 1)



Vaciado de referencia, se realiza en el momento de montar los muelles.

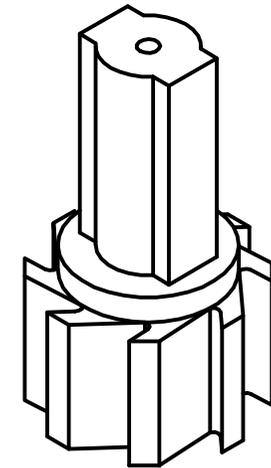
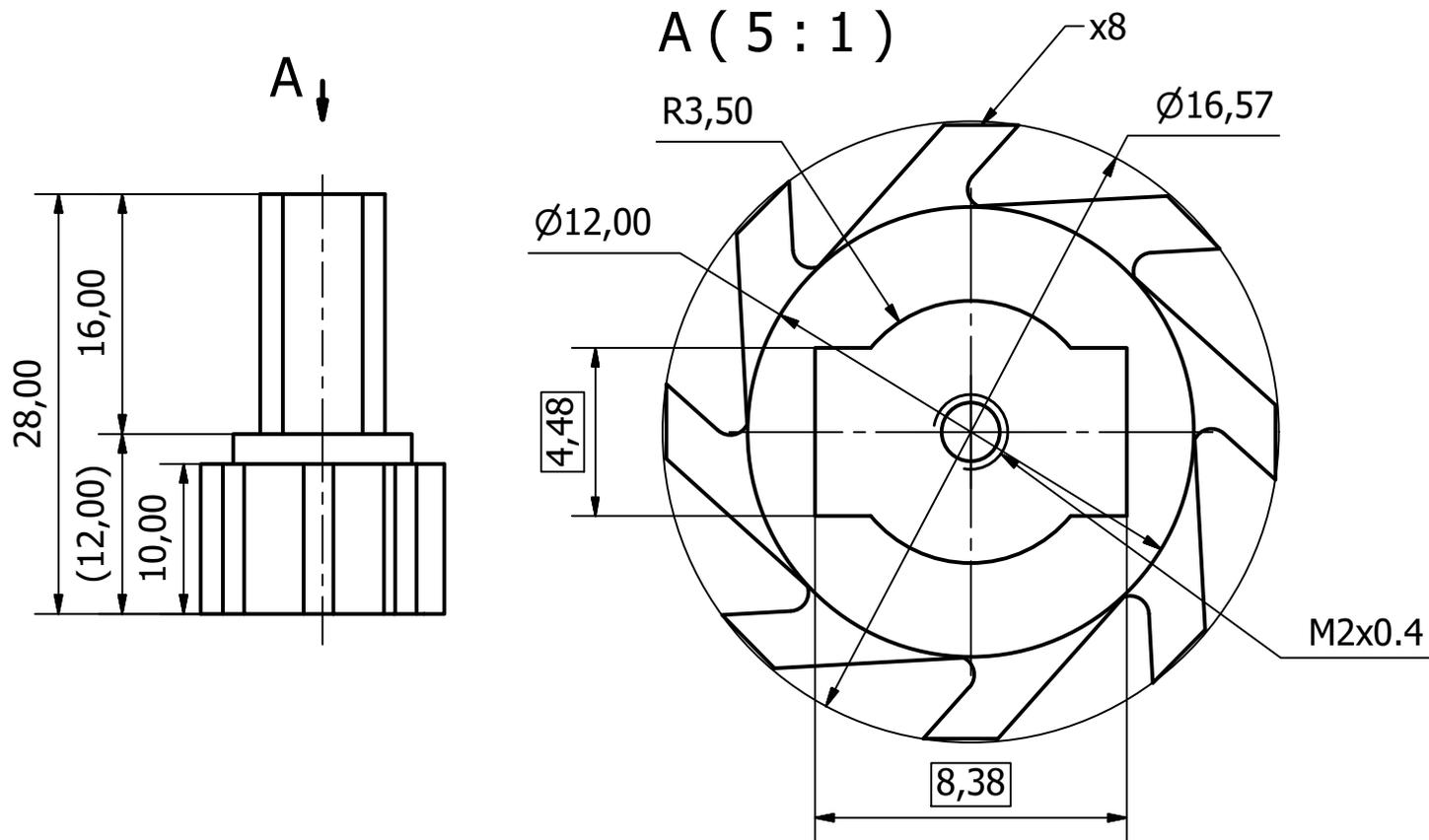


Todas las cotas de este documento quedan definidas bajo la norma **UNE-EN ISO 286-2:2011**, por lo que cualquier reproducción de la pieza o ensamblaje aquí representada/o podrá ser rechazado de forma unilateral por incumplimiento de las tolerancias que la norma especifica.

PESO : 0,015 kg

Diseñado, revisado y aprobado por: Sergi Piquer Cano		Material : PLA 3mm	Escala dibujo : 2 : 1	Fecha dibujo : 06/08/2017
		CORONA RL		
		Tipo de plano : Pieza	Número de plano : 1.1.3.1	Edición 01

Parámetros impresión 3D	Ø Filamento	Temperatura extrusión	Velocidad impresión	Densidad relleno	Ø Boquilla	Grosor capa	Grosor pared	Grosor base inf/sup
Piezas L<25mm	3,0 mm	210 °C	30 mm/s	20 %	0,4 mm	0,15 mm	1,0 mm	0,8 mm
Piezas L>25mm					0,6 mm	0,20 mm	1,2 mm	1,0 mm

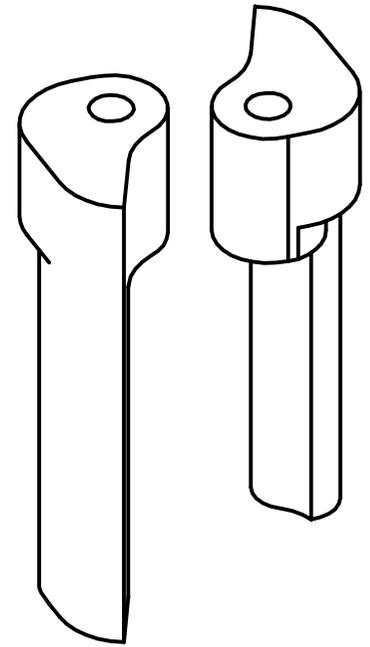
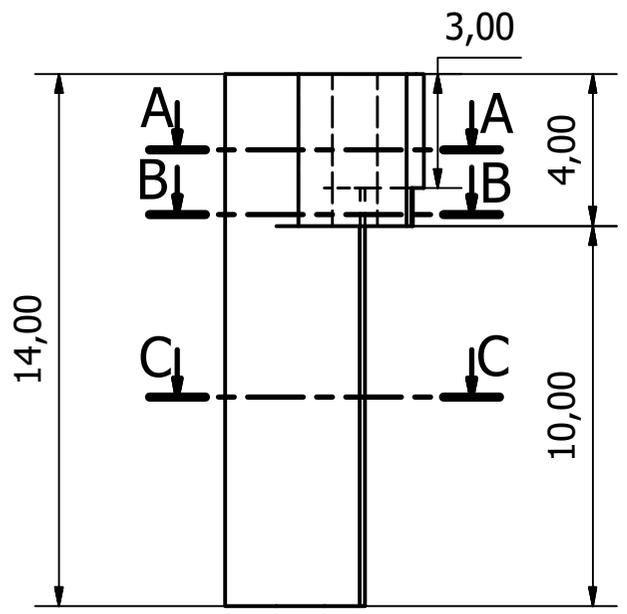


Todas las cotas de este documento quedan definidas bajo la norma **UNE-EN ISO 286-2:2011**, por lo que cualquier reproducción de la pieza o ensamblaje aquí representada/o podrá ser rechazado de forma unilateral por incumplimiento de las tolerancias que la norma especifica.

PESO : 0,003 kg

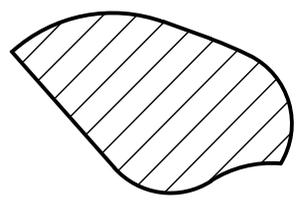
Diseñado, revisado y aprobado por: Sergi Piquer Cano		Material : PLA 3mm	Escala dibujo : 2 : 1	Fecha dibujo : 06/08/2017
		ENGRANAJE RL		
		Tipo de plano : Pieza	Número de plano : 1.1.3.2	Edición 01

Parámetros impresión 3D	Ø Filamento	Temperatura extrusión	Velocidad impresión	Densidad relleno	Ø Boquilla	Grosor capa	Grosor pared	Grosor base inf/sup
Piezas L<25mm	3,0 mm	210 °C	30 mm/s	20 %	0,4 mm	0,15 mm	1,0 mm	0,8 mm
Piezas L>25mm					0,6 mm	0,20 mm	1,2 mm	1,0 mm

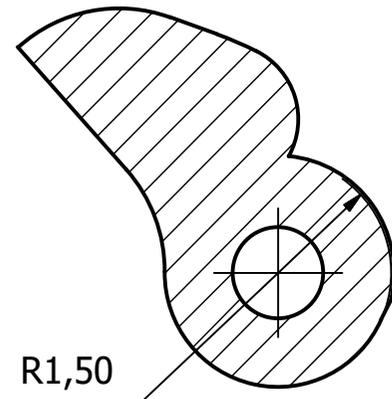


B-B (10 : 1)

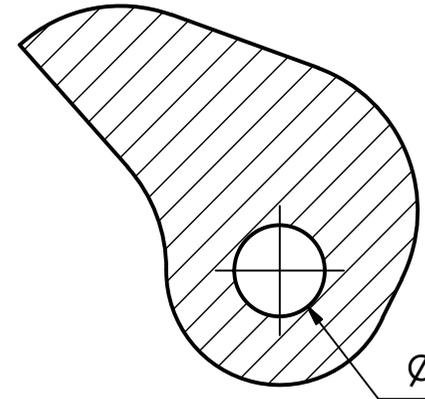
A-A (10 : 1)



C-C (10 : 1)



R1,50



Ø1,20

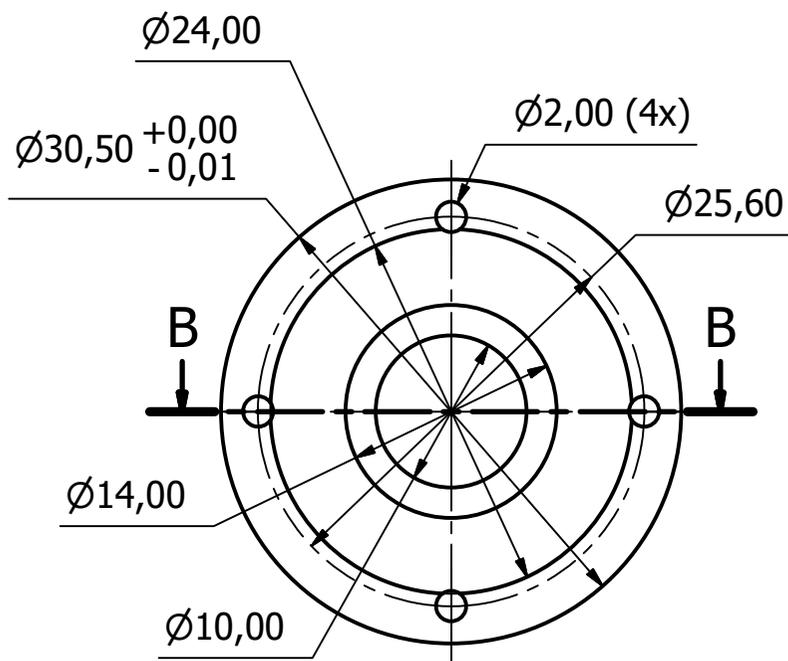
Todas las cotas de este documento quedan definidas bajo la norma **UNE-EN ISO 286-2:2011**, por lo que cualquier reproducción de la pieza o ensamblaje aquí representada/o podrá ser rechazado de forma unilateral por incumplimiento de las tolerancias que la norma especifica.

PESO : 0,000 kg

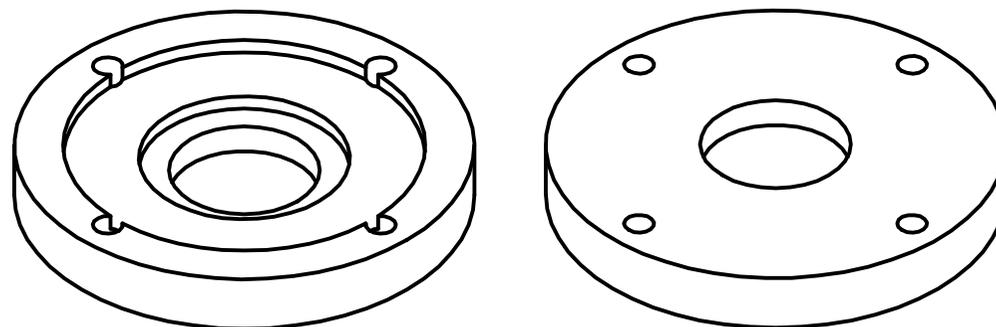
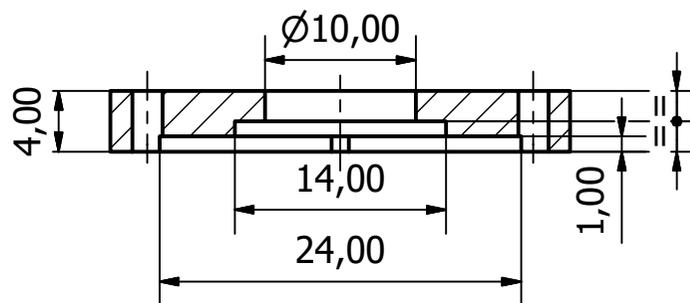
Debido a la complejidad de las formas de esta pieza, se representan únicamente cada una de las secciones diferentes que contiene, a modo referencial, junto con sus dimensiones principales.

Diseñado, revisado y aprobado por: Sergi Piquer Cano		Material : PLA 3mm	Escala dibujo : 5 : 1	Fecha dibujo : 06/08/2017
		UÑETA RL		
		Tipo de plano : Pieza	Número de plano : 1.1.3.3	Edición 01

Parámetros impresión 3D	Ø Filamento	Temperatura extrusión	Velocidad impresión	Densidad relleno	Ø Boquilla	Grosor capa	Grosor pared	Grosor base inf/sup
Piezas L<25mm	3,0 mm	210 °C	30 mm/s	20 %	0,4 mm	0,15 mm	1,0 mm	0,8 mm
Piezas L>25mm					0,6 mm	0,20 mm	1,2 mm	1,0 mm



B-B (2 : 1)

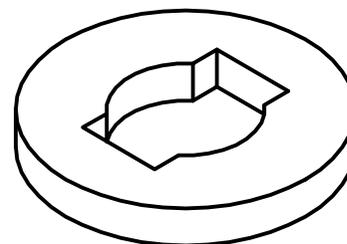
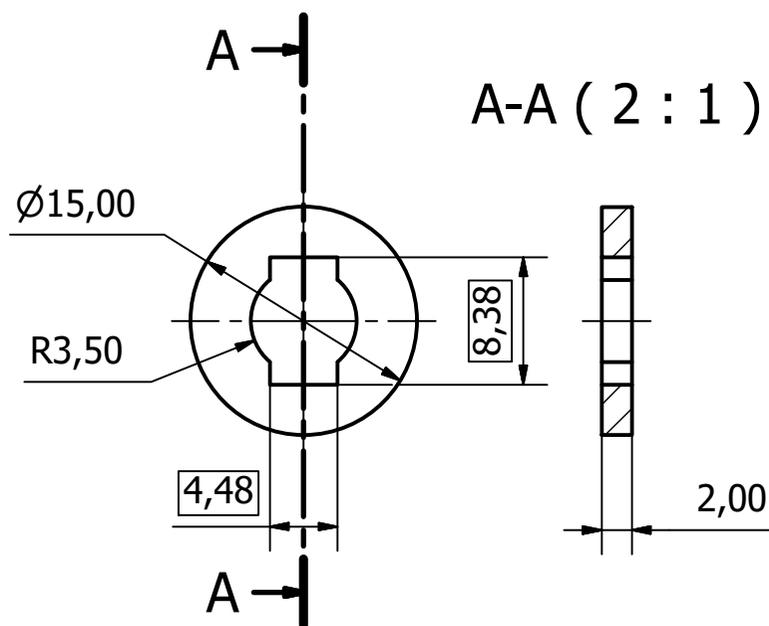


Todas las cotas de este documento quedan definidas bajo la norma **UNE-EN ISO 286-2:2011**, por lo que cualquier reproducción de la pieza o ensamblaje aquí representada/o podrá ser rechazado de forma unilateral por incumplimiento de las tolerancias que la norma especifica.

PESO : 0,003 kg

Diseñado, revisado y aprobado por: Sergi Piquer Cano	Material : PLA 3mm	Escala dibujo : 2 : 1	Fecha dibujo : 06/08/2017
	TAPA PROTECCION RL		
	Tipo de plano : Pieza	Número de plano : 1.1.3.4	

Parámetros impresión 3D	Ø Filamento	Temperatura extrusión	Velocidad impresión	Densidad relleno	Ø Boquilla	Grosor capa	Grosor pared	Grosor base inf/sup
Piezas L<25mm	3,0 mm	210 °C	30 mm/s	20 %	0,4 mm	0,15 mm	1,0 mm	0,8 mm
Piezas L>25mm					0,6 mm	0,20 mm	1,2 mm	1,0 mm



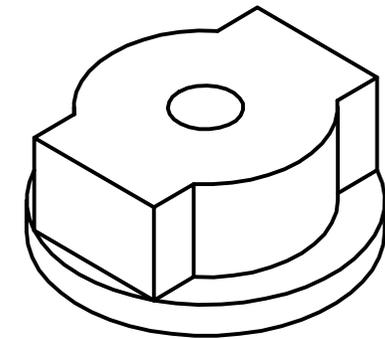
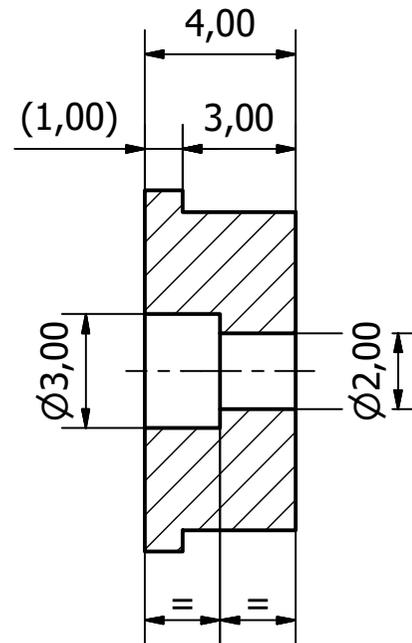
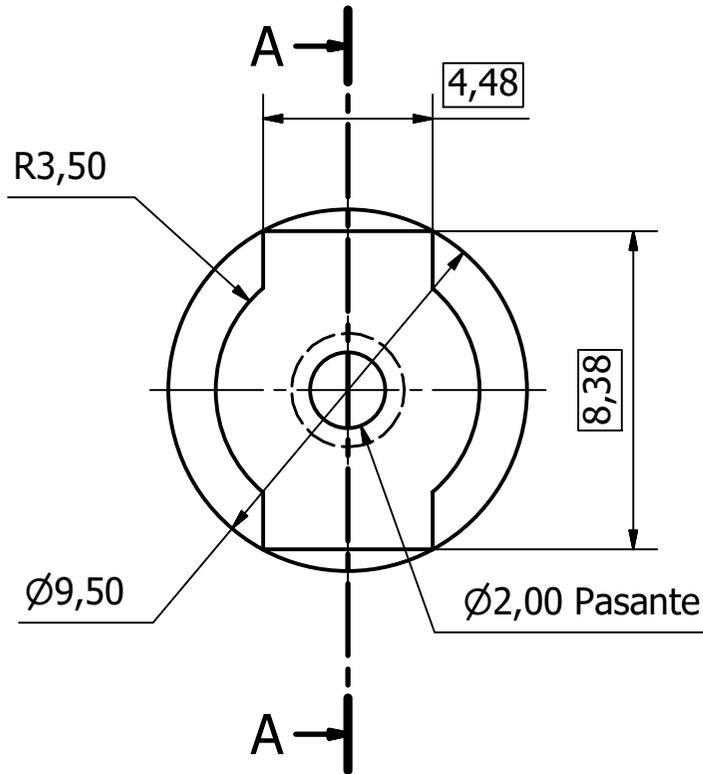
Todas las cotas de este documento quedan definidas bajo la norma **UNE-EN ISO 286-2:2011**, por lo que cualquier reproducción de la pieza o ensamblaje aquí representada/o podrá ser rechazado de forma unilateral por incumplimiento de las tolerancias que la norma especifica.

PESO : 0,000 kg

Diseñado, revisado y aprobado por: Sergi Piquer Cano	Material : PLA 3mm	Escala dibujo : 2 : 1	Fecha dibujo : 06/08/2017
	SEPARADOR RL PIÑON		
	Tipo de plano : Pieza	Número de plano : 1.1.3.5	Edición 01

Parámetros impresión 3D	Ø Filamento	Temperatura extrusión	Velocidad impresión	Densidad relleno	Ø Boquilla	Grosor capa	Grosor pared	Grosor base inf/sup
Piezas L<25mm	3,0 mm	210 °C	30 mm/s	20 %	0,4 mm	0,15 mm	1,0 mm	0,8 mm
Piezas L>25mm					0,6 mm	0,20 mm	1,2 mm	1,0 mm

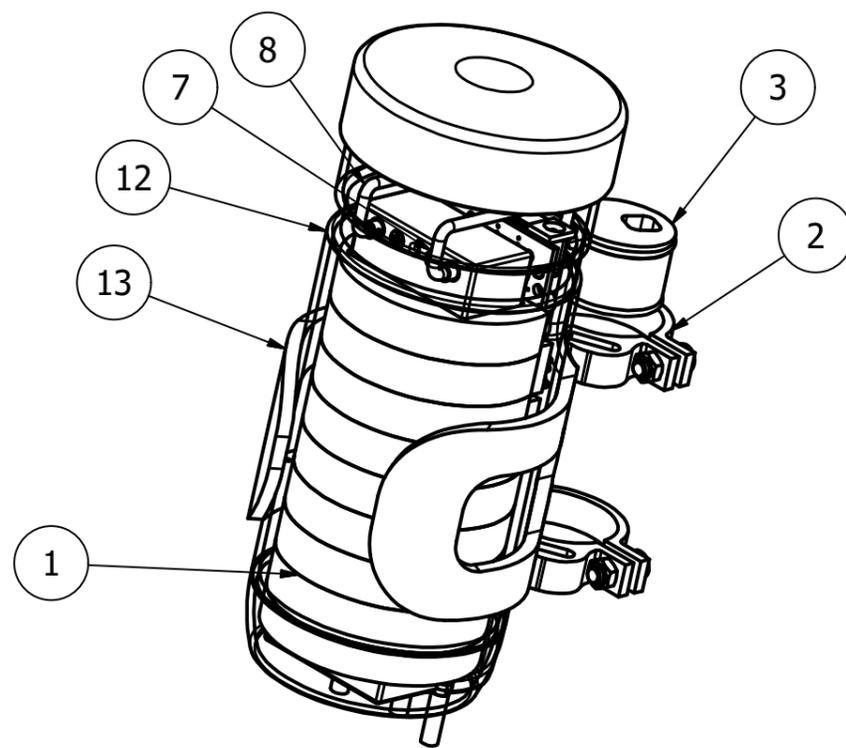
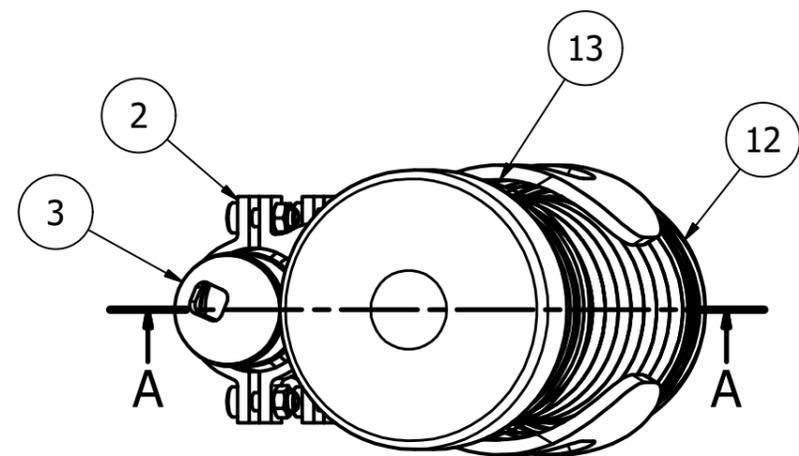
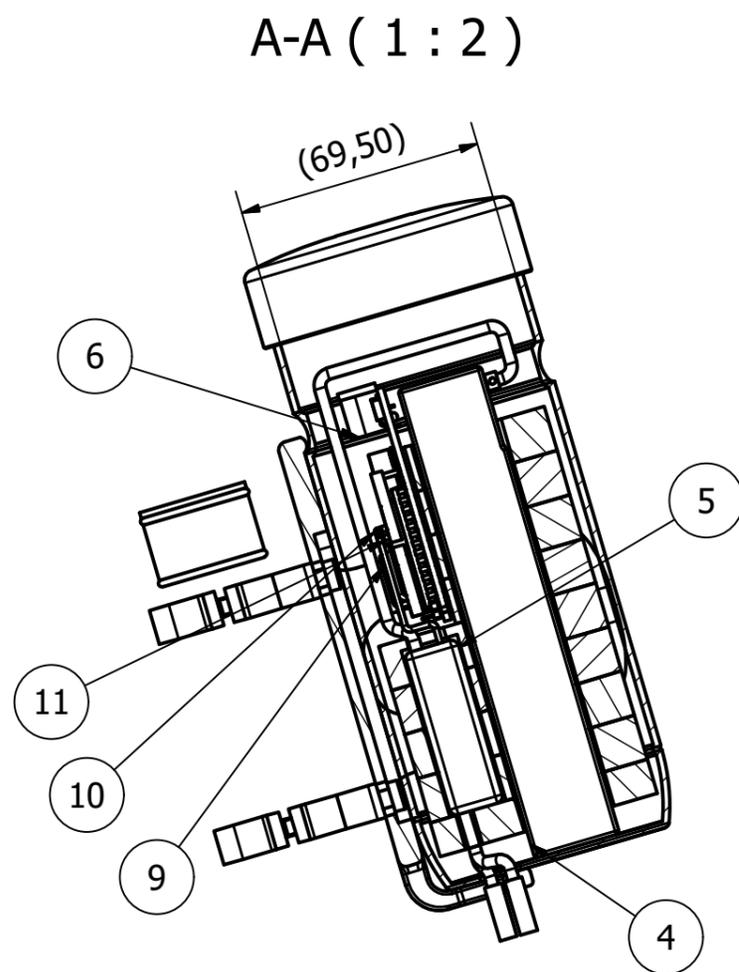
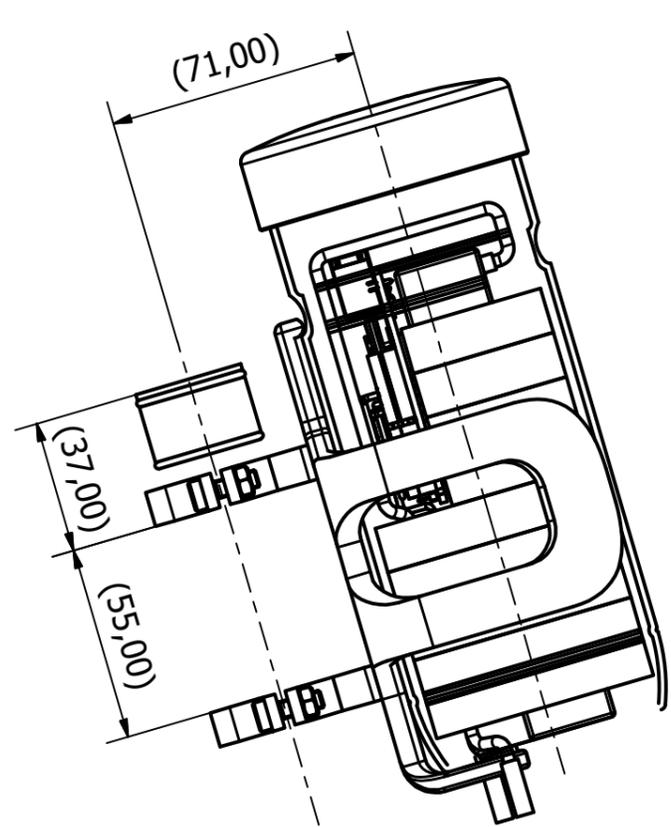
A-A (5 : 1)



Todas las cotas de este documento quedan definidas bajo la norma **UNE-EN ISO 286-2:2011**, por lo que cualquier reproducción de la pieza o ensamble aquí representada/o podrá ser rechazado de forma unilateral por incumplimiento de las tolerancias que la norma especifica.

PESO : 0,000 kg

Diseñado, revisado y aprobado por: Sergi Piquer Cano	Material : PLA 3mm	Escala dibujo : 5 : 1	Fecha dibujo : 06/08/2017
	CIERRE SUJECION PIÑON CONICO		
	Tipo de plano : Pieza	Número de plano : 1.1.3.6	Edición 01



PESO : 0,912 kg

LISTA DE PIEZAS

ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	1.2.1	SOPORTE COMP. ELECTRICOS
2	1	1.2.2	ABRAZADERAS TUBO SILLIN
3	1	1.2.3	SUJECION MOTOR
4	1	ZIPPY 5900mAh 60C	BATERIA LI-PO
5	1	HOBBYWING PLATINUM	VARIADOR BRUSHLESS
6	1	ARDUINO UNO + HC-05	MICRO Y MODULO COMUNICACION
7	1	TURNIGY 12AWG + HEAT SHRINK TUBE	CABLE BATERIA NEGRO
8	1	TURNIGY 12AWG + HEAT SHRINK TUBE	CABLE BATERIA ROJO
9	1	PROTO WIRE	CABLE ARDUINO PWM
10	1	PROTO WIRE	CABLE ARDUINO ROJO
11	1	PROTO WIRE	CABLE ARDUINO NEGRO
12	1	BTWIN PORTAHERR.	BOTELLIN
13	1	BTWIN 500	SOPORTE BOTELLIN

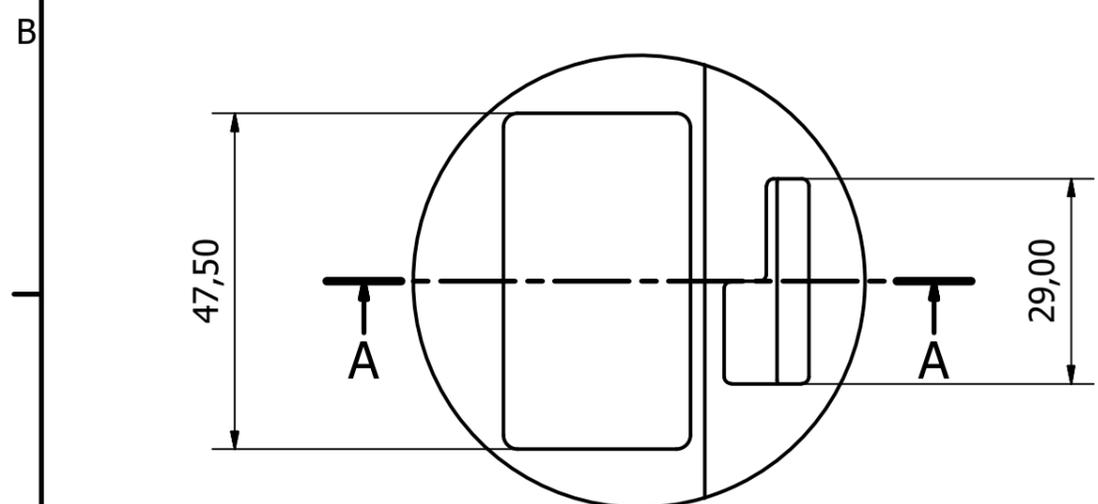
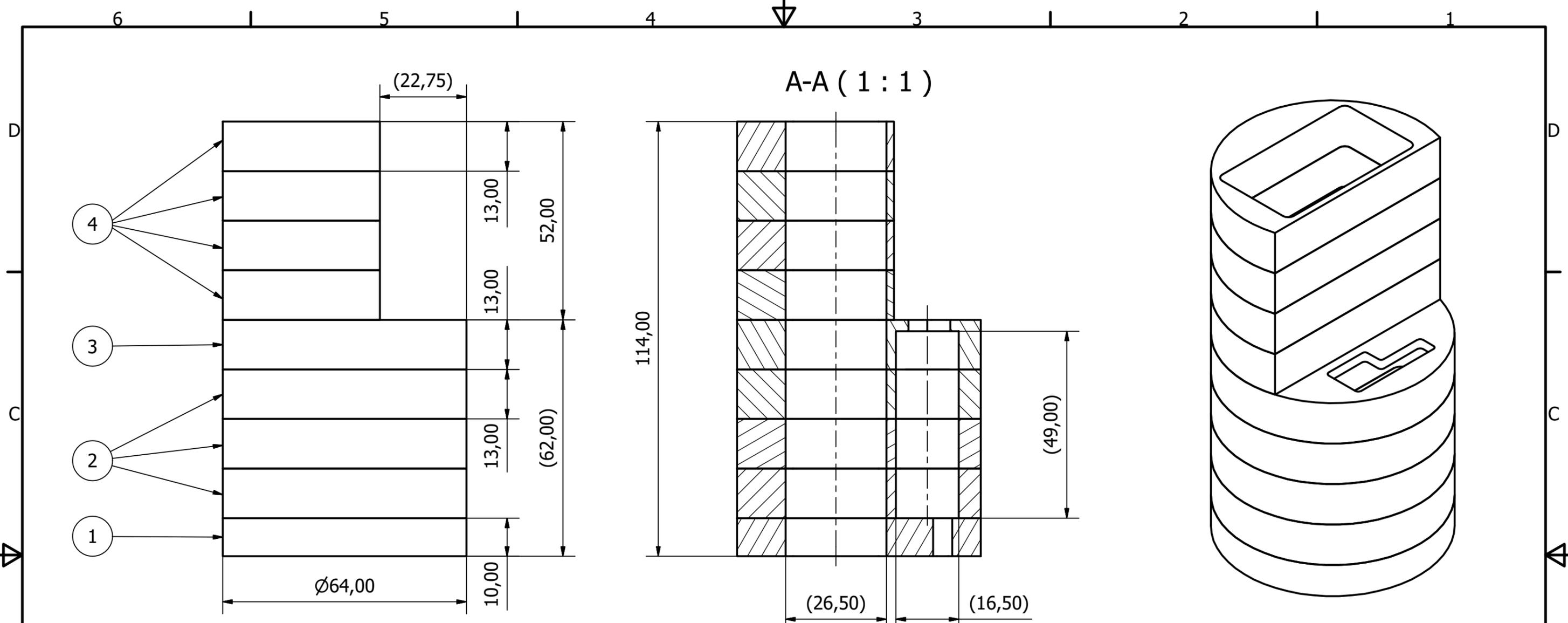
Diseñado, revisado y aprobado por: **Sergi Piquer Cano** Elementos de unión : Estándar **DIN/ISO** Escala dibujo : **1 : 2** Fecha dibujo : **13/08/2017**

Todas las cotas de este documento quedan definidas bajo la norma **UNE-EN ISO 286-2:2011**, por lo que cualquier reproducción de la pieza o ensamble aquí representada/o podrá ser rechazado de forma unilateral por incumplimiento de las tolerancias que la norma especifica.



SIST. ELECTRICO Y SOPORTERIA

Tipo de plano : **Conjunto** Número de plano : **1.2** Edición : **01** Hoja : **1 / 1**



PESO : 0,177 kg

LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	1.2.1.1	SOPORTE BATERIA INICIAL
2	3	1.2.1.2	SOPORTE BATERIA MED INF
3	1	1.2.1.3	SOPORTE BATERIA MED SUP
4	4	1.2.1.4	SOPORTE BATERIA FINAL

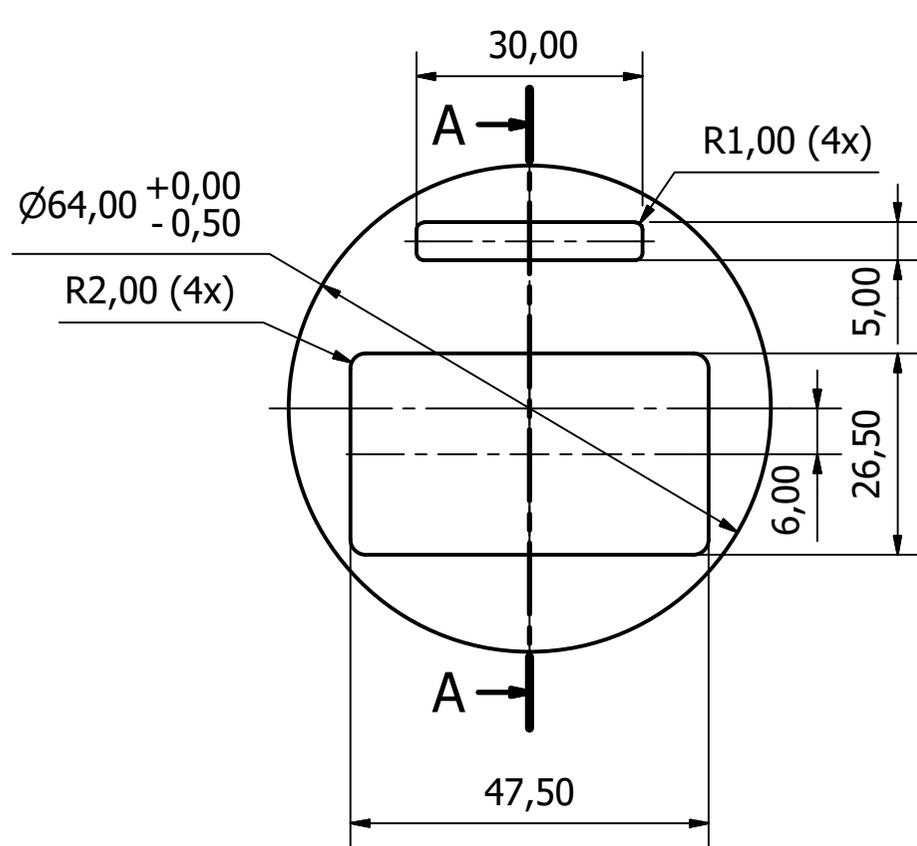
Diseñado, revisado y aprobado por: Sergi Piquer Cano	Elementos de unión : Estándar DIN/ISO	Escala dibujo : 1 : 1	Fecha dibujo : 12/08/2017
--	---	---------------------------------	-------------------------------------

Todas las cotas de este documento quedan definidas bajo la norma **UNE-EN ISO 286-2:2011**, por lo que cualquier reproducción de la pieza o ensamble aquí representada/o podrá ser rechazado de forma unilateral por incumplimiento de las tolerancias que la norma especifica.

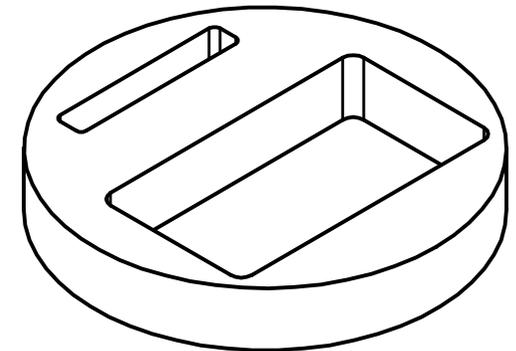
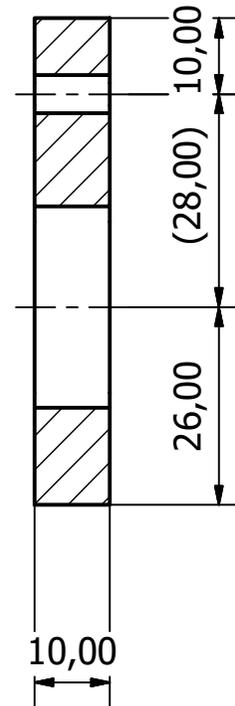


SOPORTE COMP. ELECTRICOS			
Tipo de plano : Conjunto	Número de plano : 1.2.1	Edición 01	Hoja 1 / 1

Parámetros impresión 3D	Ø Filamento	Temperatura extrusión	Velocidad impresión	Densidad relleno	Ø Boquilla	Grosor capa	Grosor pared	Grosor base inf/sup
Piezas L<25mm	3,0 mm	210 °C	30 mm/s	20 %	0,4 mm	0,15 mm	1,0 mm	0,8 mm
Piezas L>25mm					0,6 mm	0,20 mm	1,2 mm	1,0 mm



A-A (1 : 1)

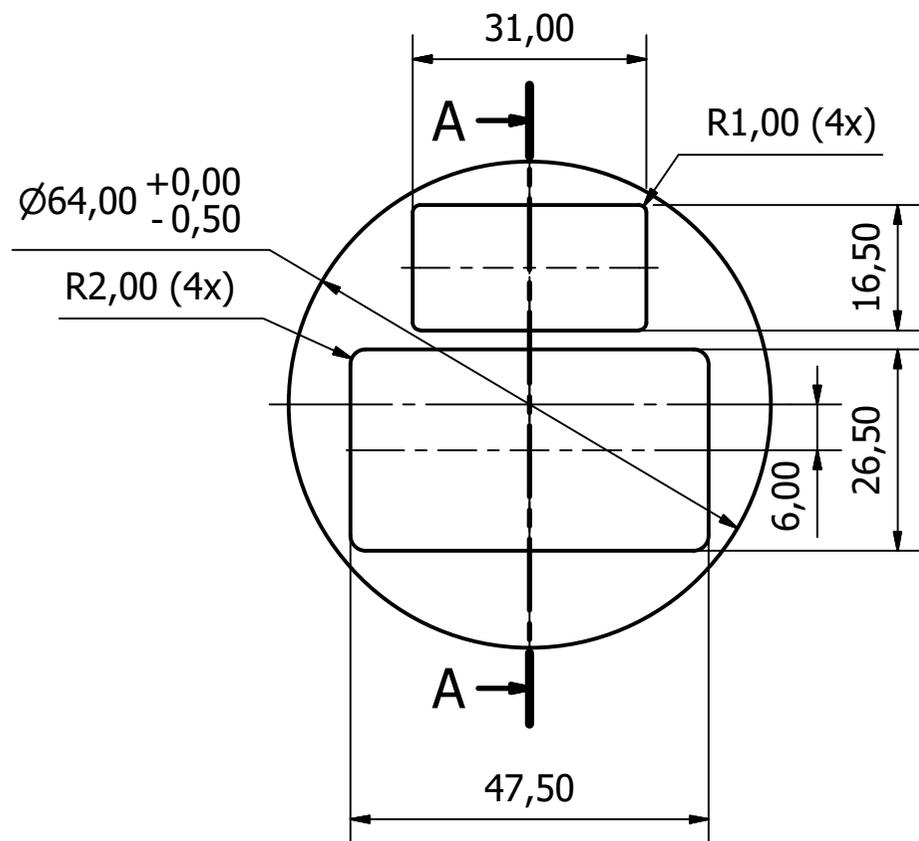


Todas las cotas de este documento quedan definidas bajo la norma **UNE-EN ISO 286-2:2011**, por lo que cualquier reproducción de la pieza o ensamblaje aquí representada/o podrá ser rechazado de forma unilateral por incumplimiento de las tolerancias que la norma especifica.

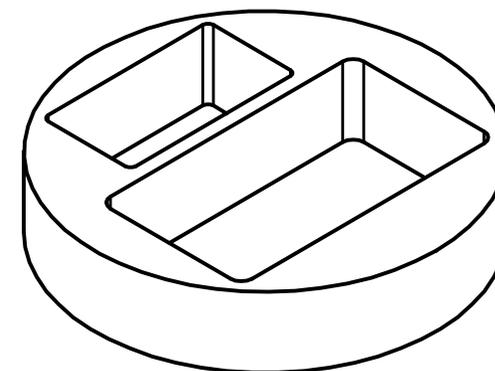
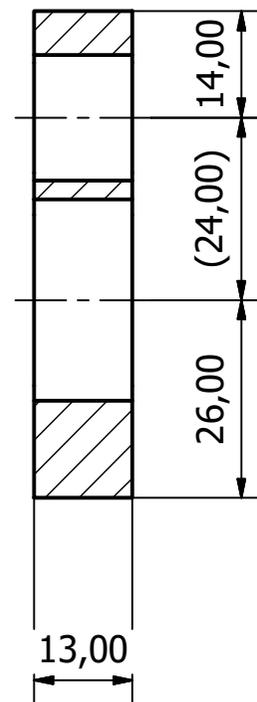
PESO : 0,022 kg

Diseñado, revisado y aprobado por: Sergi Piquer Cano		Material : PLA 3mm	Escala dibujo : 1 : 1	Fecha dibujo : 06/08/2017
		SOPORTE BATERIA INICIAL		
		Tipo de plano : Pieza	Número de plano : 1.2.1.1	Edición 01

Parámetros impresión 3D	Ø Filamento	Temperatura extrusión	Velocidad impresión	Densidad relleno	Ø Boquilla	Grosor capa	Grosor pared	Grosor base inf/sup
Piezas L<25mm	3,0 mm	210 °C	30 mm/s	20 %	0,4 mm	0,15 mm	1,0 mm	0,8 mm
Piezas L>25mm					0,6 mm	0,20 mm	1,2 mm	1,0 mm



A-A (1 : 1)

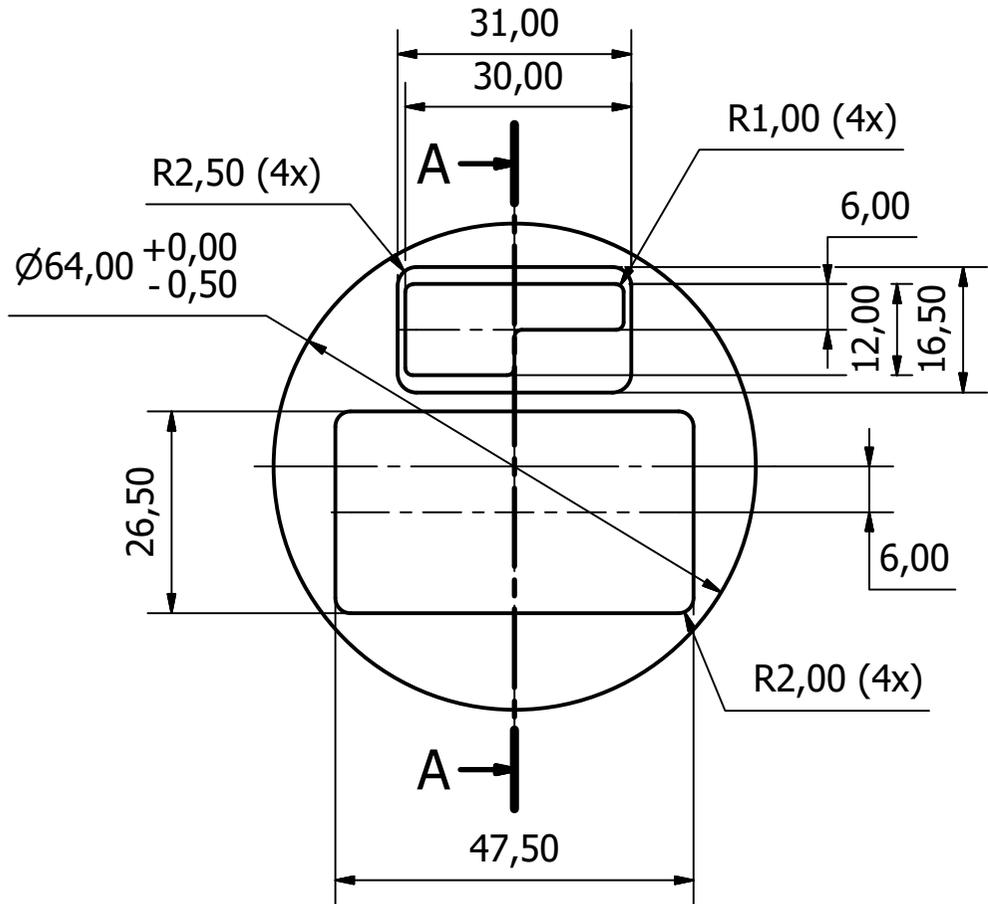


Todas las cotas de este documento quedan definidas bajo la norma **UNE-EN ISO 286-2:2011**, por lo que cualquier reproducción de la pieza o ensamblaje aquí representada/o podrá ser rechazado de forma unilateral por incumplimiento de las tolerancias que la norma específica.

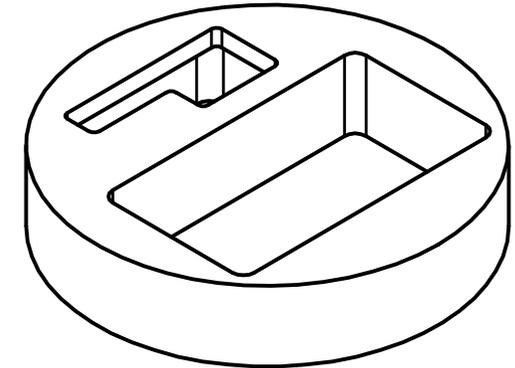
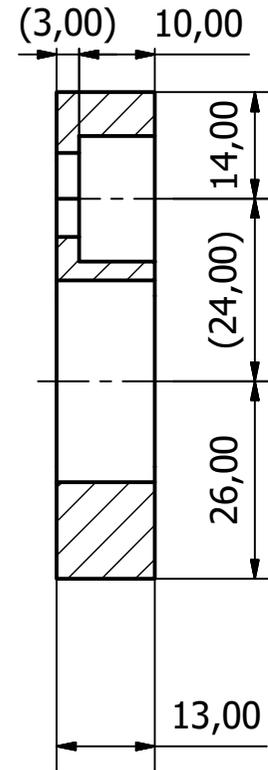
PESO : 0,023 kg

Diseñado, revisado y aprobado por: Sergi Piquer Cano		Material : PLA 3mm	Escala dibujo : 1 : 1	Fecha dibujo : 06/08/2017
		SOPORTE BATERIA MED INF		
		Tipo de plano : Pieza	Número de plano : 1.2.1.2	Edición 01

Parámetros impresión 3D	Ø Filamento	Temperatura extrusión	Velocidad impresión	Densidad relleno	Ø Boquilla	Grosor capa	Grosor pared	Grosor base inf/sup
Piezas L<25mm	3,0 mm	210 °C	30 mm/s	20 %	0,4 mm	0,15 mm	1,0 mm	0,8 mm
Piezas L>25mm					0,6 mm	0,20 mm	1,2 mm	1,0 mm



A-A (1 : 1)

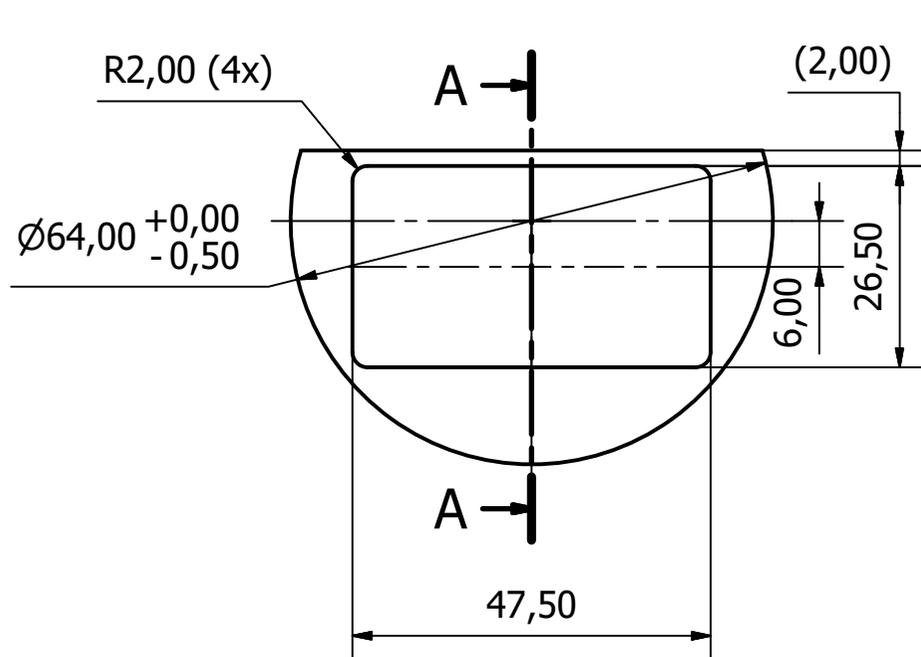


Todas las cotas de este documento quedan definidas bajo la norma **UNE-EN ISO 286-2:2011**, por lo que cualquier reproducción de la pieza o ensamblaje aquí representada/o podrá ser rechazado de forma unilateral por incumplimiento de las tolerancias que la norma especifica.

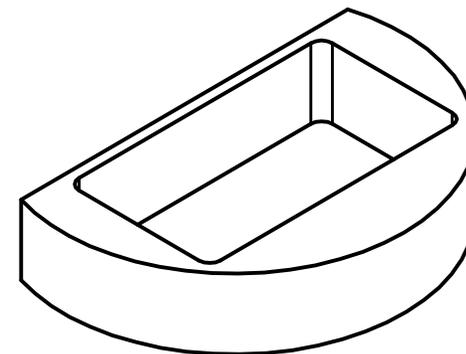
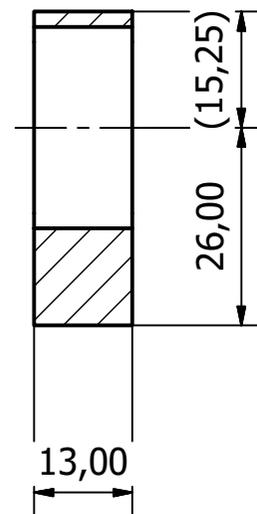
PESO : 0,024 kg

Diseñado, revisado y aprobado por: Sergi Piquer Cano		Material : PLA 3mm	Escala dibujo : 1 : 1	Fecha dibujo : 06/08/2017
		SOPORTE BATERIA MED SUP		
		Tipo de plano : Pieza	Número de plano : 1.2.1.3	

Parámetros impresión 3D	Ø Filamento	Temperatura extrusión	Velocidad impresión	Densidad relleno	Ø Boquilla	Grosor capa	Grosor pared	Grosor base inf/sup
Piezas L<25mm	3,0 mm	210 °C	30 mm/s	20 %	0,4 mm	0,15 mm	1,0 mm	0,8 mm
Piezas L>25mm					0,6 mm	0,20 mm	1,2 mm	1,0 mm



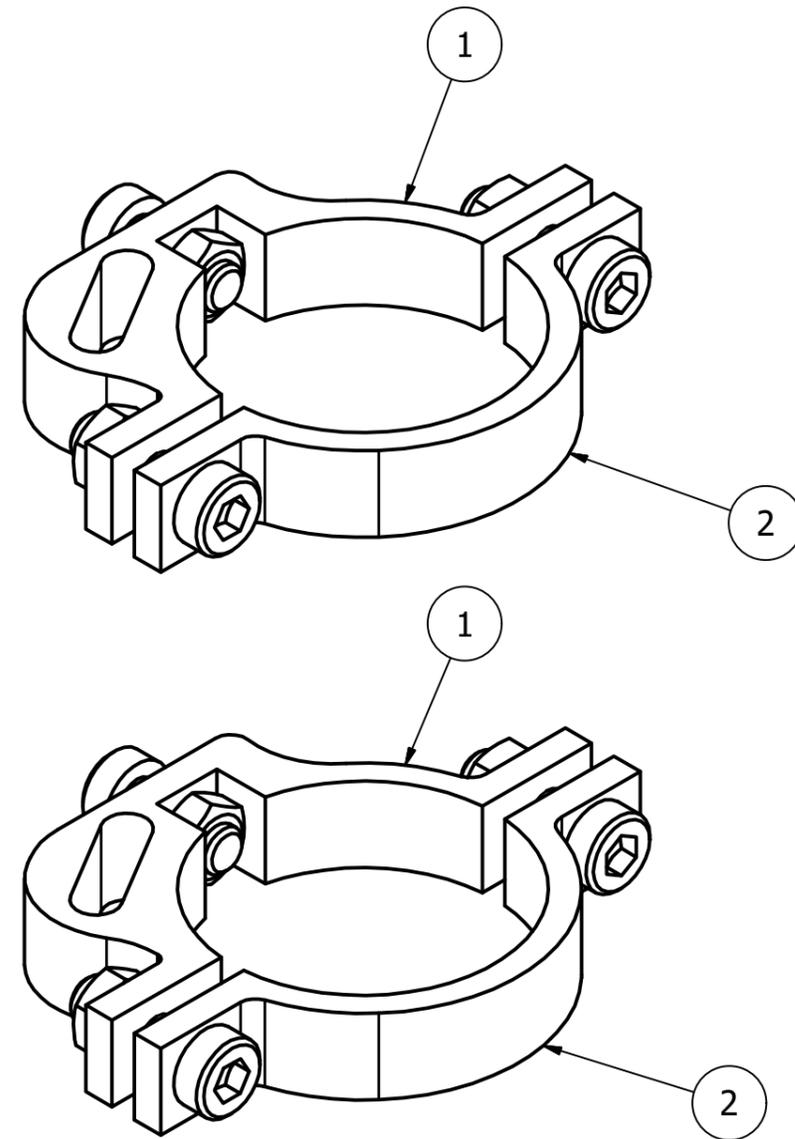
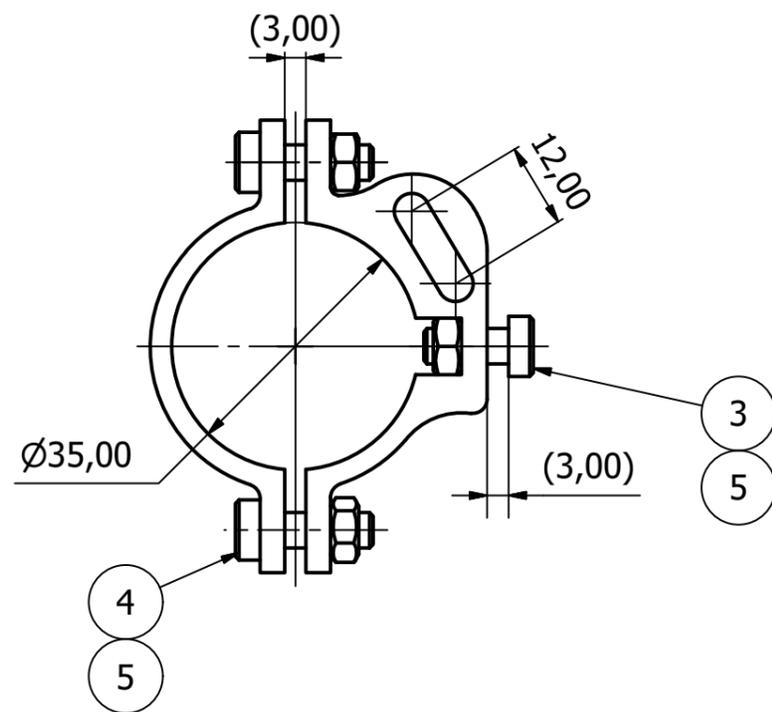
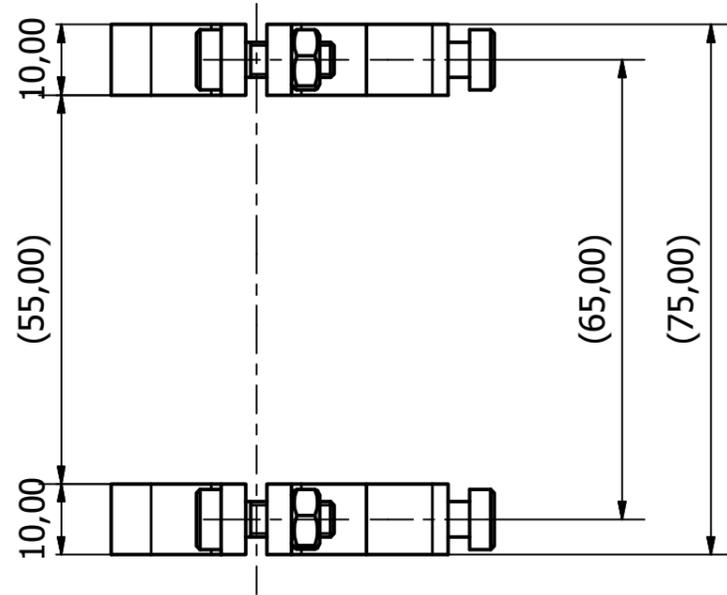
A-A (1 : 1)



Todas las cotas de este documento quedan definidas bajo la norma **UNE-EN ISO 286-2:2011**, por lo que cualquier reproducción de la pieza o ensamblaje aquí representada/o podrá ser rechazado de forma unilateral por incumplimiento de las tolerancias que la norma específica.

PESO : 0,015 kg

Diseñado, revisado y aprobado por: Sergi Piquer Cano	Material : PLA 3mm	Escala dibujo : 1 : 1	Fecha dibujo : 06/08/2017
	SOPORTE BATERIA FINAL		
	Tipo de plano : Pieza	Número de plano : 1.2.1.4	



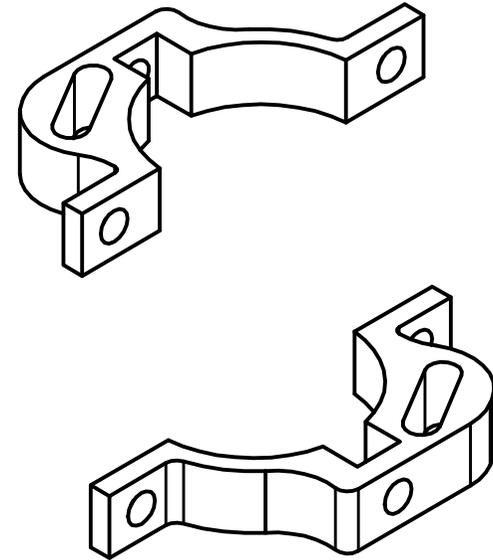
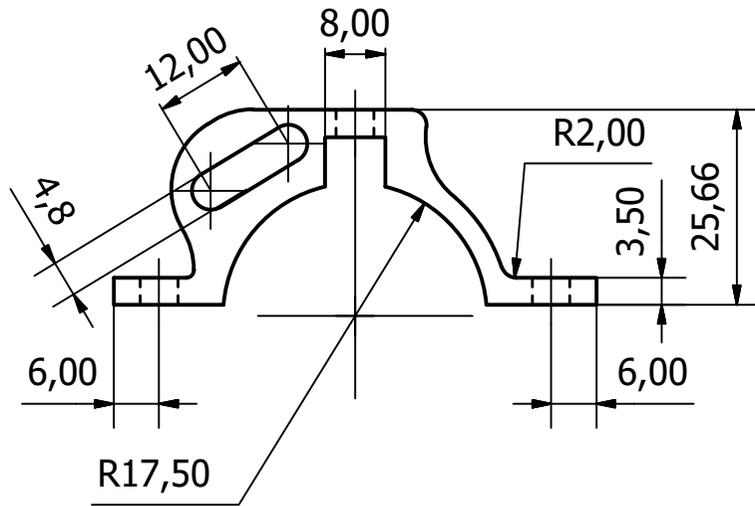
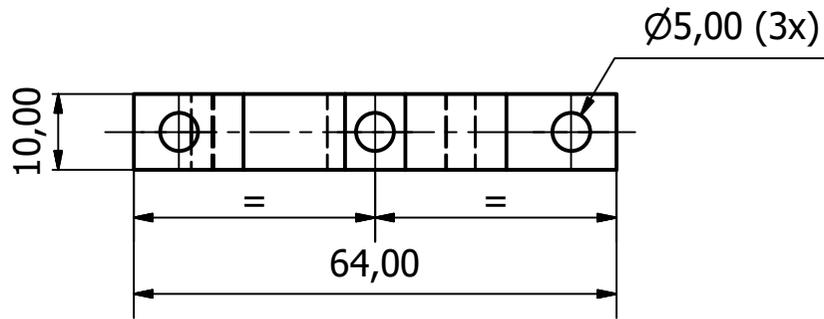
PESO : 0,045 kg

LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	2	1.2.2.1	ABRAZADERA TUBO
2	2	1.2.2.2	ABRAZADERA TUBO 2
3	2	DIN 6912 - M5 x 12	TORNILLO CABEZA CILINDRICA
4	4	DIN 6912 - M5 x 16	TORNILLO CABEZA CILINDRICA
5	6	DIN 934 - M5	TUERCA CABEZA HEXAGONAL

Diseñado, revisado y aprobado por: Sergi Piquer Cano		Elementos de unión : Estándar DIN/ISO	Escala dibujo : 1 : 1	Fecha dibujo : 12/08/2017
		ABRAZADERAS TUBO SILLIN		
		Tipo de plano : Conjunto	Número de plano : 1.2.2	

Todas las cotas de este documento quedan definidas bajo la norma **UNE-EN ISO 286-2:2011**, por lo que cualquier reproducción de la pieza o ensamble aquí representada/o podrá ser rechazado de forma unilateral por incumplimiento de las tolerancias que la norma especifica.

Parámetros impresión 3D	Ø Filamento	Temperatura extrusión	Velocidad impresión	Densidad relleno	Ø Boquilla	Grosor capa	Grosor pared	Grosor base inf/sup
Piezas L<25mm	3,0 mm	210 °C	30 mm/s	20 %	0,4 mm	0,15 mm	1,0 mm	0,8 mm
Piezas L>25mm					0,6 mm	0,20 mm	1,2 mm	1,0 mm

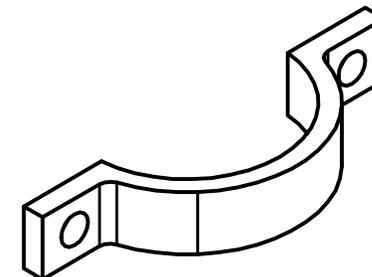
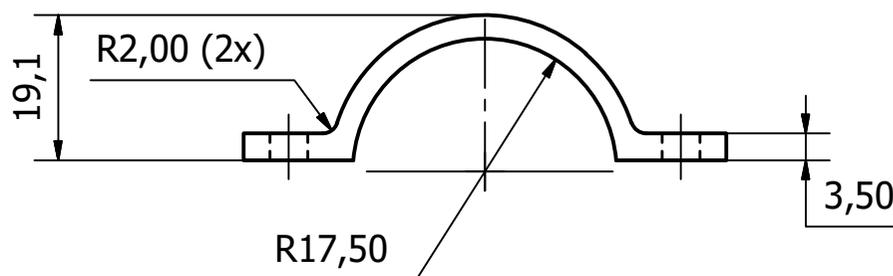
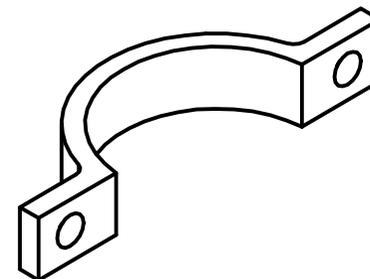
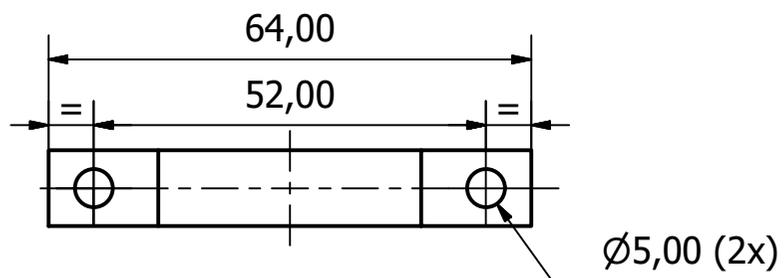


Todas las cotas de este documento quedan definidas bajo la norma **UNE-EN ISO 286-2:2011**, por lo que cualquier reproducción de la pieza o ensamble aquí representada/o podrá ser rechazado de forma unilateral por incumplimiento de las tolerancias que la norma especifica.

PESO : 0,005 kg

Diseñado, revisado y aprobado por: Sergi Piquer Cano	Material : PLA 3mm	Escala dibujo : 1 : 1	Fecha dibujo : 06/08/2017
	ABRAZADERA TUBO		
	Tipo de plano : Pieza	Número de plano : 1.2.2.1	Edición 01

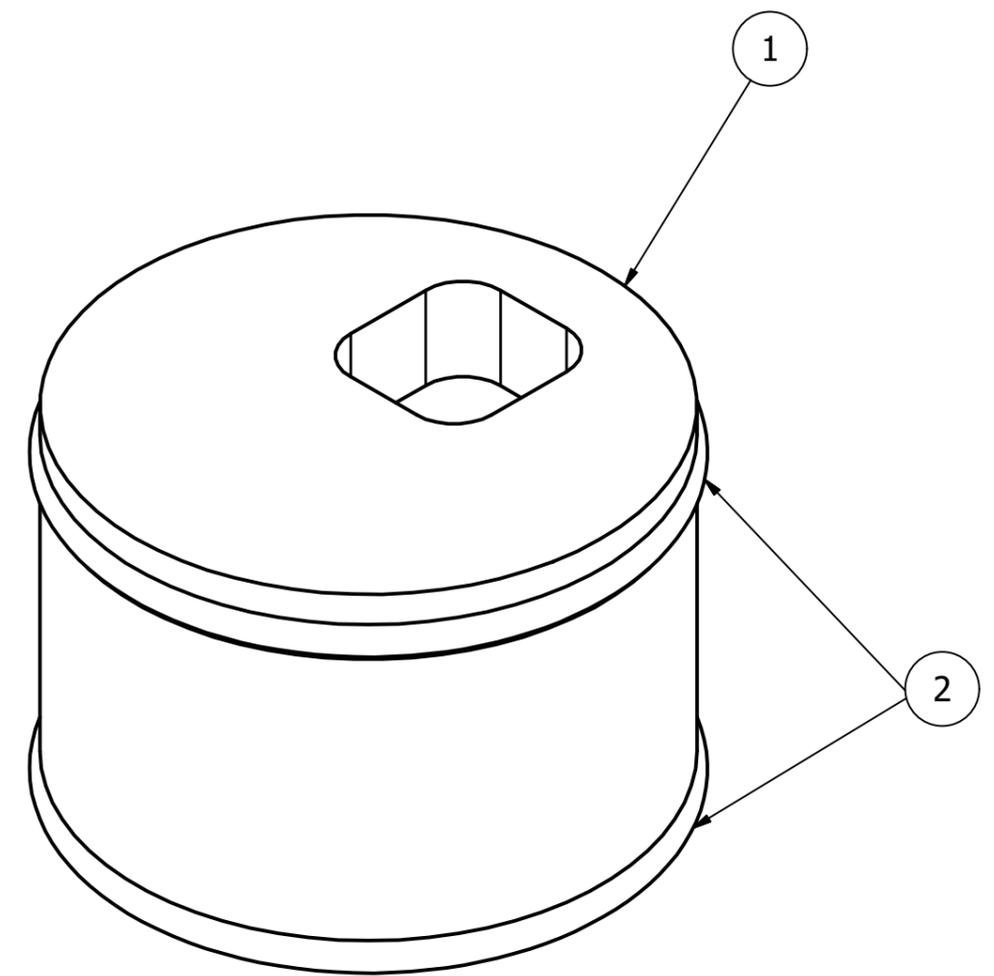
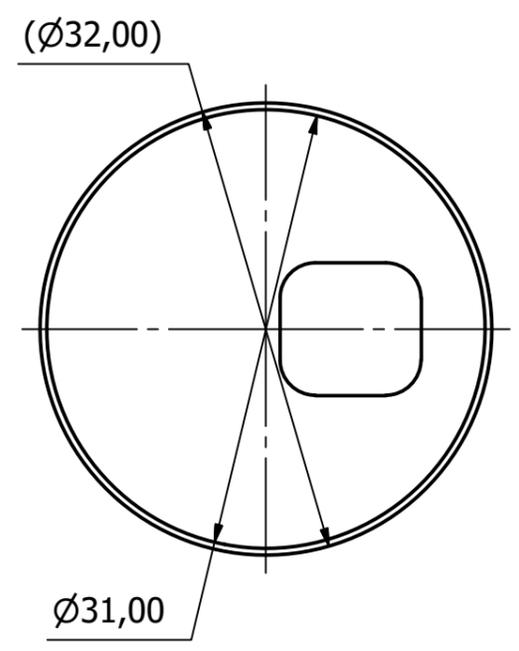
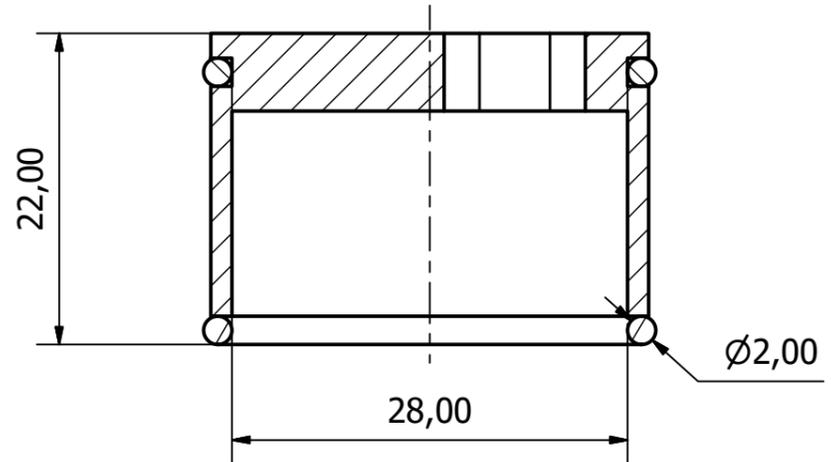
Parámetros impresión 3D	Ø Filamento	Temperatura extrusión	Velocidad impresión	Densidad relleno	Ø Boquilla	Grosor capa	Grosor pared	Grosor base inf/sup
Piezas L<25mm	3,0 mm	210 °C	30 mm/s	20 %	0,4 mm	0,15 mm	1,0 mm	0,8 mm
Piezas L>25mm					0,6 mm	0,20 mm	1,2 mm	1,0 mm



Todas las cotas de este documento quedan definidas bajo la norma **UNE-EN ISO 286-2:2011**, por lo que cualquier reproducción de la pieza o ensamble aquí representada/o podrá ser rechazado de forma unilateral por incumplimiento de las tolerancias que la norma especifica.

PESO : 0,003 kg

Diseñado, revisado y aprobado por: Sergi Piquer Cano	Material : PLA 3mm	Escala dibujo : 1 : 1	Fecha dibujo : 06/08/2017
	ABRAZADERA TUBO 2		
	Tipo de plano : Pieza	Número de plano : 1.2.2.2	

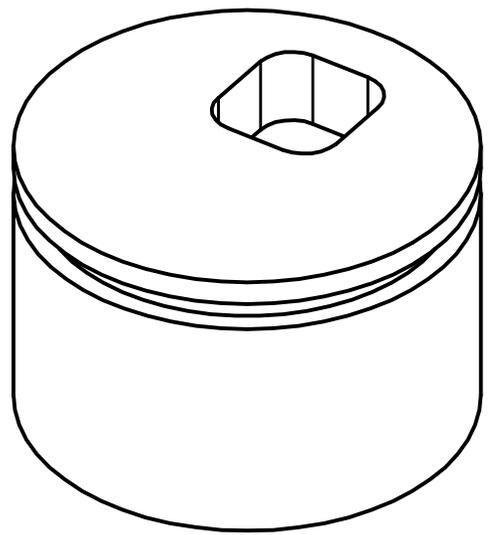
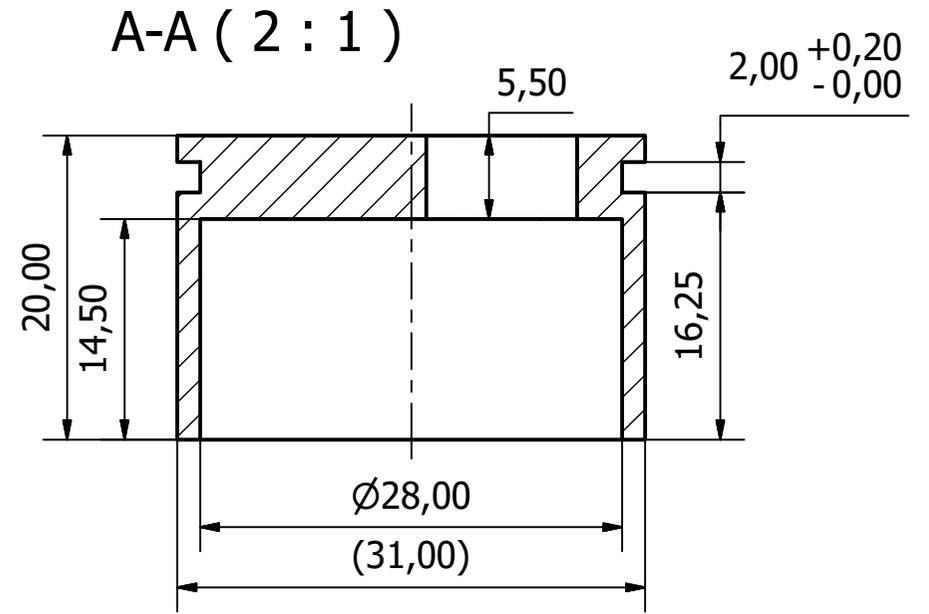
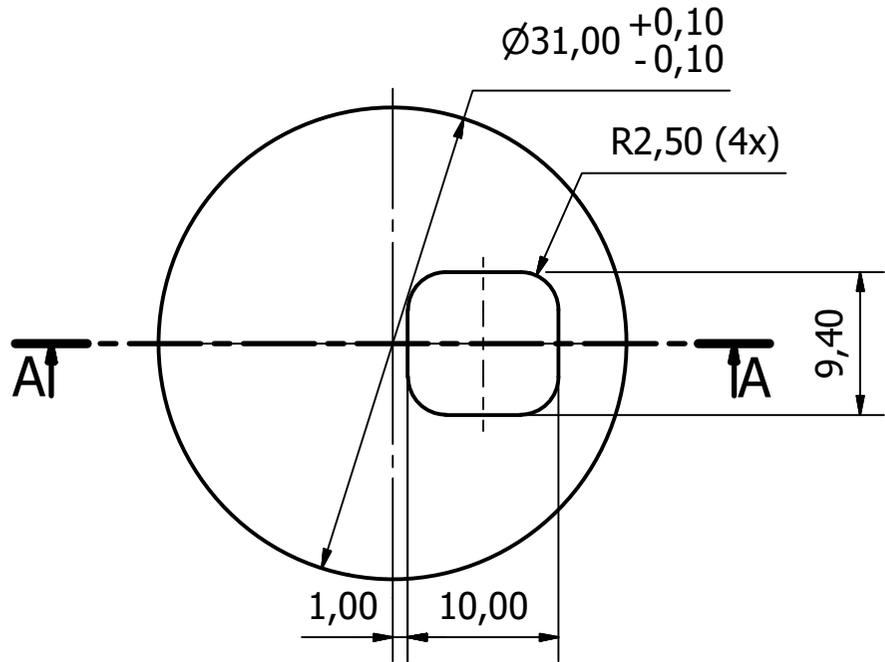


PESO : 0,007 kg

LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	1.2.3.1	TAPON MOTOR
2	2	JT Ø28x2mm	JUNTA TORICA
Diseñado, revisado y aprobado por: Sergi Piquer Cano		Elementos de unión : Estándar DIN/ISO	Escala dibujo : 2 : 1
		Fecha dibujo : 12/08/2017	
			
Tipo de plano : Conjunto		Número de plano : 1.2.3	Edición : 01
		Hoja : 1 / 1	

Todas las cotas de este documento quedan definidas bajo la norma UNE-EN ISO 286-2:2011, por lo que cualquier reproducción de la pieza o ensamble aquí representada/o podrá ser rechazado de forma unilateral por incumplimiento de las tolerancias que la norma especifica.

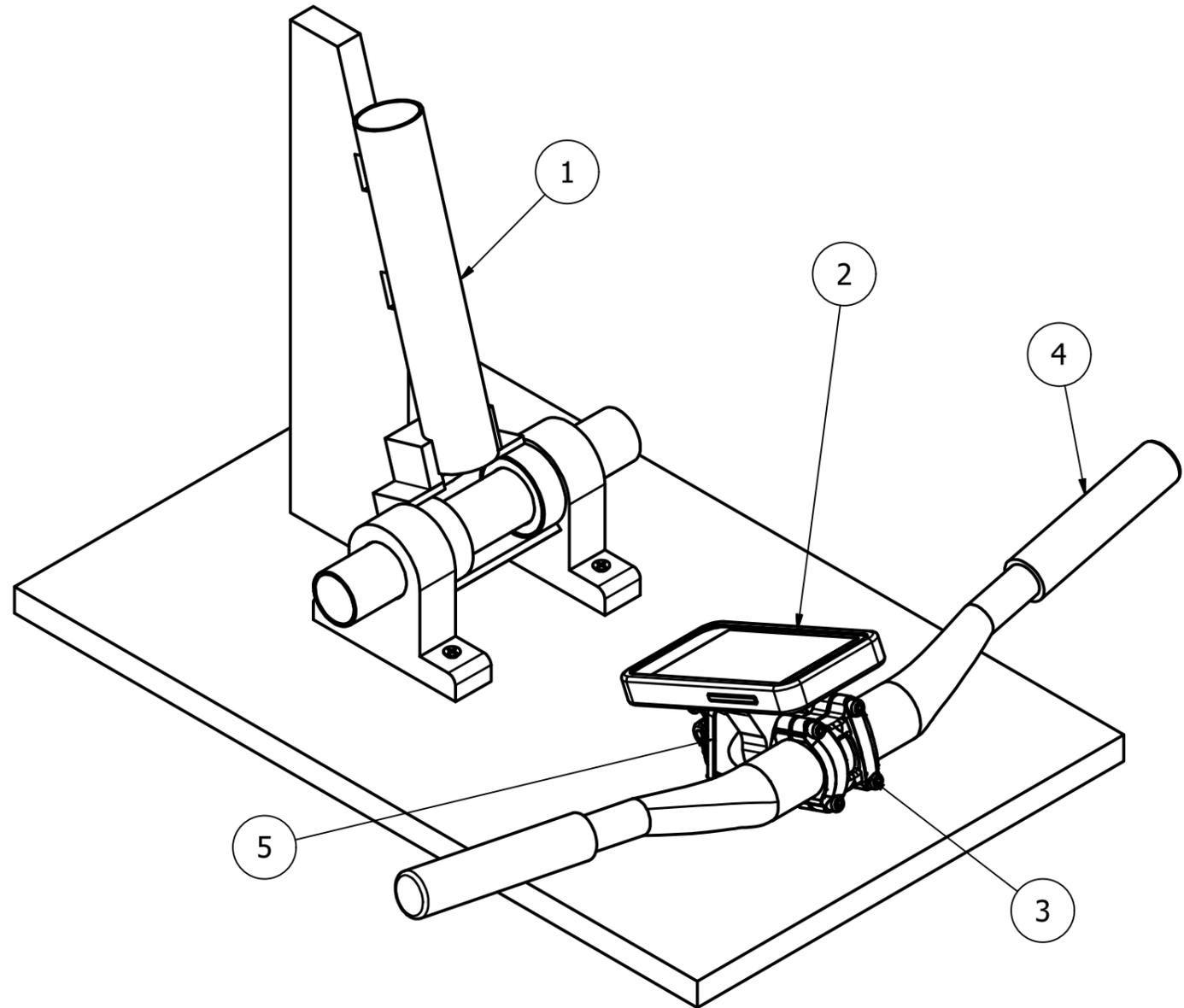
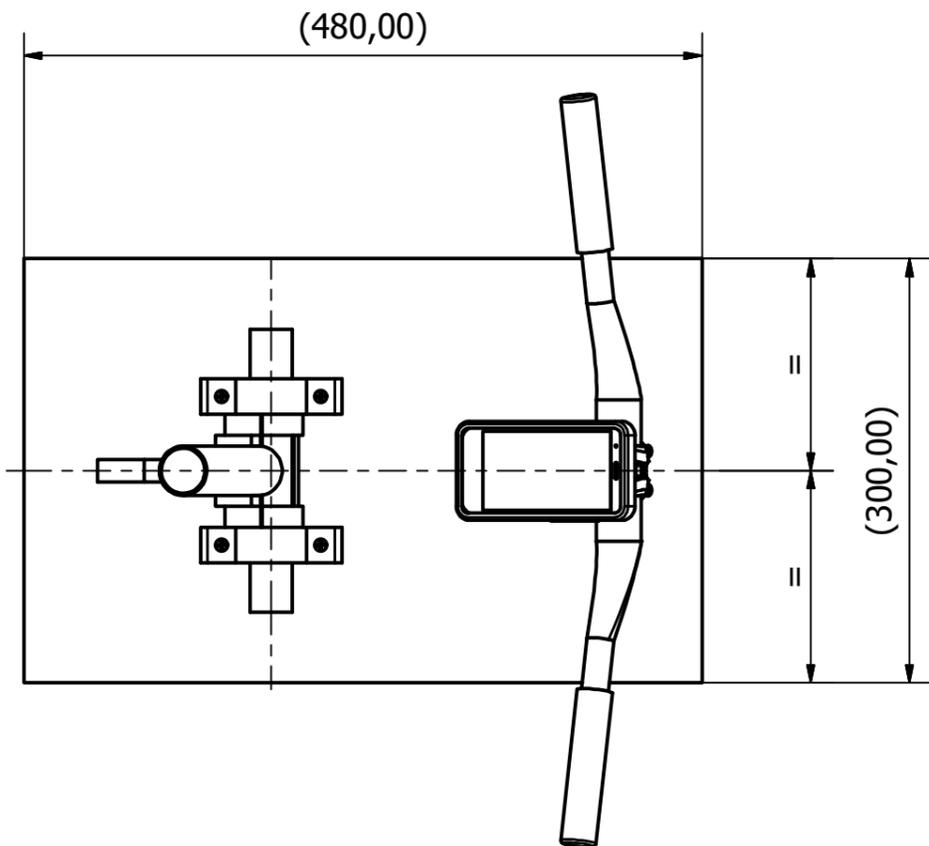
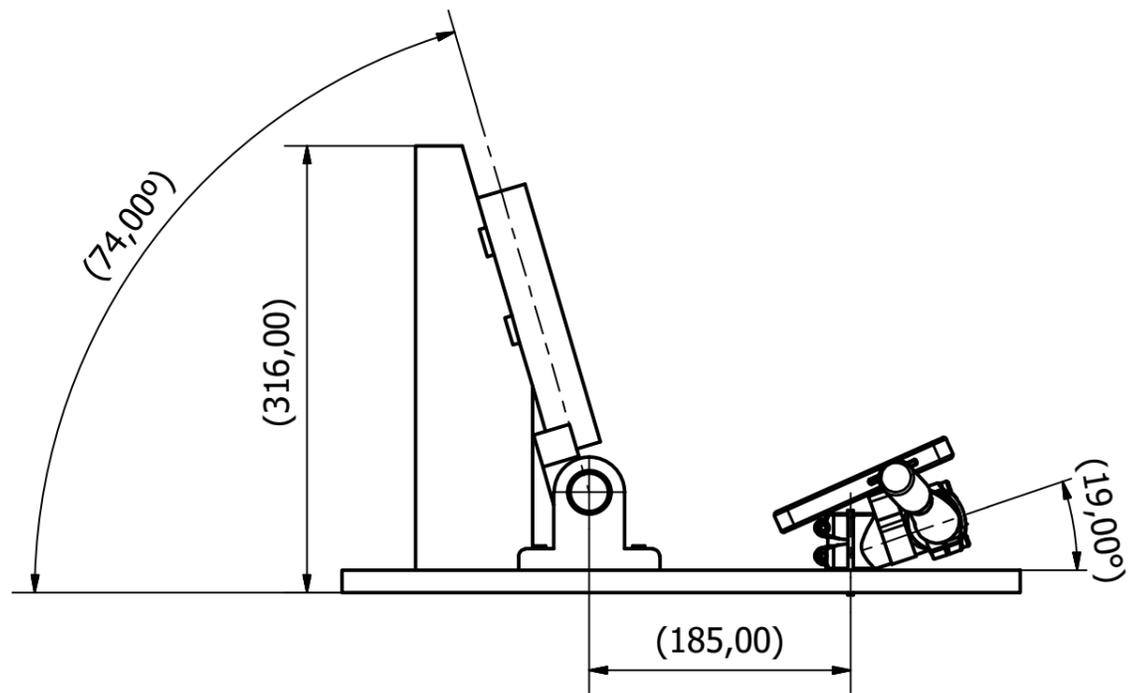
Parámetros impresión 3D	Ø Filamento	Temperatura extrusión	Velocidad impresión	Densidad relleno	Ø Boquilla	Grosor capa	Grosor pared	Grosor base inf/sup
Piezas L<25mm	3,0 mm	210 °C	30 mm/s	20 %	0,4 mm	0,15 mm	1,0 mm	0,8 mm
Piezas L>25mm					0,6 mm	0,20 mm	1,2 mm	1,0 mm



Todas las cotas de este documento quedan definidas bajo la norma **UNE-EN ISO 286-2:2011**, por lo que cualquier reproducción de la pieza o ensamble aquí representada/o podrá ser rechazado de forma unilateral por incumplimiento de las tolerancias que la norma específica.

PESO : 0,007 kg

Diseñado, revisado y aprobado por: Sergi Piquer Cano		Material : PLA 3mm	Escala dibujo : 2 : 1	Fecha dibujo : 06/08/2017
		TAPON MOTOR		
		Tipo de plano : Pieza	Número de plano : 1.2.3.1	

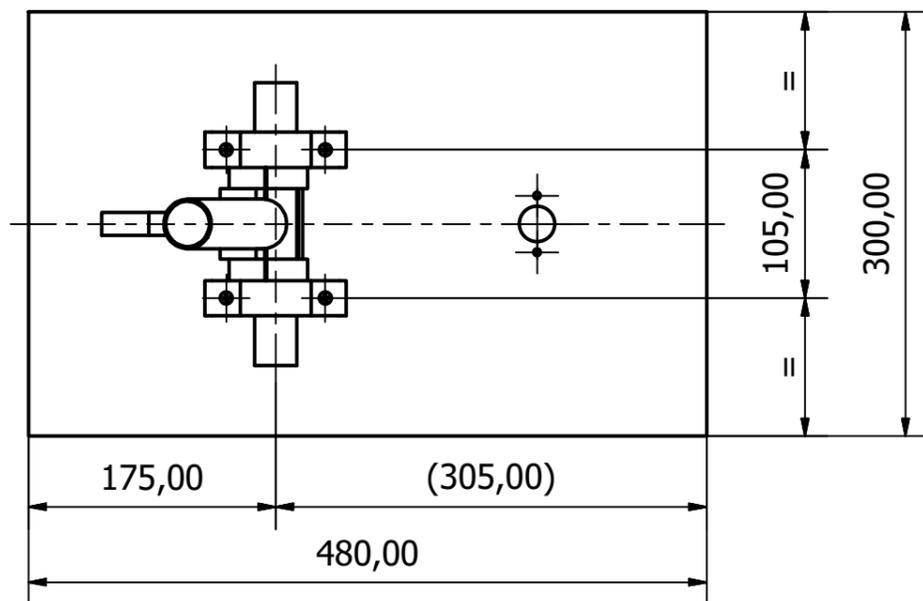
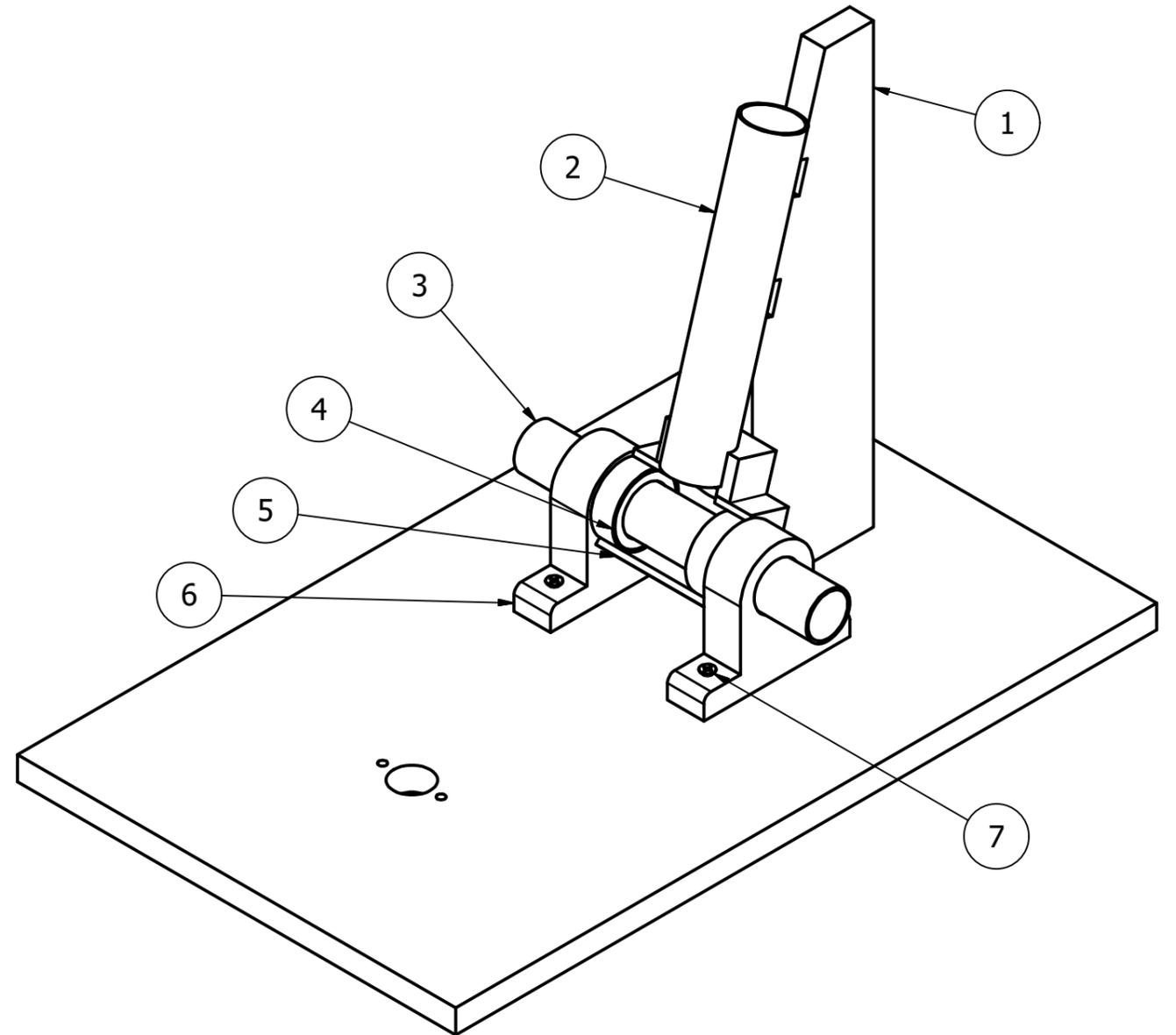
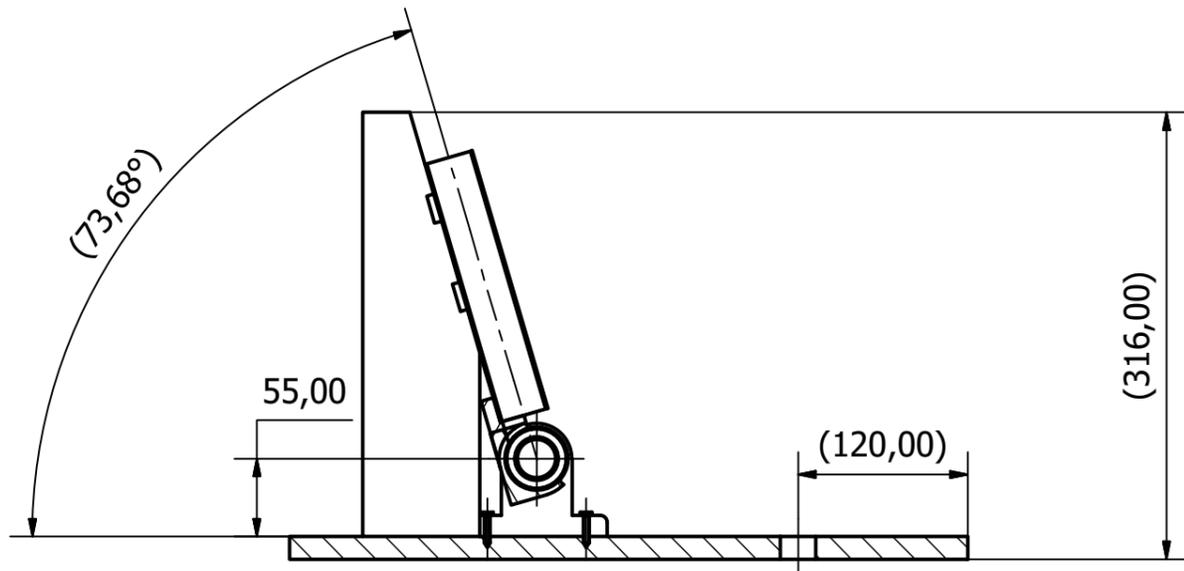


PESO : 3,553 kg

LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	1.3.1	BANCADA PROTOTIPO
2	1	MOTO G + SOPORTE	CONJUNTO_DISPLAY
3	1	IRIDIUM	POTENCIA
4	1	RITCHEY COMP	MANILLAR_BANCADA
5	2	BRIDA NEGRA	BRIDA SOPORTE POTENCIA

Diseñado, revisado y aprobado por: Sergi Piquer Cano		Elementos de unión : Estándar DIN/ISO	Escala dibujo : 1 : 5	Fecha dibujo : 13/08/2017
			BANCADA COMPLETA	
			Tipo de plano : Conjunto	Número de plano : 1.3

Todas las cotas de este documento quedan definidas bajo la norma **UNE-EN ISO 286-2:2011**, por lo que cualquier reproducción de la pieza o ensamble aquí representada/o podrá ser rechazado de forma unilateral por incumplimiento de las tolerancias que la norma especifica.

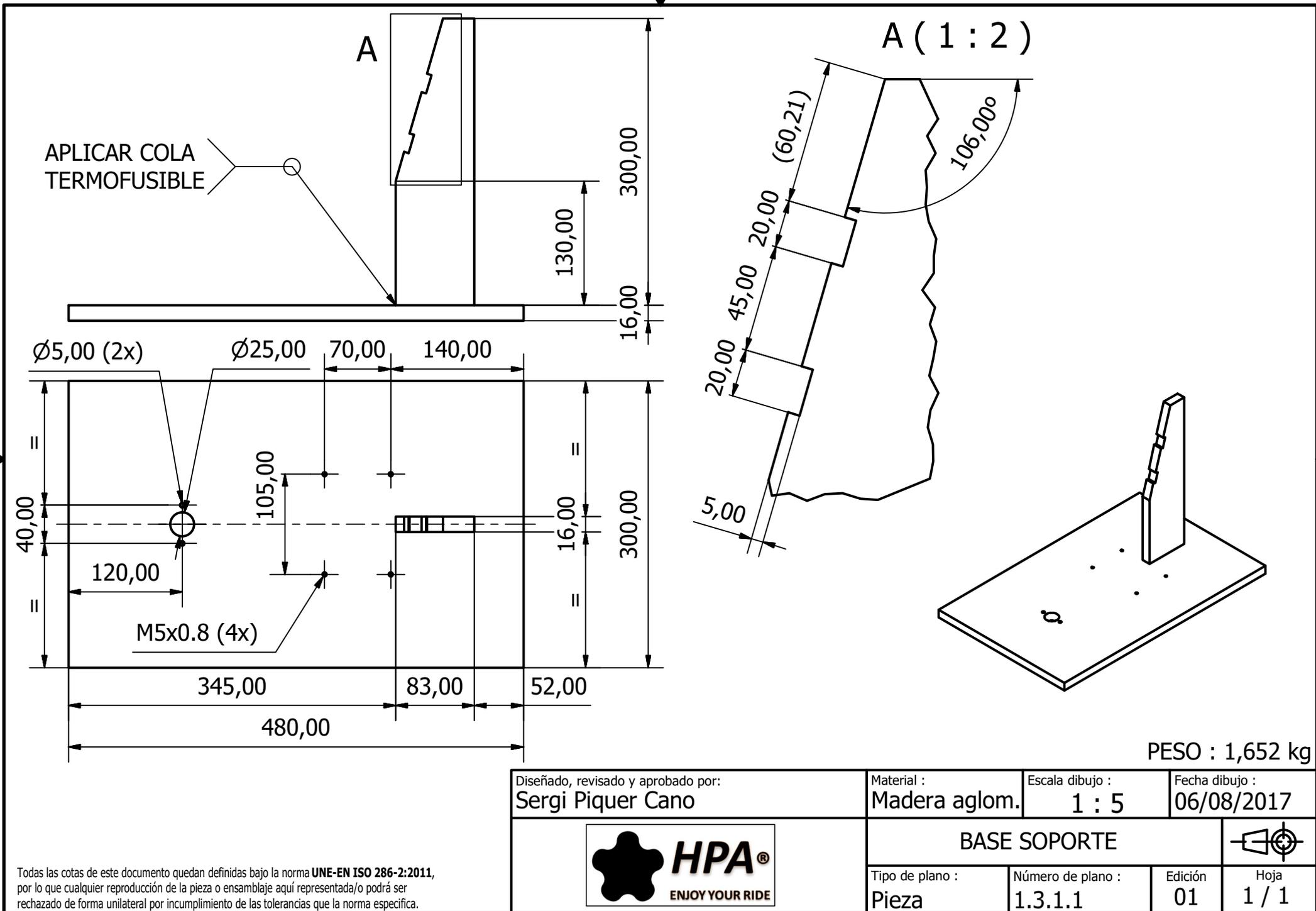


PESO : 2,506 kg

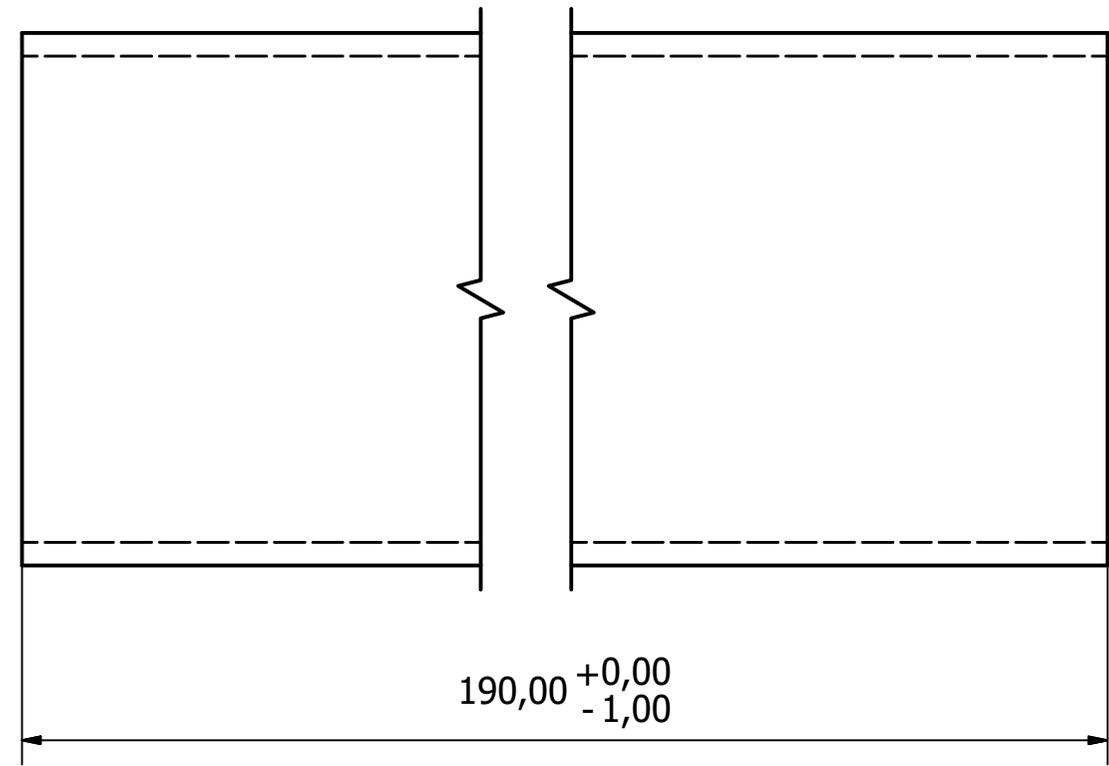
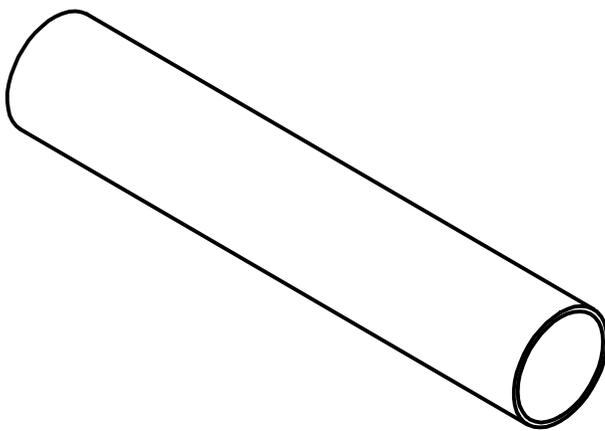
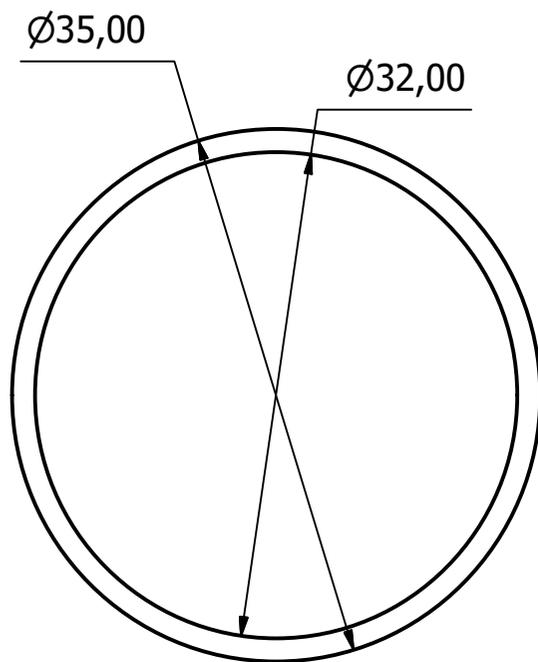
LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	1.3.1.1	BASE SOPORTE
2	1	1.3.1.2	TUBO SILLIN
3	1	1.3.1.3	TUBO EJE PEDALIER
4	1	1.3.1.4	TUBO CAJA PEDALIER
5	1	1.3.1.5	UNION TUBO T
6	2	1.3.1.6	SOPORTE EJE PEDALIER
7	4	ISO 7050 - ST4,2 x 25	TORNILLO ROSCA MADERA

Diseñado, revisado y aprobado por: Sergi Piquer Cano		Elementos de unión : Estándar DIN/ISO	Escala dibujo : 1 : 5	Fecha dibujo : 12/08/2017
		BANCADA PROTOTIPO		
		Tipo de plano : Conjunto	Número de plano : 1.3.1	

Todas las cotas de este documento quedan definidas bajo la norma **UNE-EN ISO 286-2:2011**, por lo que cualquier reproducción de la pieza o ensamble aquí representada/o podrá ser rechazado de forma unilateral por incumplimiento de las tolerancias que la norma especifica.



Todas las cotas de este documento quedan definidas bajo la norma **UNE-EN ISO 286-2:2011**, por lo que cualquier reproducción de la pieza o ensamblaje aquí representada/o podrá ser rechazado de forma unilateral por incumplimiento de las tolerancias que la norma especifica.



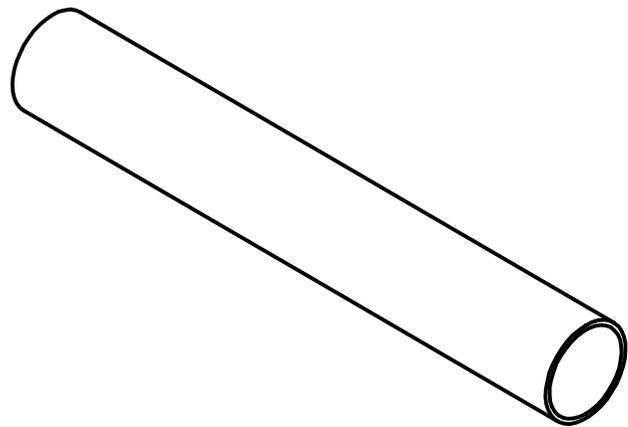
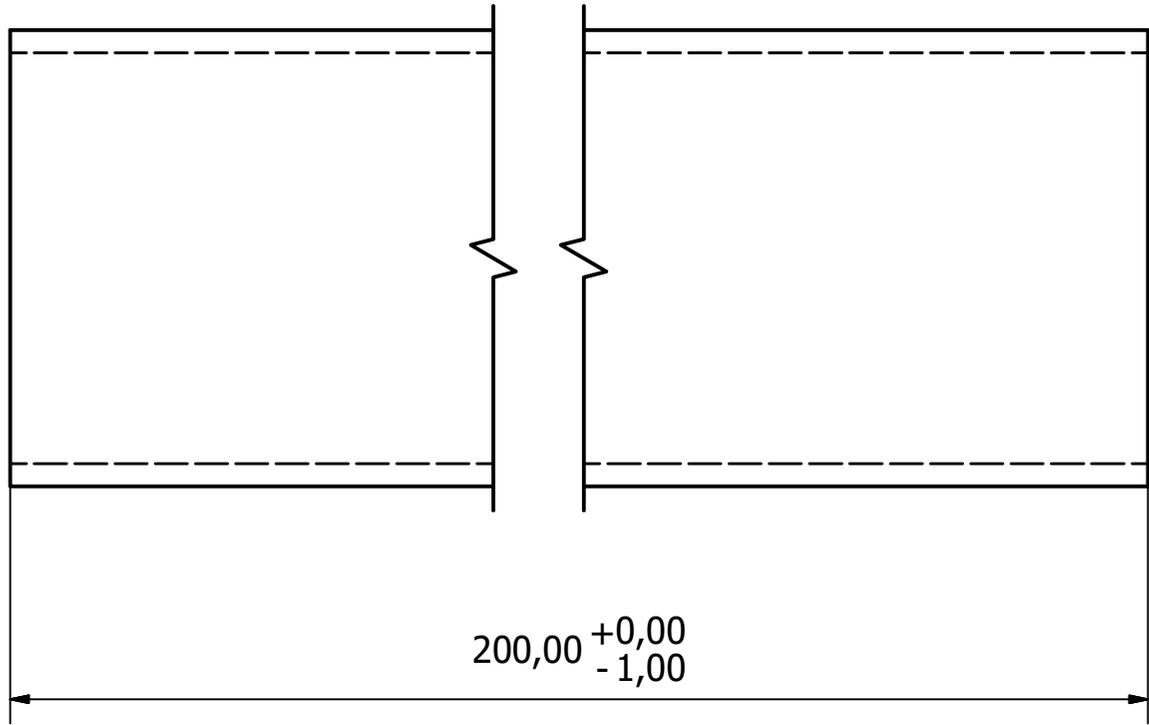
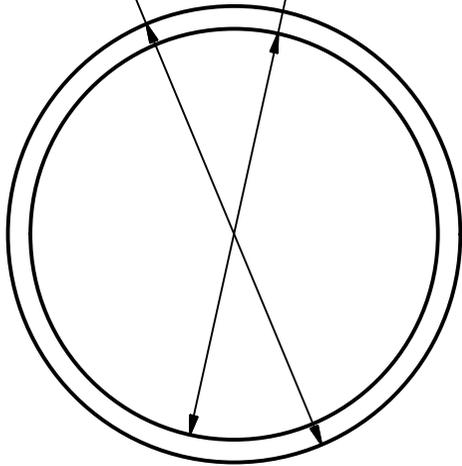
Todas las cotas de este documento quedan definidas bajo la norma **UNE-EN ISO 286-2:2011**, por lo que cualquier reproducción de la pieza o ensamblaje aquí representada/o podrá ser rechazado de forma unilateral por incumplimiento de las tolerancias que la norma especifica.

PESO : 0,235 kg

Diseñado, revisado y aprobado por: Sergi Piquer Cano	Material : S235	Escala dibujo : 2 : 1	Fecha dibujo : 12/08/2017
	TUBO SILLIN		
	Tipo de plano : Pieza	Número de plano : 1.3.1.2	Edición 01

Ø30,00

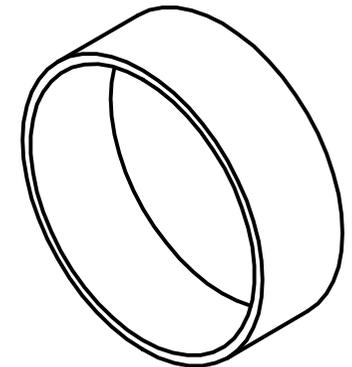
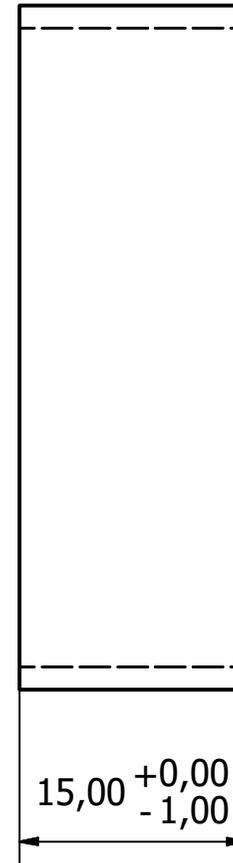
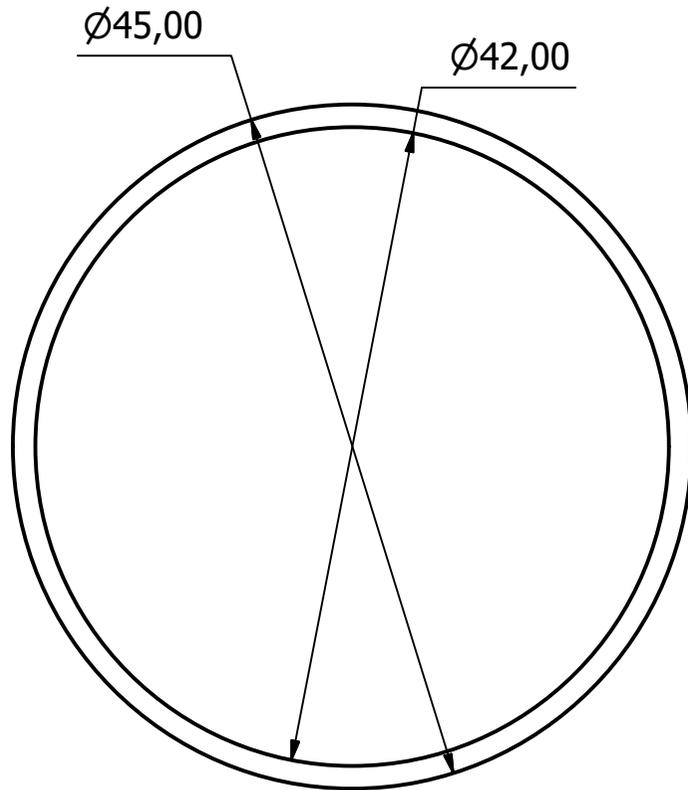
Ø27,00



Todas las cotas de este documento quedan definidas bajo la norma **UNE-EN ISO 286-2:2011**, por lo que cualquier reproducción de la pieza o ensamble aquí representada/o podrá ser rechazado de forma unilateral por incumplimiento de las tolerancias que la norma especifica.

PESO : 0,211 kg

Diseñado, revisado y aprobado por: Sergi Piquer Cano	Material : S235	Escala dibujo : 2 : 1	Fecha dibujo : 12/08/2017
	TUBO EJE PEDALIER		
	Tipo de plano : Pieza	Número de plano : 1.3.1.3	Edición 01

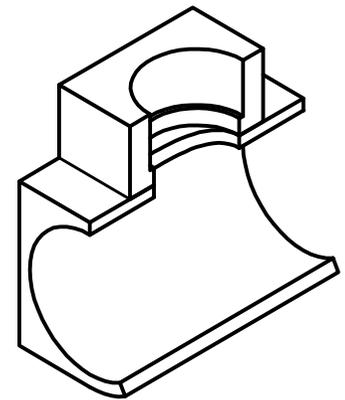
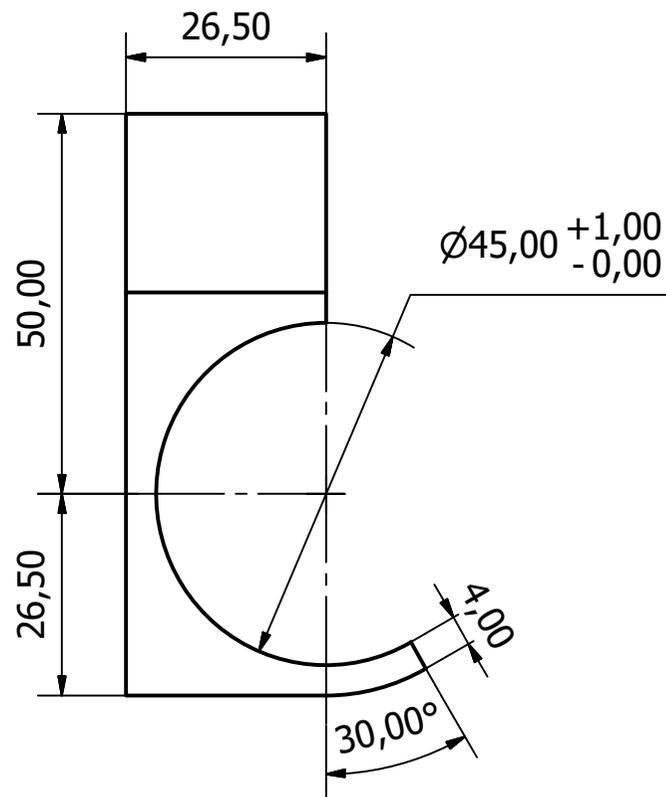
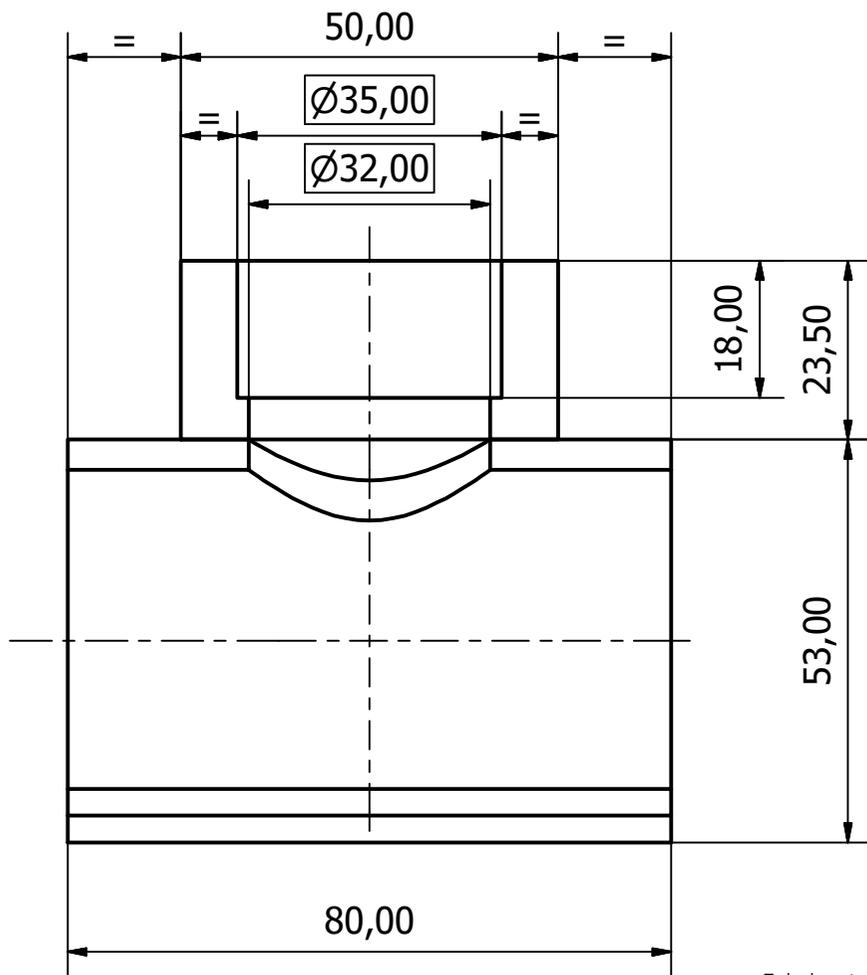


Todas las cotas de este documento quedan definidas bajo la norma **UNE-EN ISO 286-2:2011**, por lo que cualquier reproducción de la pieza o ensamblaje aquí representada/o podrá ser rechazado de forma unilateral por incumplimiento de las tolerancias que la norma específica.

PESO : 0,024 kg

Diseñado, revisado y aprobado por: Sergi Piquer Cano		Material : S235	Escala dibujo : 2 : 1	Fecha dibujo : 12/08/2017
		TUBO CAJA PEDALIER		
		Tipo de plano : Pieza	Número de plano : 1.3.1.4	Edición 01

Parámetros impresión 3D	Ø Filamento	Temperatura extrusión	Velocidad impresión	Densidad relleno	Ø Boquilla	Grosor capa	Grosor pared	Grosor base inf/sup
Piezas L<25mm	3,0 mm	210 °C	30 mm/s	20 %	0,4 mm	0,15 mm	1,0 mm	0,8 mm
Piezas L>25mm					0,6 mm	0,20 mm	1,2 mm	1,0 mm

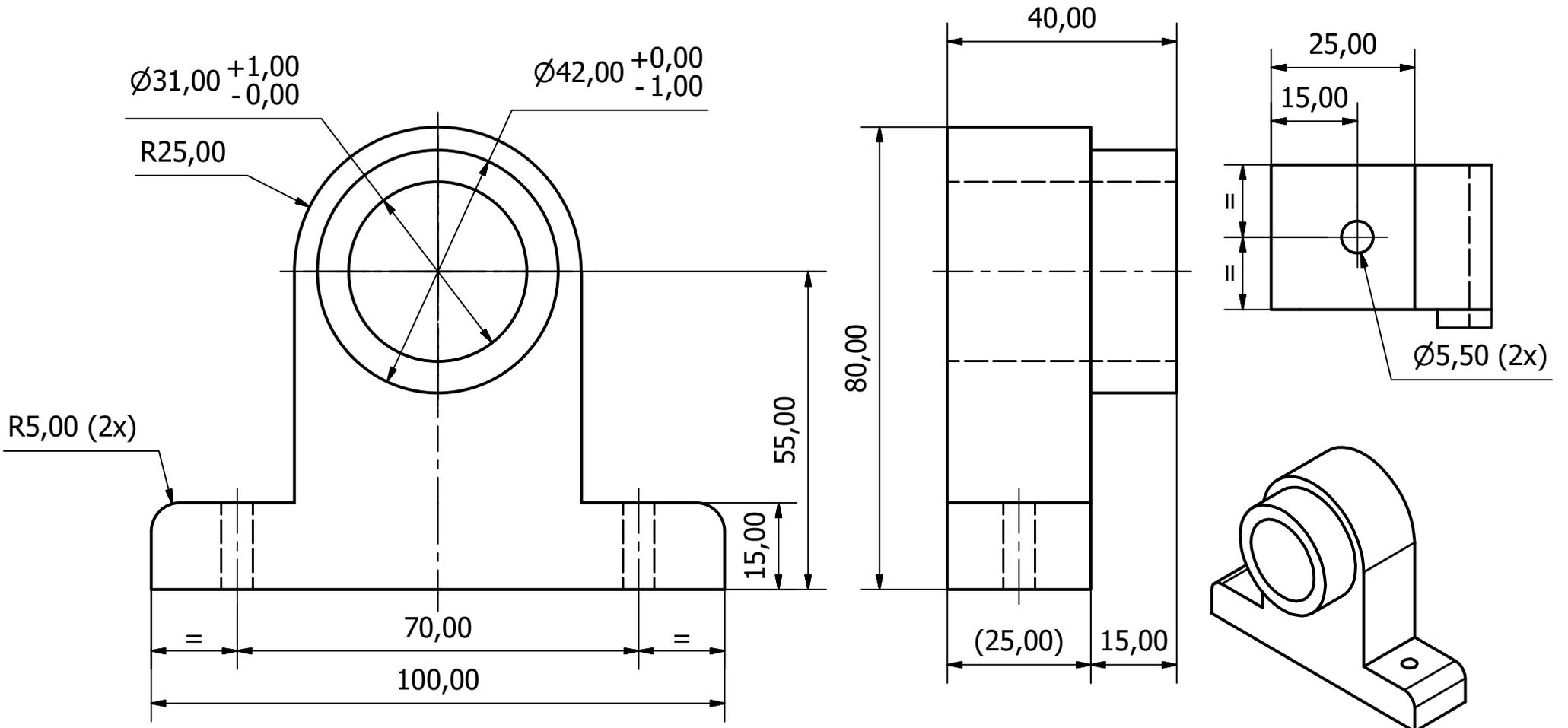


Todas las cotas de este documento quedan definidas bajo la norma **UNE-EN ISO 286-2:2011**, por lo que cualquier reproducción de la pieza o ensamble aquí representada/o podrá ser rechazado de forma unilateral por incumplimiento de las tolerancias que la norma especifica.

PESO : 0,097 kg

Diseñado, revisado y aprobado por: Sergi Piquer Cano	Material : PLA 3mm	Escala dibujo : 1 : 1	Fecha dibujo : 12/08/2017
	UNION TUBO T		
	Tipo de plano : Pieza	Número de plano : 1.3.1.5	

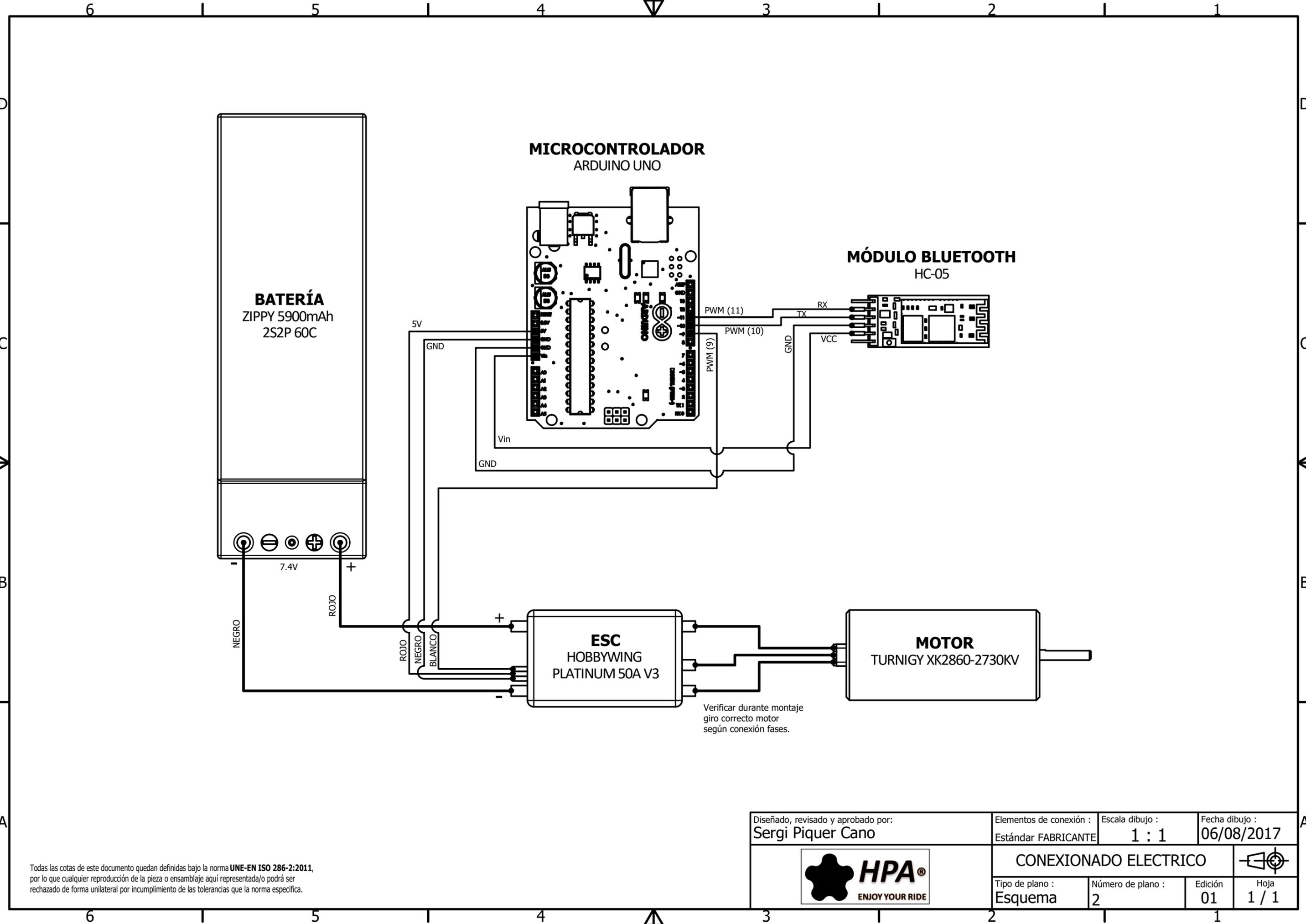
Parámetros impresión 3D	Ø Filamento	Temperatura extrusión	Velocidad impresión	Densidad relleno	Ø Boquilla	Grosor capa	Grosor pared	Grosor base inf/sup
Piezas L<25mm	3,0 mm	210 °C	30 mm/s	20 %	0,4 mm	0,15 mm	1,0 mm	0,8 mm
Piezas L>25mm					0,6 mm	0,20 mm	1,2 mm	1,0 mm



Todas las cotas de este documento quedan definidas bajo la norma **UNE-EN ISO 286-2:2011**, por lo que cualquier reproducción de la pieza o ensamblaje aquí representada/o podrá ser rechazado de forma unilateral por incumplimiento de las tolerancias que la norma especifica.

PESO : 0,126 kg

Diseñado, revisado y aprobado por: Sergi Piquer Cano		Material : PLA 3mm	Escala dibujo : 1 : 1	Fecha dibujo : 12/08/2017
		SOPORTE EJE PEDALIER		
		Tipo de plano : Pieza	Número de plano : 1.3.1.6	Edición 01



Todas las cotas de este documento quedan definidas bajo la norma **UNE-EN ISO 286-2:2011**, por lo que cualquier reproducción de la pieza o ensamblaje aquí representada/o podrá ser rechazado de forma unilateral por incumplimiento de las tolerancias que la norma especifica.

Diseñado, revisado y aprobado por: Sergi Piquer Cano		Elementos de conexión : Estándar FABRICANTE	Escala dibujo : 1 : 1	Fecha dibujo : 06/08/2017
		CONEXIONADO ELECTRICO		
		Tipo de plano : Esquema	Número de plano : 2	Edición 01

PLIEGO DE CONDICIONES

1. PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES

1.1. ALCANCE Y CONTENIDO DEL PROYECTO

El alcance del proyecto abarca el diseño, fabricación, montaje y posterior puesta en marcha de un prototipo que se utilizará como base para la industrialización de un posterior producto final.

El objeto del presente pliego de condiciones es definir principalmente las obligaciones del constructor para llevar a cabo los trabajos con la garantía necesaria. También contiene las prescripciones generales y técnicas que han de regir la ejecución del proyecto y por cuyo cumplimiento velará el técnico responsable.

En el pliego de condiciones técnicas se especificarán las normas y/o procedimientos a seguir en la fabricación del prototipo que no hayan sido debidamente definidos en el resto de documentos, apoyándose por aquellos que sí hayan quedado totalmente definidos en la memoria, los planos o el presupuesto de este proyecto, entendiéndose estos como incluidos en el presente pliego.

1.2. NORMAS APLICABLES

A parte de las condiciones específicas del proyecto expuestas más adelante en este pliego, se tendrán en consideración durante la ejecución de este proyecto las normas típicamente aplicables a proyectos de diseño de maquinaria.

Se deberán cumplir las siguientes normas:

- Normas ISO
- Normas DIN

1.3. MATERIALES Y ENSAYOS

El constructor deberá emplear los materiales indicados en este proyecto para las dos fases de prototipado que en este pliego se contemplan, realizando los trabajos de montaje y posterior puesta en marcha especificados en la memoria. La totalidad de los materiales que se empleen serán de buena calidad, desechando lo que a juicio del técnico responsable no lo sean.

Si los materiales no son capaces de satisfacer los requerimientos dimensionales exigidos en este proyecto, deberán ser reemplazados por el constructor por otros que si cumplan los requerimientos exigidos.

La admisión de los materiales no excluye la responsabilidad del fabricante por la calidad de los mismos, que se prolongará hasta la recepción o entrega de los trabajos.

1.4. OTRAS CONSIDERACIONES A CUMPLIR POR LOS MATERIALES

Los materiales cumplirán las prescripciones que estén contenidas en las normativas y reglamentos vigentes. Si se ha indicado en algún momento de este proyecto la marca y tipo concreto de algunos materiales a usar, ello se tendrá en consideración a título de orientación respecto a los requisitos y calidades de los materiales. Es posible la sustitución de un material por otro, siempre que tengan características similares y con la aprobación del técnico responsable.

1.5. OBJETO DE LOS PLANOS Y ESPECIFICACIONES

El objeto de los planos y especificaciones es mostrar al constructor las formas, dimensiones, calidades y cuantías de las piezas y ensamblajes a realizar, su disposición relativa en el conjunto del sistema, la mano de obra a emplear, equipos y medios de montaje necesarios para la ejecución del prototipo mientras específicamente el técnico responsable no indique lo contrario.

El fabricante realizará todo el trabajo indicado en los planos y descrito en las especificaciones o pliegos de todos los trabajos considerados como necesarios para completar el montaje de manera aceptable y consistente.

1.6. CONTRADICCIONES Y OMISIONES EN LA DOCUMENTACIÓN

Lo dispuesto en el pliego de condiciones técnicas y no recogido en los planos, o viceversa habrá de ser ejecutado como si estuviese en ambos documentos. En todo caso prevalecerá la aclaración que al respecto dé el técnico responsable.

Las omisiones en el pliego de condiciones y en los planos o las descripciones erróneas de los detalles en los trabajos, que sean indispensables para realizar lo expuesto en los planos y pliegos de condiciones técnicas o que por su uso y costumbre deben ser realizados, no eximen al fabricante de la obligación de ejecutar dichos detalles omitidos o erróneamente descritos, debiendo ser ejecutados como si hubieran sido completamente especificados en los planos y pliegos de condiciones técnicas del proyecto.

1.7. CONDICIONES GENERALES DE LA EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS

Todos los trabajos se ejecutarán con estricta sujeción a la documentación presentada en este proyecto. La forma y dimensiones de las diferentes piezas que componen el prototipo, así como los materiales a emplear, se ajustarán a lo que se detalla en los planos y en este pliego de condiciones.

El fabricante es el único responsable de la ejecución de los trabajos que ha subcontratado y de las faltas o defectos que en estos pueda existir por su incorrecta realización o por el empleo de materiales de deficiente calidad no autorizados expresamente por el técnico responsable. En este caso dicho técnico podrá disponer que las piezas o componentes defectuosos sean desmontados y fabricados de nuevo de acuerdo con las especificaciones requeridas.

El fabricante deberá atenerse a las medidas y tolerancias dispuestas en los planos o especificaciones, teniendo especial consideración en los procesos de mecanización, debiendo

en todo caso consultar con el técnico responsable cualquier cambio que se crea oportuno realizar, en caso de falta de precisión en los medios de elaboración de las piezas.

Las dimensiones de todas las piezas y/o componentes han de ser cuidadosamente comprobadas por el fabricante antes de iniciar su ejecución y montaje.

Cualquier error comprobado ha de ser puesto en conocimiento del técnico responsable inmediatamente, con el fin de subsanarlo y comprobarlo. No se harán reformas de ningún tipo en las piezas sin consulta previa al técnico responsable.

Durante los procesos de montaje y puesta en marcha, el técnico responsable podrá dar instrucciones adicionales a las expuestas en la memoria, por medio de dibujos o notas, que aclaren con detalle cualquier dato confuso de los planos o especificaciones. Podrá dar, de igual modo, instrucciones adicionales necesarias para explicar o ilustrar los cambios que en el trabajo tuvieran que realizarse.

1.8. VARIACIONES EN LAS CONDICIONES GENERALES DE LA EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS

Ante modificaciones de las condiciones de la ejecución de los trabajos, éstas sólo serán aceptables bajo orden del técnico responsable. Los trabajos se ejecutarán según las modificaciones del mismo que previamente hayan sido aprobados y a las órdenes e instrucciones que bajo su responsabilidad entregue el técnico responsable.

Cuando sea necesario introducir cambios en los trabajos que rijan el contrato, el técnico responsable redactará la oportuna propuesta formada por los documentos que justifiquen, describan y valoren dichos cambios.

1.9. MONTAJE, PUESTA EN MARCHA Y TEST DE VERIFICACIÓN

Terminada la fabricación del total de piezas y/o componentes del prototipo, se realizará el montaje y posterior puesta en marcha de acuerdo con las especificaciones descritas en la memoria.

Para finalizar se realizarán los test oportunos de verificación de que el diseño realizado cumple con las especificaciones requeridas siguiendo el procedimiento explicado en la memoria, aplicándose a las dos fases de prototipado contempladas en este pliego.

2. PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS

2.1. MATERIALES

Se emplearán dos materiales distintos en la fabricación del prototipo según la fase a la que se haga referencia.

Existen dos fases diferentes en la fabricación del prototipo, la primera fase o prototipado inicial, dónde el prototipo será fabricado con el material descrito en la memoria, y la segunda fase o prototipado final, dependiente de la primera, donde el prototipo sería fabricado con el material expuesto en este pliego.

2.1.1. MATERIAL PROTOTIPADO INICIAL: PLA

El prototipado inicial se realizará con el material descrito en la memoria, el filamento plástico PLA. Así pues, todos los componentes fabricados en esta fase lo serán a partir de dicho material.

Especificaciones, características y propiedades de este material quedan detalladas en la memoria y en los planos, por lo que en este pliego sólo se le hace referencia.

2.1.2. MATERIAL PROTOTIPADO FINAL: ACERO C45

El prototipado final se realizaría en acero C45, acero semiduro característico por su utilización en elementos de máquinas que requieran de buena resistencia, tales como ejes, pernos, etc.

Las características principales del acero C45 son:

- Soldabilidad: Buena
- Mecanización: Excelente
- Composición:

C 0,40-0,50 / MN 0,50-0,80 / SI ≤ 0,40 / P ≤ 0,045 / S ≤ 0,035

CARBONO EQUIVALENTE 0,55 / CR+MO+MI ≤ 0,63

- Carga de rotura: 750 N/mm²
- Límite elástico: 330 N/m m²
- Densidad: 7850 kg/ m³

Las piezas y componentes fabricados a partir de este material serían la reductora hipocicloidal, la rueda libre y el par de engranaje cónico recto. Para dicha fabricación se partiría de un bruto en forma de barras macizas, siendo éstas de las siguientes dimensiones:

- Barra $\varnothing 40\text{mm} \times 0.25\text{m}$: Se fabricará la corona del par de engranaje cónico.
- Barra $\varnothing 35\text{mm} \times 1\text{m}$: Se fabricarán los engranajes centrales, engranaje exterior-carcasa, piñón cónico, engranaje de la rueda libre, tapa protección exterior y el separador motor-carcasa entre otros. En resumen, para todas aquellas piezas que por plano estén dimensionalmente próximas a las dimensiones dadas por el bruto seleccionado.
- Barra $\varnothing 25\text{mm} \times 1\text{m}$: Se fabricarán todos los discos de salida de etapa completa, disco de salida final completa, ñetas de la rueda libre y demás piezas de tamaño inferior al dado por dicho bruto.

La soportería eléctrica y bancada utilizarían el material del primer prototipado realizado, detallado en la memoria.

El momento y utilización de esta material queda restringido a la aprobación de la fase de prototipado inicial por parte del técnico responsable.

La variación del tipo de acero empleado en esta fase por mejoras de las piezas o problemas surgidos durante la fabricación es responsabilidad de ser comunicado por parte del fabricante y la decisión quedará sometida al juicio del técnico responsable, pudiendo aprobar o no la propuesta emitida.

2.2. PROCESO DE FABRICACIÓN

Se emplearán dos procesos distintos en la fabricación del prototipo según la fase de prototipado en la que se encuentre éste.

Si la fase de prototipado inicial es satisfactoria y se valida el diseño mecánico en cuanto a cinemática se refiere, se procedería a la fase de prototipado final para su correspondiente aprobación dinámica.

2.2.1. IMPRESIÓN 3D PROTOTIPADO INICIAL

En la fase de prototipado inicial el método de fabricación a seguir es la impresión 3D por modelado por deposición fundida.

Se fabricarán a partir de este procedimiento la reductora hipocicloidal y el par de engranaje cónico recto, excluyéndose la rueda libre por los motivos detallados en la memoria.

El control de calidad será de tipo visual, comprobando con premontajes si fuese necesario el acabado de las superficies, apoyándose por un pie de rey en aquellas piezas que puedan tener interferencias con los elementos exteriores donde se encajan dichos componentes.

Las especificaciones de este método, los parámetros de configuración de la máquina y las características de cada una de las piezas y componentes quedan detalladas en la memoria y en los planos, por lo que en este pliego sólo se le hace referencia.

2.2.2. CORTE Y MECANIZACIÓN PROTOTIPADO FINAL

En la fase de prototipado final el método de fabricación a seguir es el mecanizado en centro CNC a partir de fresadora vertical de 3 ejes, previo corte de brutos por oxicorte, con la que se fabricarán la reductora hipocicloidal, la rueda libre y el par de engranaje cónico recto. El resto de se realizarán según el método de fabricación empleado en el prototipado inicial.

En primer lugar, se precisa de tratamiento de recocido o estabilizado posterior al oxicorte para eliminar la dureza superficial resultante.

Las posteriores operaciones a realizar serán las mismas para todas las piezas, diferenciando únicamente si se trata de mecanizados de superficies interiores o exteriores.

Superficies interiores: Taladrado de agujeros con posterior roscado si así lo requieren, avellanados, escariados, cajeados y contorneados.

Con estas operaciones se obtienen: Agujeros pasantes, roscados, huecos interiores y orificios de inserción de ejes.

Superficies exteriores: Tallado de engranajes con fresa de forma, planeados y perfilados.

Con estas operaciones se obtienen: Perfiles de engranajes, formas exteriores y acabados superficiales.

La totalidad de las piezas a fabricar quedan definidas por los planos y las especificaciones detalladas en la memoria, debiéndose cumplir con las tolerancias exigidas.

Los acabados superficiales no definidos deberán tomarse como N7 dadas las compactas dimensiones de los mecanismos.

El control de calidad a realizar será de tipo visual, realizándose premontajes de subconjuntos si fuese necesario para garantizar el juego o el apriete entre aquellas piezas que lo requieran, apoyándose por un pie de rey en aquellas piezas que puedan tener interferencias con los elementos exteriores donde se encajan dichos componentes.

2.3. PROCESO DE MONTAJE

El proceso de montaje seguirá el procedimiento indicado en la memoria, apoyado por los planos de conjunto, independientemente de la fase de prototipado de la que se parta.

Primero se realizará el montaje del prototipado inicial y tras su validación se realizaría el montaje del prototipado final.

2.3.1. TORNILLERÍA

La tornillería empleada durante el proceso de montaje queda definida en la memoria y está basada en las normas DIN e ISO.

Cualquier modificación de la misma debe ser aprobada por el técnico responsable.

2.4. PUESTA EN MARCHA Y TEST DE VERIFICACIÓN

La puesta en marcha a realizar queda definida en la memoria de este proyecto, con independencia de la fase de prototipado en la que se esté.

Los test de verificación serán de dos tipos, primero un test cinemático a realizar al prototipado inicial, procedimiento y obtención de resultados definidos en la memoria de este proyecto, en el que se verificará la existencia de interferencias mecánicas y por tanto el diseño mecánico realizado.

En segundo lugar, tras la validación del primer test, se realizaría al prototipado final un segundo test, pero de carácter dinámico, para comprobar que la elección del material es la correcta y este cumple con las exigencias de resistencia y par entregado establecidas en la memoria.

PRESUPUESTO

1. PRESUPUESTO PARCIAL

1.1. DISEÑO DE LOS COMPONENTES MECÁNICOS DEL SISTEMA DE ASISTENCIA AL PEDALEO Y DE SU BANCADA

Diseño de los componentes mecánicos que forman parte de un sistema de asistencia al pedaleo en fase de prototipo y de la bancada que lo soporta mediante Autodesk INVENTOR Professional 2017.

-MANO DE OBRA

Ref.	Descripción	Ud.	Rend.	Precio €	P. Total €
MO.1	Técnico (Responsable)	h	33,8	27,00	912,60

DESGLOSE DE TIEMPOS DE DISEÑO

PIEZA	CONJUNTO	TIEMPO PIEZA[h]	TIEMPO CONJUNTO[h]
EJE EXCÉNTRICO	REDUCTORA HIPOCICLOIDAL	1.5	10.15
ENGRANAJE CENTRAL		2	
SEPARADOR MOTOR CARCASA		0.5	
DISCO SALIDA ETAPA COMPLETA		1	
DISCO SALIDA FINAL COMPLETA		0.75	
ENGRANAJE EXTERIOR CARCASA		2.25	
TAPA PROTECCIÓN INTERIOR		0.5	
TAPA PROTECCIÓN EXTERIOR		0.5	
SEPARADOR REDUCTORA RL		0.65	
CIERRE SUJECIÓN RL		0.5	
CORONA RL	RUEDA LIBRE	1.5	5.15
ENGRANAJE RL		1.5	
CIERRE SUJECIÓN PIÑÓN CÓNICO		0.5	
TAPA PROTECCIÓN RL		0.5	
SEPARADOR RL PIÑÓN		0.35	
UÑETA RL		0.8	
PIÑÓN CÓNICO RECTO	PAR DE ENGRANAJE	4.5	9
CORONA CÓNICO RECTO		4.5	

ABRAZADERA TUBO	SOPORTERÍA	1.25	5.75
ABRAZADERA TUBO 2		1.25	
SOPORTE BATERÍA INICIAL		0.75	
SOPORTE BATERÍA MEDIO INFERIOR		0.7	
SOPORTE BATERÍA MEDIO SUPERIOR		0.5	
SOPORTE BATERÍA FINAL		0.5	
TAPÓN MOTOR		0.8	
SOPORTE EJE	BANCADA	1.25	3.75
UNIÓN T TUBOS		1.5	
BASE BANCADA		1	

TOTAL HORAS TÉCNICO (RESPONSABLE)	33,80 h
TOTAL	33,80 h

-EQUIPOS, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS

<u>Ref.</u>	<u>Descripción</u>	<u>Ud.</u>	<u>Rend.</u>	<u>Precio €</u>	<u>P. Total €</u>
EQ.1	Ordenador portátil HP PAVILIÓN DV7 4040SS	h	33.8	6,50	219,70
				+	
			TOTAL DISEÑO		1132,30 €

1.2. FABRICACIÓN DE LOS COMPONENTES MECÁNICOS DEL SISTEMA DE ASISTENCIA AL PEDALEO Y DE SU BANCADA

Fabricación de los componentes mecánicos del prototipo y de su bancada mediante impresión 3D por extrusión, según el proceso MDF (modelado por deposición fundida) de filamento plástico PLA.

-MATERIALES

<u>Ref.</u>	<u>Descripción</u>	<u>Ud.</u>	<u>Rend.</u>	<u>Precio €</u>	<u>P. Total €</u>
COLORFILA_3mm_750gr	Rollo de PLA de 3mm	kg	0,850	24,95	21,200
TUB_ACS235_45X1,5	Tubo de acero S235 Ø 45mm esp. 1,5mm	m	0,030	5,65	1,695
TUB_ACS235_35X1,5	Tubo de acero S235 Ø 35mm esp. 1,5mm	m	0,190	4,85	0,922
TUB_ACS235_30X1,5	Tubo de acero S235 Ø 30mm esp. 1,5mm	m	0,200	3,95	0,790
TAB_AGLOM_BLA	Tablón de aglomerado 600x300x16mm	m ²	0,169	10,83	1,83
COLA_TERMO_10	Tubo de cola termofusible 10 cm	ud	3	0,38	1,14
				+	
					27,577 €

-MANO DE OBRA

Ref.	Descripción	Ud.	Rend.	Precio €	P. Total €
MO.1	Técnico (Responsable)	h	2,65	27,00	71,55
MO.2	Técnico (Departamento)	h	5,00	24,00	120,00
MO.3	Ayudante	h	36,00	8,50	306,00
					+ _____
					497,55 €

DESGLOSE DE TIEMPOS Y PROCESOS DE FABRICACIÓN

PROCESO	OPERARIO	MÁQUINA	TIEMPO[h]
PROGRAMAR IMPRESIÓN 3D	Técnico (Departamento)	Impresora 3D	5,00
IMPRESIÓN 3D	Ayudante		36,00
CORTE TUBOS ACERO	Técnico (Responsable)	Sierra de calar	0,45
CORTE TABLÓN AGLOMERADO			0,15
TALADRADO TABLÓN AGLOMERADO		Taladradora	0,45
UNIÓN SOPORTE BASE BANCADA		Pistola de cola termofusible	0,35
ACABADOS PREMONTAJE		Lija y lima	1,25

TOTAL HORAS TÉCNICO (DEPARTAMENTO)	5,00 h
TOTAL HORAS TÉCNICO (RESPONSABLE)	2,65 h
AYUDANTE	36,00 h
TOTAL	43,65 h

-EQUIPOS, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS

<u>Ref.</u>	<u>Descripción</u>	<u>Ud.</u>	<u>Rend.</u>	<u>Precio €</u>	<u>P. Total €</u>
MQ.1	Impresora 3D	h	41,00	9,50	389,50
MQ.2	Sierra de calar	h	0,60	4,80	2,88
MQ.3	Taladradora	h	0,45	3,50	1,58
MQ.4	Pistola cola termofusible	h	0,35	2,70	0,95
MQ.5	Lija y lima	h	1,25	1,80	2,25
					+ _____
					397,16 €
					+ _____
				TOTAL FABRICACIÓN	922,29 €

1.3. MONTAJE COMPONENTES MECÁNICOS, ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS DEL SISTEMA DE ASISTENCIA AL PEDALEO

Montaje de los componentes fabricados y comerciales que forman el prototipo y su bancada.

-COMPONENTES COMERCIALES

<u>Ref.</u>	<u>Descripción</u>	<u>Ud.</u>	<u>Rend.</u>	<u>Precio €</u>	<u>P. Total €</u>
COMP.1	Motor brushless TURNIGY XK2860-2730KV	ud.	1	21,36	21,36
COMP.2	Variador HOBBYWING PLATINUM 50A V3	ud.	1	48,17	48,17
COMP.3	Batería LI-PO ZIPPY 5900mAh 2S2P 60C	ud.	1	32,97	32,97
COMP.4	Cargador batería ACCUCCELL S60 AC CHARGER	ud.	1	30,56	30,56
COMP.5	Microcontrolador ARDUINO UNO	ud.	1	30,95	30,95
COMP.6	Módulo Bluetooth HC-05	ud.	1	6,45	6,45
COMP.7	Aislante cableado eléctrico TURNIGY HEAT SHRINK TUBE 5MM (1m)	ud.	4	2,40	9,60

COMP.8	Cableado eléctrico	ud.	4	3,58	14,32
	TURNIGY HIGH QUALITY				
	12AWG SILICONE WIRE (1m)				
COMP.9	Cableado eléctrico protoboard	ud.	4	0,12	0,48
COMP.10	Conector macho 4mm	ud.	2	0,45	0,90
COMP.11	Botellín portaherramientas	ud.	1	4,99	4,99
	B'TWIN 750ML				
COMP.12	Soporte botellín	ud.	1	3,99	3,99
	B'TWIN 500				
COMP.13	Soporte smartphone	ud.	1	9,95	9,95
	HAPO G				
COMP.14	Potencia	ud.	1	15,00	15,00
	IRIDIUM 80mm				
COMP.15	Manillar	ud.	1	32,00	32,00
	RITCHEY COMP 580mm				
COMP.16	Puños	ud.	2	3,50	7,00
	SRAM RED				
COMP.17	Tornillería DIN (con repuesto)	ud.	50	0,15	7,50

COMP.18 Brida sujeción ud. 2 0,10 0,20

COMP.19 Junta tórica ud. 2 0,25 0,50
28x2mm

+ _____
276,89 €

-MANO DE OBRA

<u>Ref.</u>	<u>Descripción</u>	<u>Ud.</u>	<u>Rend.</u>	<u>Precio €</u>	<u>P. Total €</u>
MO.1	Técnico (Responsable)	h	8	27,00	216,00

DESGLOSE TIEMPOS DE MONTAJE

CONJUNTO	FASE	TIEMPO CONJUNTO[h]	TIEMPO FASE[h]
BANCADA	MECÁNICA	0.6	4,4
REDUCTORA		1.6	
MOTORREDUCTOR		1	
PAR ENGRANAJE CÓNICO		1.2	
SOPORTERÍA ELÉCTRICA	ELÉCTRICA/ELECTRÓNICA	0.5	3
COMPONENTES ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS		1,5	
CABLEADO Y CONEXIONADO		1	
ELEMENTOS ADICIONALES (MANILLAR, SMARTPHONE...)	ENTORNO	0.6	0,6

TOTAL HORAS TÉCNICO (RESPONSABLE)	8,00 h
TOTAL	8,00 h

-EQUIPOS, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS

<u>Ref.</u>	<u>Descripción</u>	<u>Ud.</u>	<u>Rend.</u>	<u>Precio €</u>	<u>P. Total €</u>
MQ.6	Herramientas manuales montaje de componentes mecánicos y eléctricos	h	8	0,75	6,00
MQ.7	Máquina multiherramienta ajuste final componentes mecánicos.	h	8	5,80	46,40
MQ.8	Soldador estaño	h	2	1,80	3,60
					+ _____
					56,00 €
					+ _____
				TOTAL MONTAJE	548,89 €

1.4. PROGRAMACIÓN COMPONENTES DE CONTROL Y MANDO DEL SISTEMA DE ASISTENCIA AL PEDALEO Y PUESTA EN MARCHA

Programación e implementación del software necesario para el control y mando del motor, y asistencia ofrecida durante la puesta en marcha.

-MANO DE OBRA

Ref.	Descripción	Ud.	Rend.	Precio €	P. Total €
MO.1	Técnico (Responsable)	h	12	27,00	324,00

DESGLOSE DE TIEMPOS Y FASES DE PROGRAMACIÓN

FASE	OPERARIO	EQUIPO	TIEMPO [h]
PARAMETRIZACIÓN VARIADOR	Técnico (Responsable)	Ordenador portátil	0,85
PROGRAMACIÓN ARDUINO UNO			2,15
PROGRAMACION APP SMARTPHONE			5,00
PUESTA EN MARCHA			4,00

TOTAL HORAS TÉCNICO (RESPONSABLE)	12,00 h
TOTAL	12,00 h

-EQUIPOS, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS

Ref.	Descripción	Ud.	Rend.	Precio €	P. Total €
EQ.1	Ordenador portátil	h	12	6,50	78,00
	HP PAVILIÓN DV7 4040SS				

+

TOTAL PROGRAMACIÓN Y PUESTA EN MARCHA 402,00 €

2. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL

<u>Ref.</u>	<u>Descripción</u>	<u>Ud.</u>	<u>Rend.</u>	<u>Precio €</u>	<u>P. Total €</u>
1	Diseño prototipo y bancada	h	1	1132,30	1132,30
2	Fabricación prototipo y bancada	h	1	922,29	922,29
3	Montaje prototipo y bancada	h	1	548,89	548,89
4	Programación y puesta en marcha	h	1	402,00	402,00
				+	
TOTAL PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL				3005,48 €	

3. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA

PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL	3005,48 €
BENEFICIO INDUSTRIAL (30%)	901,65 €
IVA (21%)	631,15 €
	+
	<hr/>
TOTAL PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA	4538,28 €

*El presupuesto total del proyecto asciende a la cantidad de:
Cuatro mil quinientos treinta y ocho euros y veintiocho céntimos.*