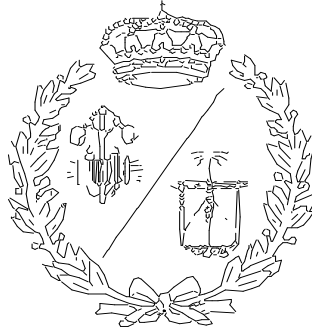


**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN**

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Proyecto Fin de Grado

**Diseño de biela con potenciómetro
incorporado dedicado al ciclismo**

**Design of cranck with built-in power meter
dedicated to cycling.**

Para acceder al Título de

GRADUADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

Autor: Andrés González Pinto

Julio-2024

RESUMEN

En este proyecto se ha realizado el diseño de una biela con potenciómetro incorporado para el ámbito del ciclismo desde cero. Para ello se ha comenzado con un diseño en 3D usando la herramienta de Inventor haciendo varias pruebas para incorporar posteriormente los numerosos componentes.

A continuación, se ha estudiado como calcular la potencia del pedaleo, para ello se ha acomodado un puente de Wheatstone para poder medir la pequeña deformación de la biela debido a la flexión de esta y un contador de revoluciones para poder medir la velocidad angular, con todo ello se calcula la potencia por cada una de las revoluciones del pedaleo.

Para todo esto es necesario desarrollar acorde la electrónica y demás sistemas que hacen los cálculos, transmitir y almacenar los datos para su posterior visualización y análisis.

La finalidad del proyecto es desarrollar un sistema funcional con un coste bajo y que se pueda reparar de manera sencilla, evitando los problemas de este tipo de sistema en los que el precio de adquisición es alto y son *unibody*, es decir, que de romperse cualquiera de los componentes su reparación es cara o imposible.

ABSTRACT

In this project, the design of a crank with a built-in potentiometer for the cycling field has been carried out from scratch. To do this, we have started with a 3D design using the inventor's tool, doing several tests to later incorporate the numerous components.

Next, we have studied how to calculate the pedaling power, for this a Wheatstone bridge has been fitted to be able to measure the small deformation of the crank arm due to its bending and a revolution counter to be able to measure the angular velocity, with All of this calculates the power for each of the pedaling revolutions.

For all this, it is necessary to develop electronics and other systems that can calculate this and transmit and store the data for later visualization and analysis.

The purpose of the project is to develop a functional system with a low cost and that can be repaired easily, avoiding the problems of this type of system in which the acquisition price is high and they are unibody, that is, if any one breaks of the components, their repair is expensive or impossible.

ÍNDICE GENERAL

DOCUMENTO I: MEMORIA

DOCUMENTO II: ANEXO DE CÁLCULOS

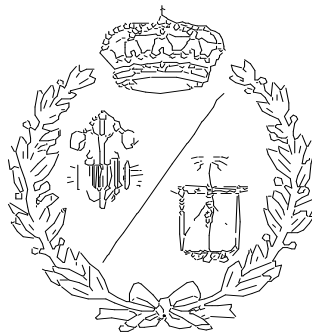
DOCUMENTO III: PLANOS

DOCUMENTO IV: PLIEGO DE CONDICIONES

DOCUMENTO V: PRESUPUESTO

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN**

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Proyecto Fin de Grado

DOCUMENTO I: MEMORIA

Autor: Andrés González Pinto

Julio-2024

ÍNDICE DE MEMORIAS

1.	OBJETO Y ALCANCE DEL PROYECTO.....	1
2.	ANTECEDENTES	2
3.	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Y REQUISITOS DE DISEÑO	3
4.	ESTADO DEL ARTE.....	4
4.1.	Mecanismo	4
4.1.1.	Sistema con potenciómetro en el eje pedalier.....	4
4.1.2.	Sistema con potenciómetro en la biela.....	7
4.1.3.	Sistema con potenciómetro en el pedal	9
4.1.4.	Sistema con potenciómetro en el calzado.....	10
5.	FUNDAMENTOS.....	11
5.1.	Biomecánica	11
5.2.	Medición del par o fuerza	12
5.3.	Medición de las revoluciones.....	12
5.4.	Electrónica y visualización	13
5.5.	Alimentación	13
6.	ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS DE DISEÑO.....	14
6.1.	Puntos de anclaje de la biela.....	14
6.1.1.	Bielas de 3 piezas.....	14
6.1.2.	Bielas de 24 mm	15
6.1.3.	Bielas bb30	15
6.2.	Puntos de anclaje con el pedal	16
6.2.1.	Rosca Americana (ISO)	16
6.2.2.	Rosca inglesa (BSA).....	16
6.2.3.	Rosca francesa.....	17
6.3.	Materiales.....	17
6.3.1.	Acero	17
6.3.2.	Aluminio.....	19
6.3.3.	Fibra de carbono.....	20
6.4.	Galgas extensiométricas	20
6.5.	Puente de Wheatstone	21
7.	SOLUCION ADOPTADA	23
7.1.	Pieza en la que se va a medir la potencia.....	23
7.1.1.	Diseño de la biela	23
7.1.2.	Material empleado	26

7.1.3.	Tipo de biela	28
7.1.4.	Puente de Wheatstone	28
7.1.5.	Rosca	30
7.1.6.	Electrónica	30
7.1.7.	Acelerómetro	31
7.1.8.	Alimentación	32
7.1.9.	Comunicación	32
7.1.10.	Visualización	33
7.1.11.	Alojamiento de la electrónica	33
7.2.	Resultado	37
8.	PRESUPUESTO	¡Error! Marcador no definido.
9.	REFERENCIAS	40

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Eje de sistema con potenciómetro	6
Ilustración 2 Corte de eje con sistema de potenciómetro	6
Ilustración 3 Sistema comercial con potenciómetro en el eje	6
Ilustración 4 Esquema de potenciómetro en el eje	6
Ilustración 5 Sistema comercial de potenciómetro en biela	7
Ilustración 6 Esquema de potenciómetro en biela	8
Ilustración 7 Biela preparada para añadir el potenciómetro.....	8
Ilustración 8 Montaje de potenciómetro.....	8
Ilustración 9 Potenciómetro comercial en el pedal	9
Ilustración 10 Ángulo de la fuerza ejercida según la rotación	10
Ilustración 11 Grafica de fuerza según el ángulo del eje	11
Ilustración 12 Grafica de fuerza según ángulo del eje	11
Ilustración 13 Fuerza media durante un ciclo	12
Ilustración 14 Biela de 3 piezas.....	14
Ilustración 15 Biela con eje de 24 mm.....	15
Ilustración 16 Sistema Octaklink	15
Ilustración 17 Sistema bb30	16
Ilustración 18 Cazoleta sistema bb30.....	16
Ilustración 19 Eje bb30.....	16
Ilustración 20 Puente de Wheatstone.....	21
Ilustración 21 Mano alzada diseño de la biela	24
Ilustración 22 Primer diseño de la biela.....	24
Ilustración 23 Segundo diseño de biela.....	25
Ilustración 24 Tercer diseño de biela	25
Ilustración 25 Biela definitiva.....	26
Ilustración 26 Vista alámbrica de la biela	29
Ilustración 27 Galga BF350.....	29
Ilustración 28 Electrónica Raspberry PI PICO	31
Ilustración 29 Acelerómetro MPU6050	31
Ilustración 30 Bluetooth NRFL24L01.....	32
Ilustración 31 Pantalla LCD 1602	33
Ilustración 32 Ejemplo 2 tipos de soportes de la electrónica	34
Ilustración 33 Ejemplo soportes de la electrónica.....	34
Ilustración 34 Caja de electrónica sin tapa	35

Ilustración 35 Caja de electrónica vista 1	35
Ilustración 36 Caja de electrónica vista 2	35
Ilustración 37 Caja de electrónica sin carcasa	36
Ilustración 38 Caja de electrónica y tapa.....	36
Ilustración 39 Arnés de la electrónica.....	36
Ilustración 40 Disposición de la electrónica.....	37
Ilustración 41 Vista trasera biela y potenciómetro	37
Ilustración 42 Vista lateral biela con electrónica	37
Ilustración 43 Vista trasera biela con electrónica.....	38
Ilustración 44 Vista frontal biela con electrónica.....	38
Ilustración 45 Bicicleta de carretera con el sistema instalado.....	38
Ilustración 46 Bicicleta con sistema instalada vista superior.....	39
Ilustración 48 Sistema de cambios con el sistema instalado	39
Ilustración 47 Bicicleta de montaña con el sistema montado.....	39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tipos de aceros	18
Tabla 2 Tipos de aluminio.....	19
Tabla 3 Especificaciones galga	29

1. OBJETO Y ALCANCE DEL PROYECTO

El objeto de este TFG es estudiar, diseñar y desarrollar una biela con un potenciómetro incorporado para su uso en el ámbito del ciclismo.

Con esto se busca diseñar y desarrollar un sistema viable para medir la potencia de pedaleo de un ciclista de la manera más sencilla, además de ser compatible con todas las modalidades de ciclismo tanto de carretera, montaña, estática y todos los demás estilos. El desarrollo no solo estará orientado al ámbito de la competición, sino que se pretende ser usado incluso por ciclistas principiantes.

Como norma general estos dispositivos además de un coste elevado son muy complicados de reparar por lo que se pretende que sea un dispositivo fácilmente reparable por el usuario con elementos genéricos que se puedan encontrar en línea para su fácil sustitución. Además, la electrónica será fácilmente desmontable para facilitar lo anteriormente comentado.

Otro de los objetivos principales es que se adapte a la mayoría de las bicicletas del mercado ya que en la actualidad hay un gran número de componentes distintos en la bicicleta.

Con el objeto de obtener estos resultados se diseñará la biela que se vaya a usar para medir la potencia además del resto de componentes necesarios para llevar este proyecto a cabo.

2. ANTECEDENTES

Ante la necesidad de mejorar en el ciclismo profesional, se desarrolló en la década de los 80 los primeros potenciómetros de ciclismo para así poder tener mejores resultados en las competiciones, con ello se pretendía conocer la potencia que el ciclista ejercía para así tener un dato más objetivo en cuanto a rendimiento y su posible mejoría.

Con el paso de los años se ha ido mejorando la tecnología, el tamaño y el peso de estos dispositivos haciendo que lleguen hasta el día de hoy numerosos dispositivos compactos, midiendo la potencia en la biela, en el pedal, en el eje e incluso en el calzado.

El problema actual viene dado por el precio de estos dispositivos y su adaptación a la bicicleta. Con este proyecto se pretende diseñar un prototipo compacto, ligero, económico y de fácil instalación, aplicando los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera de Ingeniería Mecánica, tanto de resistencia de materiales como de elementos de medición y toma de datos, así como aptitudes transversales como el diseño en 3D, el análisis de métodos de elementos finitos, etc.

3. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Y REQUISITOS DE DISEÑO

Este proyecto permite una gran libertad a la hora del diseño debido a la ausencia de normativas y requisitos técnicos. Para llevarlo a cabo se habrá de diseñar una biela con las medidas habituales y que sea adaptable a la gran mayoría de bicicletas del mercado.

Para el conjunto de los elementos de medición se pretende que estos sean lo más asequible posible. Para ello el diseño se realizará con componentes estándar y de esta forma serán fácilmente sustituibles para que sus reparaciones sean económicas ya que en la mayoría de los sistemas son irreparables o prácticamente irreparables. Esto facilitará su adaptación a un mayor número de bicicletas y ciclistas.

Respecto al tema de la exactitud en las mediciones se pretende que tenga un error bajo pero que sobre todo tenga mucha precisión, es decir, aunque varíe ligeramente la potencia medida respecto de la real, es más importante que tenga exactitud entre las medidas ya que estos instrumentos son usados por el usuario como referencia entre sus distintos entrenos y así poder mejorar.

4. ESTADO DEL ARTE

Para el desarrollo de este proyecto es necesario entender previamente cómo funcionan los sistemas ya existentes y estudiarlos para obtener un proyecto satisfactorio.

4.1. Mecanismo

Comenzamos conociendo los elementos preexistentes y habituales de una bicicleta donde podemos tomar los datos para conocer la potencia, esto se compone por una biela, un eje los pedales ya que son los sitios más habituales donde se mide la potencia, no obstante, existen otras opciones que toman los datos del calzado siendo esta la opción menos común.

4.1.1. Sistema con potenciómetro en el eje pedalier

Los sistemas existentes que miden en el eje consisten en un cilindro hueco donde se instrumentaliza para obtener los datos de la potencia usando galgas extensiométricas, esto aprovecha la torsión del eje para conocer la variación de la fuerza ejercida por el ciclista mediante la deformación.

En patentes de este tipo de potenciómetros encontramos un eje con el sistema alojado en el interior del eje ya que se aprovecha el hueco existente en el interior de eje de pedalier. En él se encuentra un sistema de medio puente de Wheatstone formada por dos galgas extensiométricas a 45 grados respecto de la dirección del eje en su cara interior, de esta manera una de ellas se comprimirá y la otra se alargará. Gracias al aprovechamiento del efecto piezorresistivo podemos conocer la variación de la resistencia de la galga, con ello se conoce la deformación de este eje sometido a torsión.

El sistema incluye un acelerómetro que tiene la función de conocer la velocidad de rotación de los pedales, con esto conoceremos los radianes por segundo de las pedaladas. Este acelerómetro puede ser biaxial o triaxial, si es biaxial irá recorriendo los valores de los signos de cada cuadrante hasta que vuelvan al de origen, es decir, medirá (X,Y) y los valores que recorrerá serán (+,+) (-,+) (-,-) (+,-) y volverá a (+,+) que serán cuando cuente una vuelta, en cambio si es triaxial se usa para medir la posición angular dependiente del tiempo de los brazos de biela bajo cualquier condición de velocidad de la bicicleta, esto es debido a mediciones extras que se hacen en algunos sistemas que no solo miden la potencia, sino que también miden la velocidad de la bicicleta, la inclinación de esta, la relación de cambios que lleva el ciclista y un sinfín de datos. Hay que tener en cuenta que hay platos que son ovalados,

esto produce que haya una variación de velocidad en torno al 10-20% provocando un error por pedaleo de hasta el 5% de la medición final de la potencia.

Una vez obtenido estos dos datos, véase cadencia y par, se conoce la potencia empleada por el ciclista para la pedalada.

Hay que comentar que en estos casos se coloca el sistema en el lado opuesto a la cadena ya que es donde está la resistencia que se opone a la rotación, por lo tanto mide la potencia en una de las piernas dado que para medir la potencia en la otra pierna sería necesario implementarlo en la biela, esto es debido a que la pierna izquierda (en el caso de que la cadena esté en el lado derecho) aplica la fuerza en el eje pero la pierna derecha transfiere la fuerza de la biela a la corona directamente, así que el eje no se verá afectado por la fuerza empleada por el pie derecho.

Las galgas van asociadas a un módulo de medición de tensión para conocer la variación de la resistencia, junto con el acelerómetro van a una unidad de control electrónica que hace el cálculo de la potencia. Mediante cableado coaxial se transmite la información a una antena que transmite por radiofrecuencias a un receptor alojado en una computadora generalmente colocada en el manillar, este a su vez muestra por pantalla los valores de potencia y cualquier otro que lleve el sistema tales como velocidad, cadencia, relación de transmisión, ...

Todo el conjunto alojado en el eje está cubierto de espuma para no tener problemas con las vibraciones, golpes y demás perturbaciones y así poder tener un correcto funcionamiento.

Una de las marcas más reconocidas por sus potenciómetros en el eje de pedalier es *ROTOR* y su diseño se corresponde al de la patente explicada, aunque realmente son todas bastante parecidas, con algún componente distinto pero su realización es bastante similar.

FIG. 1

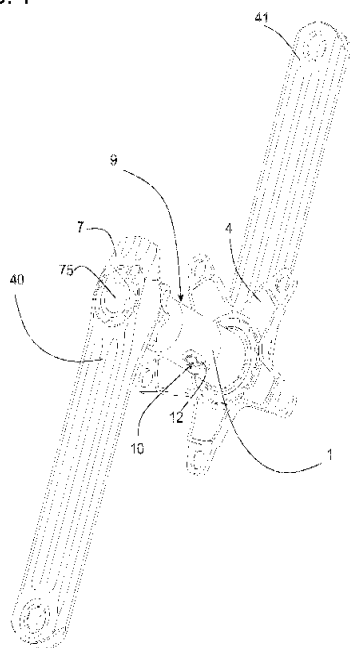


Ilustración 3 Sistema comercial con potenciómetro en el eje

Ilustración 4 Esquema de potenciómetro en el eje

FIG. 6

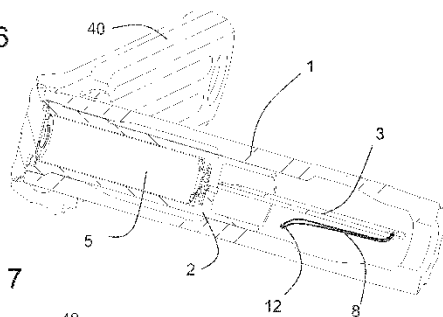


FIG. 7

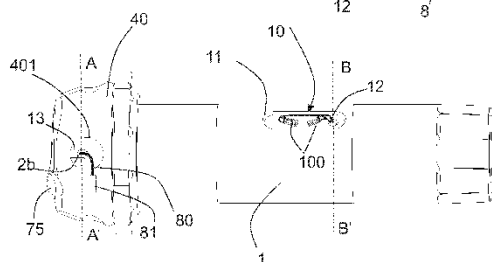


FIG. 8

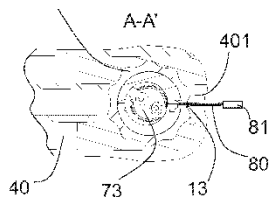


FIG. 9

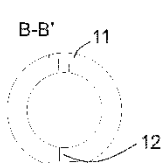


FIG. 3

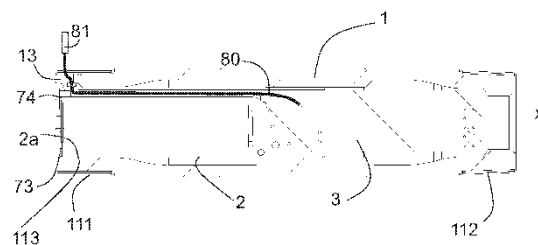


FIG. 4

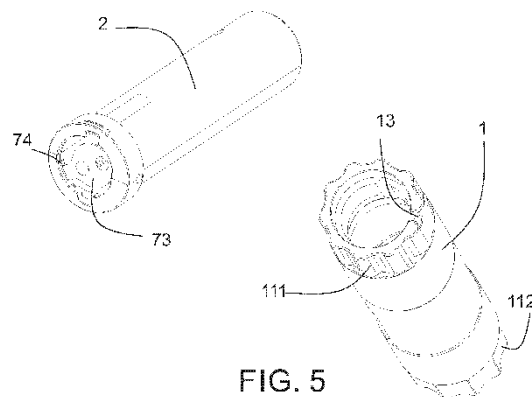


FIG. 5

Ilustración 2 Corte de eje con sistema de potenciómetro Ilustración 1 Eje de sistema con potenciómetro

4.1.2. Sistema con potenciómetro en la biela

La medición de la potencia a través de la biela se realiza conociendo la deformación sufrida por la biela debido a la fuerza aplicada en el extremo de esta, conociendo la deformación a flexión de la biela es sencillo conocer la potencia al igual que en el sistema anterior.

De la misma manera, se utiliza el fenómeno piezorresistivo utilizando un puente de Wheatstone, esto puede variar dependiendo del fabricante y los resultados

que se quiera obtener, por lo general se usa medio puente o un puente completo. En algunos casos se utiliza un puente completo o medio puente adherido a la cara interior de la biela, es decir, la que está mirando hacia el cuadro, de esta manera se evita que haya golpes en el mecanismo ya que generalmente está expuesto al exterior y puede ser golpeada por cualquier elemento que haya en el camino, así se evita su deterioro. Las galgas se colocan a 45 grados con la dirección de la biela. Con esto obtenemos una medida correcta ya que evitamos los problemas de medición debido a la variación de temperatura.

Otro caso particular y más simple es usar una galga en cada lateral de la biela de tal manera que mediría una a compresión y otra a tracción.

Para el resto de las componentes sería igual que en el caso de un eje de pedalier.

En la ilustración 5 se observa una biela con potenciómetro del fabricante *Shimano*.



Ilustración 5 Sistema comercial de potenciómetro en biela

En general, su disposición es similar a esta, consistiendo en un sistema que se adhiere a la biela. Se trata de una carcasa con una electrónica integrada que permite hacer los cálculos, la batería y los sensores, compuestos por galgas extensiométricas para medir la deformación,

sensores de inercia y en algunos casos un interruptor de láminas magnético (para entornos de alta vibración donde otros sensores pueden no funcionar).

Como se puede ver en la ilustración 6 sus esquemas suelen ser similares a este.

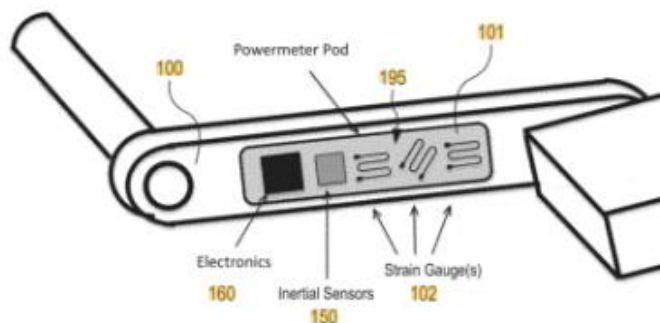


Ilustración 6 Esquema de potenciómetro en biela

El primer paso una vez fabricada la biela, es borrar la pintura en la zona donde se va a ensamblar el potenciómetro ya que este en sí va pegado a la biela. Esto generalmente se quita con un láser ya que son maquinas proporcionan una alta precisión y acabado, además de ser un método bastante rápido.



Ilustración 7 Biela preparada para añadir el potenciómetro

A continuación, se colocan las galgas extensiométricas y luego se pega la electrónica y batería mediante silicona para poder sellarlo correctamente y evitar su deterioro.

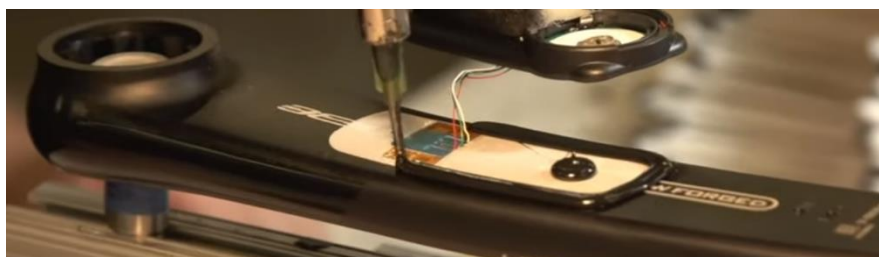


Ilustración 8 Montaje de potenciómetro

4.1.3. Sistema con potenciómetro en el pedal

Para este tipo de sistemas de potenciómetro en el pedal se trata de un dispositivo que va fijado entre el pedal y la rosca por donde se une con la biela o en muchos casos va en la zona del pedal donde apoya el calzado.



Ilustración 9 Potenciómetro comercial en el pedal

Para conocer la potencia se fundamenta en la deformación del eje del pedal, ya que la fuerza se conoce como una fuerza puntual en el pedal propiciando una ligera deformación al igual que se hacía en la biela. De la misma manera las galgas extensiométricas tienen la misma configuración, se puede poner un medio puente o un puente completo con las mismas características ya que con estas configuraciones se puede obtener una medición correcta de la deformación, el resto de los componentes serán los mismos.

De igual manera que en los otros sistemas, es habitual que solo lo mida en una pierna para productos de entrada o de coste reducido ya que se supone la misma potencia para la otra pierna.

4.1.4. Sistema con potenciómetro en el calzado

De todas las anteriores es la más novedosa ya que la medición de la cadencia la realiza de una manera más compleja que con un acelerómetro o con un interruptor magnético.

Para la medición de la fuerza utiliza galgas extensiométricas colocadas en la plantilla con la diferencia de que ahora para conocer la fuerza real y no la medida por el aparato se calcula a partir de conocimientos previos sobre el ángulo de los pedales en cada fase de la rotación. Como resultado se obtiene la fuerza tangencial sobre la biela. Según si el ciclista está sentado en un terreno llano, subiendo una pendiente sentado o subiendo una pendiente de pie hay que tener en cuenta que hay una variación del ángulo del pedal. Para ello el sistema reconoce cuando el usuario está en cada una de las posiciones según si la fuerza máxima en el pedal se da a 107° por estar sentado y si es a 101° grados está de pie en una pendiente. Entre el estado de sentado en llano o pendiente apenas hay diferencia.

A la hora de medir las revoluciones aprovecha la periodicidad de la señal para analizar en qué momento ha dado una vuelta completa el sistema biela-pedal. Se hace valer del análisis de señales y con ello determinar un periodo de rotación, a partir de ello se deriva para obtener la velocidad angular.

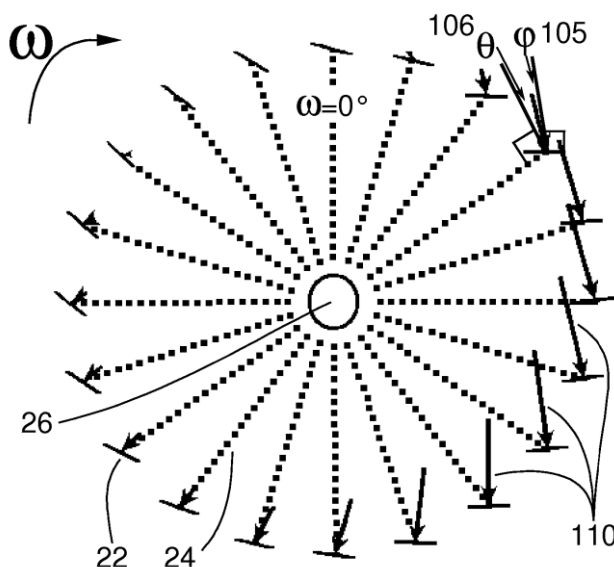


Ilustración 10 Ángulo de la fuerza ejercida según la rotación

5. FUNDAMENTOS

Para hacer un correcto análisis de las posibles soluciones se ha investigado la bibliografía de numerosas patentes e informaciones en línea relacionadas con diferentes tipos de potenciómetros para ciclismo de donde se han podido obtener numerosos puntos en común para la correcta realización de este proyecto.

5.1. Biomecánica

Una vez conocido como funcionan sistemas similares tenemos que conocer cómo se aplica la fuerza durante el pedaleo. La mayoría de la fuerza se aplica durante la fase de bajada del pedal, seguido por la fase de ascenso y después los puntos muertos superiores e inferiores en donde se aplica menos fuerza, esto es importante ya que en cada momento la biela se comportará de una manera completamente distinta, en un momento tendrá flexión únicamente y en otro únicamente compresión con todos los estados intermedios entre ambos.

Como se puede observar en las siguientes gráficas, el punto de mayor fuerza es el punto medio de la biela en la bajada entre el punto muerto superior e inferior, al pasar el punto muerto inferior la pierna realiza muy poca fuerza para la subida ya que en esa fase se mueve sobre todo por la fuerza ejercida por la otra pierna y en los puntos muertos no se realizará ninguna fuerza.

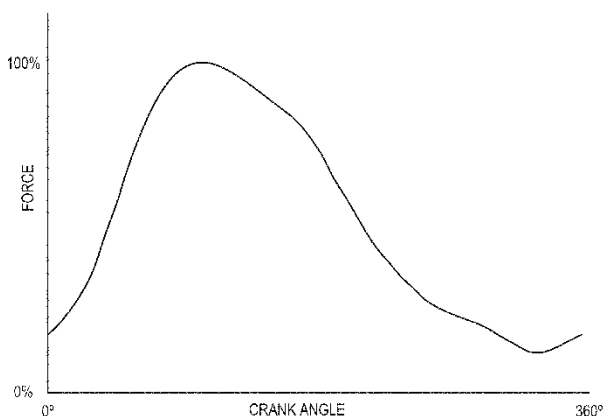


Ilustración 11 Gráfica de fuerza según ángulo del eje

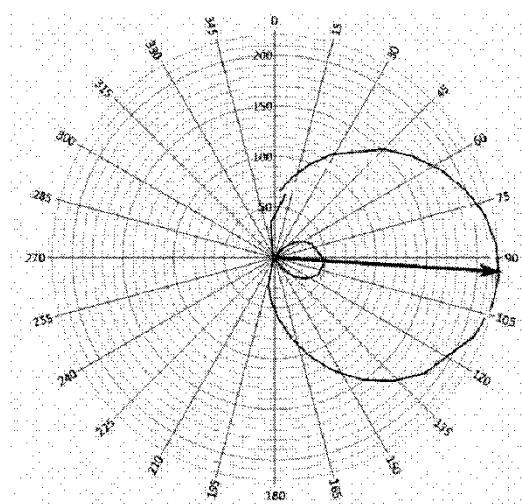


Ilustración 12 Gráfica de fuerza según el ángulo del eje

De los 0 grados a los 180 grados (contando el punto muerto superior como 0 grados) irá aumentando hasta los 90 grados y a continuación decrecerá hasta ser nula la fuerza a los

180 grados para después pasar a ser negativa ya que la pierna en la subida contrarresta la fuerza de la otra pierna por el propio peso.

Para calcular la fuerza media se calcula la fuerza media en valor absoluto.

5.2. Medición del par o fuerza

A la hora de medir el par para conocer la potencia se hace uso de las galgas extensiométricas, este sistema permite conocer la deformación de la biela, según la configuración y el número de galgas que se usen se podrá medir la flexión, la compresión o ambas.

Esto unido a los conocimientos del material utilizado y la geometría de la biela podemos relacionar la deformación de la biela con la variación en la resistencia de la galga ya que si la barra tiene una deformación se podrá leer una variación de la resistencia que es dependiente de la variación de la fuerza aplicada al extremo. Con todo ello y conociendo la distancia de la biela se podrá conocer el par.

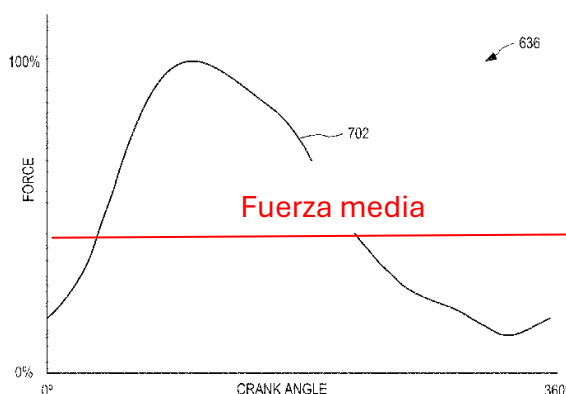


Ilustración 13 Fuerza media durante un ciclo

Para el resto de los dispositivos es similar ya que se fundamenta en medir la deformación en alguno de los componentes de la bicicleta donde se aplica la fuerza (biela, eje pedalier, calzado y pedales).

5.3. Medición de las revoluciones

Como última medición necesaria para conocer la potencia se necesita saber la velocidad angular del eje de los pedales. Para ello hay varios sistemas que se utilizan, yendo desde lo más sencillo a lo más especializado y preciso, por lo tanto, también más caro y complejo.

El sistema más habitual usado en el ciclismo para medir las revoluciones por minuto es un interruptor de láminas magnético y un imán. El imán se coloca en una posición fija en el

cuadro y un sensor en la pieza móvil de tal manera que al pasar por este imán se ponga a cero el cronómetro. Este caso no se suele utilizar para este tipo de dispositivos ya que habría que instalar, aparte del elemento en el que se va a medir la deformación (biela, pedal, eje de pedalier) se tiene que instalar en el cuadro el interrupto de láminas magnético.

Otro sistema bastante más habitual es colocar un acelerómetro de dos ejes. Esto consiste en un acelerómetro alojado en la pieza en la que se desea medir y los ejes se sitúan en el plano en que se desea medir de tal manera que conociendo los momentos en los que el acelerómetro mide una aceleración igual a 0 son los puntos donde la biela está a 0, 90, 180 y 270 grados haciendo que se pueda contar la velocidad angular fácilmente.

Es habitual que en algunos sistemas de alta fidelidad se haga uso de una combinación de estas dos opciones.

5.4. Electrónica y visualización

Todos los datos obtenidos por los sensores necesitan ser procesados por una electrónica, dependiendo de la cantidad de parámetros que se pretendan medir y mostrar al usuario, se utilizará una electrónica u otra ya que hay dispositivos que también indican la relación óptima de plato y corona, la velocidad media de la bicicleta, los kilómetros recorridos y demás parámetros.

Generalmente son diseños propios de las diferentes marcas por lo que son bastante reservados en sus tecnologías y características.

Todos ellos tienen en común una antena con la que mediante frecuencias comunican la información a una pantalla que suele estar situada en el manillar o donde el usuario quiera colocarlo y en la pantalla hay otra antena con una pequeña electrónica que muestra por pantalla los datos deseados, en muchos casos estos dispositivos hacen uso de bluetooth para comunicar los datos al teléfono móvil del ciclista u otro dispositivo.

5.5. Alimentación

Esto es algo bastante variable debido al diseño de la electrónica puesto que cada marca y producto tiene una electrónica propia, pero por lo general se usan pilas de botón tipo CR2032, en algunos casos pilas AA, aunque también hay sistemas que usan baterías recargables de dispositivos portátiles similares a las de un móvil.

6. ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS DE DISEÑO

Para esta sección se analizan las distintas alternativas de cada parte de una biela, sus materiales y cada uno de los componentes que se pueden emplear para calcular la potencia.

6.1. Puntos de anclaje de la biela

Para la realización hay varias opciones que se pueden contemplar ya que a lo largo de los años han surgido diferentes métodos para anclar la biela al eje del pedalier, actualmente existen 3 métodos distintos. Estos métodos vienen de sucesivas mejoras de los ejes ya que contra más rígido sean se tendrá un mejor pedaleo haciendo que se pueda entregar más potencia a la rueda trasera, generalmente esto se ha hecho aumentando el diámetro del eje y poniendo los rodamientos hacia los extremos del eje.

6.1.1. Bielas de 3 piezas

Un sistema de bielas de 3 piezas consiste en un entallamiento en la biela con forma de cuadrado que encaja con el eje con esa misma forma en sus extremos para encajar con la biela. Para fijar esto llevan una tuerca por cada lado para que sea solidario y no puedan salirse, este sistema está algo desactualizado ya que no se utiliza en los equipos más actuales, únicamente en sistemas y equipos más sencillos de gama baja y para bicicletas de niños. Generalmente contaban con un eje de 17 mm.



Ilustración 14 Biela de 3 piezas

6.1.2. Bielas de 24 mm

Posteriormente aparecieron las bielas con ejes de pedalier de 22-24 mm como solución a una mejora respecto del modelo anterior ya que aumentaban el diámetro del eje haciendo que se deforme menos a torsión y que tenga una mayor rigidez, también mejoraron sus sistemas haciendo que tenga un estriado que reparta mejor la tensión.



Ilustración 15 Biela con eje de 24 mm



Ilustración 16 Sistema Octalink

6.1.3. Bielas bb30

Este es el último sistema utilizado y el más novedoso ya que utiliza un eje de hasta 30 mm lo que proporciona una menor deformación a torsión. Además, los casquillos que van roscados a la caja del pedalier (zona del cuadro de la bicicleta donde va el pedalier) se han diseñado

con el rodamiento fuera de la caja, de tal manera que permitan ese mayor diámetro y haciendo que los rodamientos estén más alejados y así el eje tenga menos flexión.



Ilustración 19 Eje bb30



Ilustración 18 Cazoleta sistema bb30

Ilustración 17 Sistema bb30

6.2. Puntos de anclaje con el pedal

Dependiendo de la modalidad que se practique y el fabricante habrá distintos tipos de roscas para acoplar el pedal.

6.2.1. Rosca Americana (ISO)

Este tipo de rosca es muy utilizada en bicicletas no tan dedicadas al rendimiento, como las bicicletas antiguas y las bicicletas de paseo, a excepción de las BMX que sí podría tener una cierta utilidad este tipo de sistemas. Su medida es $\frac{1}{2}$ " x20 TPI, con una longitud de 12,7 mm de diámetro y con 20 hilos de rosca por pulgada, bastante poco habituales en Europa.

6.2.2. Rosca inglesa (BSA)

Desde los años 80 es la más extendida en todo el mundo, sus medidas son $\frac{9}{16}$ x20 TPI con una rosca de 14,3 mm de diámetro y 20 hilos por pulgada.

6.2.3. Rosca francesa

Actualmente está en desuso, aunque se usó en todo el mundo de manera extendida, tiene unas medidas de 9/16 con un diámetro de 14 mm y un paso entre roscas de 1,25 mm entre hilos.

6.3. Materiales

En general se usan 3 materiales para la fabricación de estas piezas que son acero, aluminio y fibra de carbono, esta parte es crucial ya que determinara no solo las características y comportamiento sino también su coste y el sector del mercado en el que se encuentre.

6.3.1. Acero

Históricamente es uno de los materiales más usados para la realización de estas piezas, actualmente no es tan habitual usar este material a no ser que sea requerimientos específicos o bicicletas de gama baja o entrada y para bicicletas de niños. Como ventajas tiene que es un material económico que se puede fabricar de múltiples maneras y que es un material resistente a flexión que es lo que nos interesa, pero como contra partida es un material bastante pesado y poco tecnológico, además de que tiene que ir bien revestido porque si no puede sufrir corrosión.

El acero es una aleación de hierro con carbono con un porcentaje de carbono entre 0,008 % y 2,11%, esto hace que se eleve su resistencia a tracción, incrementa su fragilidad en frío y disminuye la tenacidad y ductilidad. Junto con otros materiales hay alrededor de 5000 aceros distintos.

Sus características generales son:

- Densidad: 7850 kg/m³
- Módulo de elasticidad: 200 GPa
- Coeficiente de Poisson: 0.3
- Punto de fusión: 1375 °C

Algunas de sus aleaciones más comunes aparecen en la tabla 1.

Tabla 1 Tipos de aceros

Clasificación de los aceros, según ASTM		Límite elástico		Tensión de rotura	
		Ksi	MPa	Ksi	Mpa
ASTM A36		36	250	58-80	400-550
ASTM A53	Grado B	35	240	>60	>415
ASTM A106	Grado B	35	240	>60	>415
ASTM A131	Gr A, B, CS, D, DS, E	34	235	58-71	400-490
ASTM A139	Grado B	35	240	>60	>415
ASTM A381	Grado Y35	35	240	>60	>415
ASTM A500	Grado A	33	228	>45	>310
	Grado B	42	290	>58	>400
ASTM A501		36	250	>58	>400
ASTM A516	Grado 55	30	205	55-75	380-515
	Grado 60	32	220	60-80	415-550
ASTM A524	Grado I	35	240	60-85	415-586
	Grado II	30	205	55-80	380-550
ASTM A529		42	290	60-85	415-550
ASTM A570	Grado 30	30	205	>49	>340
	Grado 33	33	230	>52	>360
	Grado 36	36	250	>53	>365
	Grado 40	40	275	>55	>380
	Grado 45	45	310	>60	>415
	Grado 50	50	345	>65	>450
ASTM A709	Grado 36	36	250	58-80	400-550
API 5L	Grado B	35	240	60	415
	Grado X42	42	290	60	415

6.3.2. Aluminio

El aluminio es uno de los materiales más usados en la actualidad debido a su relación entre peso, resistencia y precio por lo que es muy usado en numerosos ámbitos del ciclismo.

La resistencia sigue siendo peor que la del acero, pero dado las cargas y tensiones que sufre este tipo de piezas es muy habitual encontrarlas en este material.

Su densidad es de 2700 kg/m³ frente a los 7850 kg/m³ del acero por lo que siendo una tercera parte es mucho más aconsejable ya que siempre se busca bajar el peso a las bicicletas para poder tener un mejor desempeño.

El mayor inconveniente es el precio ya que la tonelada de acero es bastante más barata que la tonelada de aluminio, aunque respecto al precio de la fabricación no es lo único para tener en cuenta ya que el punto de fusión del aluminio es más bajo por lo que se necesita menos energía si hay que fundirlo, además es más caro a la hora de mecanizar el aluminio para darle un acabado mejor.

- Densidad: 2700 kg/m³
- Módulo de elasticidad: 70,5 GPa
- Coeficiente de Poisson: 0,33
- Punto de fusión: Alrededor de 600°C

En la tabla 2 podemos ver los distintos tipos de aluminios.

Tabla 2 Tipos de aluminio

Serie	Designación	Aleantes principales	NHT / HT
1000	1xxx	99 % al menos de aluminio	NHT
2000	2xxx	Cobre (Cu)	HT
3000	3xxx	Manganeso (Mg)	NHT
4000	4xxx	Silicio (Si)	NHT
5000	5xxx	Magnesio (Mg)	NHT
6000	6xxx	Magnesio (Mg) y Silicio (Si)	HT
7000	7xxx	Zinc (Zi) y Magnesio (Mg)	HT
8000	8xxx	Otros elementos	Otro

6.3.3. Fibra de carbono

Debido a sus características es uno de los materiales más deseados a nivel de alta calidad ya que sus principales ventajas son la densidad baja y su alta resistencia mecánica, este material se usa en una gran cantidad de elementos que necesiten piezas de muy alta calidad además de una gran resistencia. Como contrapartida tiene un precio muy alto ya que a diferencia de los otros materiales no es un metal, es una serie de fibras confeccionadas de manera casi artesanal junto con resina que hace de elemento de unión entre ellos, debido a su método de fabricación es un producto bastante caro en comparación con los otros dos materiales.

Dentro de este material hay diferentes acabados que se diferencian por el número de fibras que tienen por cada milímetro, habiendo fibras con un patrón más grande o pequeño.

La fibra es un material duradero pero la resina no lo es tanto ya que la resina por acción del sol pierde propiedades, esto se puede prevenir si se utiliza un material para protegerlo de la luz como una pintura o un acabado de la pieza.

Otro aspecto para tener en cuenta es que con los golpes se puede romper fácilmente y no es reparable frente a otros materiales que si se pueden reparar y aguantan mejor los golpes.

- Densidad: 1750 kg/m^3

6.4. Galgas extensiométricas

Para medir la deformación se hace uso de galgas extensiométricas, estos elementos están presentes en la mayoría de los sistemas de los que se quiere conocer su deformación. Esto comprende desde una báscula de casa para medir la masa de un objeto hasta para hacer ensayos de tracción de un material.

Este sensor consiste en una resistencia eléctrica que convierte la deformación en una variación de la resistencia eléctrica. El funcionamiento se basa en el efecto piezorresistivo variando su resistencia según el esfuerzo mecánico al que está sometido. Están fabricadas en materiales como el aluminio y el níquel.

6.5. Puente de Wheatstone

Es un circuito eléctrico utilizado para medir una resistencia eléctrica desconocida, en este caso se colocan las galgas extensiométricas de resistencia en la disposición de la foto, estas galgas a su vez se colocan adheridas a un elemento del que se quiere conocer su deformación en un punto. Se les aplica un voltaje a dos nodos opuestos del circuito y un dispositivo para conocer la corriente eléctrica.

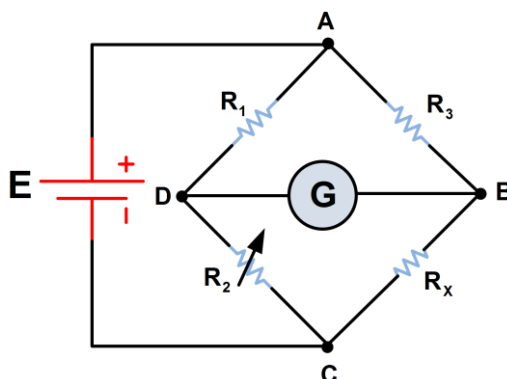


Ilustración 20 Puente de Wheatstone

Al aplicar una deformación o una fuerza al objeto al que está adherido, las resistencias sufrirán una variación de resistencia, con ello podremos conocer el voltaje que ha variado en la medición y así podremos obtener la deformación sufrida en el objeto.

Dependiendo de la aplicación se podrán hacer varias configuraciones haciendo un puente completo, medio puente o cuarto de puente.

- Puente completo

Esta opción es la más completa ya que tiene las cuatro resistencias de la imagen, se instalan en el mismo lado del objeto y con ello se compensan los efectos de la temperatura, pero su instalación es más compleja.

- Medio puente

En esta configuración hay dos resistencias instaladas en caras opuestas del objeto, esto produce que haya una buena compensación de los efectos de temperatura y que se pueda conocer si es un esfuerzo normal o una flexión.

- Cuarto de puente

Consiste en instalar una única resistencia, se instala de manera longitudinal alineada con el esfuerzo de tracción o compresión, tiene como ventaja una fácil instalación, pero no se puede

diferenciar entre deformación normal y flexión y tampoco compensa los efectos de la temperatura.

7. SOLUCION ADOPTADA

A continuación, se comentan las soluciones de potenciómetro, de sensores y de electrónica. Esto comprende todo lo relativo para poder llevar a cabo el proyecto y todas sus características.

7.1. Pieza en la que se va a medir la potencia

Una vez conocidos todos los tipos de bielas que se usan en la actualidad y sus principales fortalezas y debilidades se ha tomado una decisión. También conociendo otros diseños aplicados a este tipo de producto se tomarán en consideración.

Frecuentemente las marcas utilizan una gran variedad de dispositivos en los que se mide la potencia ejercida por el ciclista. De las opciones anteriormente expuestas los potenciómetros en el calzado son los menos utilizados ya que actualmente es algo bastante reciente y salvo un par de marcas no se han fabricado más.

La opción de diseñarlo en el pedal es más limitada ya que el espacio donde adaptarlo es bastante reducido debido a que debe tener la antena, las galgas, el acelerómetro y la electrónica en el mismo espacio haciendo que sea una opción complicada de diseñar con muy pocas opciones a nuestro alcance.

En el eje de pedalier es bastante frecuente, pero representa también dificultades de espacio además de que únicamente se puede medir en una de las bielas (la biela opuesta al plato).

Por lo que la decisión de incorporarlo a una biela es la más interesante ya que todo el espacio que hay entre la biela y el cuadro está disponible para poner un dispositivo más voluminoso si fuera necesario, además de que se puede aplicar a cualquier tipo de biela y se puede medir en ambas piernas si fuese necesario.

Una vez decidido donde se va a medir la potencia se procede a hacer el diseño de la pieza.

7.1.1. Diseño de la biela

Previo al diseño final del potenciómetro alojado en la biela, se han realizado varios diseños para tener una idea general hacia dónde va a ir el diseño final del proyecto, en él se conocerán las geometrías de sistemas similares y sus componentes.

A continuación, se muestran algunos de los diseños que se han desarrollado antes de llegar a la solución final.

Primeramente, se hace un diseño a mano alzada sobre papel con las medidas para poder tener una idea general.

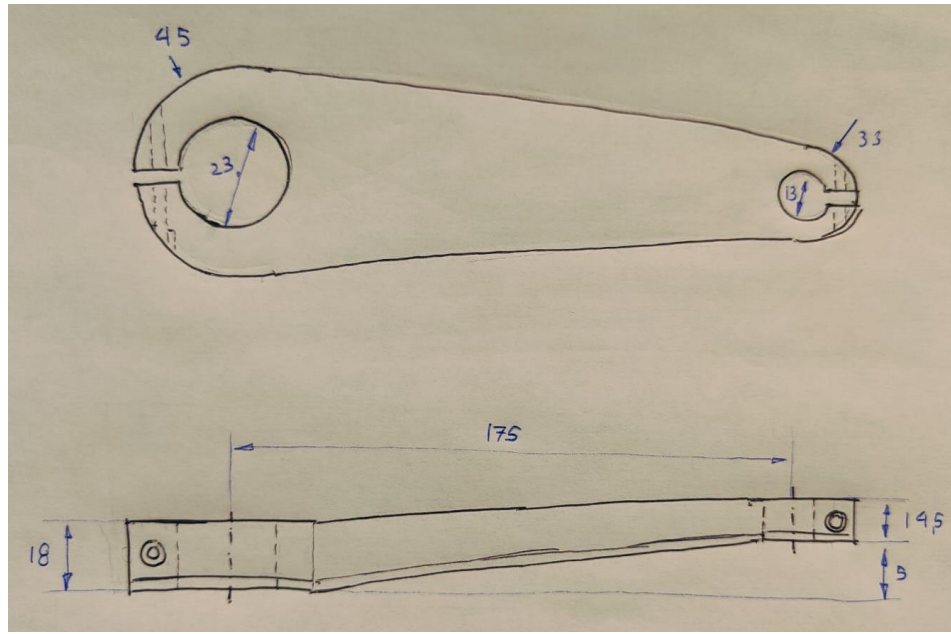


Ilustración 21 Mano alzada diseño de la biela

Con este diseño preliminar podemos hacernos una idea a la hora de diseñarlo conociendo la geometría aproximada de una biela actual de ciclismo de montaña.

El primer diseño realizado en 3D es el mostrado a continuación. Para ello se ha utilizado el programa de Inventor de AutoDesk.

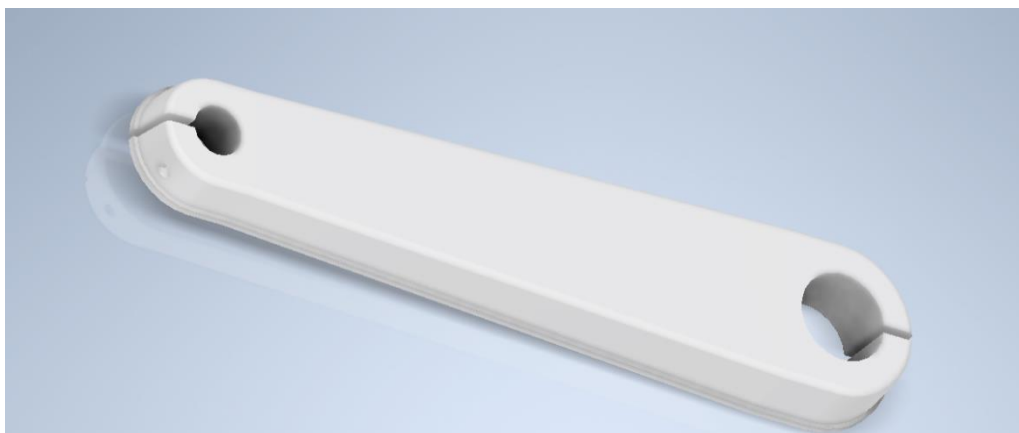


Ilustración 22 Primer diseño de la biela

Este primer diseño no es óptimo ya que actualmente es habitual que el propio eje del pedalier tenga una rosca y que estos estén estriados así que ya no es tan habitual que la biela tenga un corte en el alojamiento de la biela para poder apretar mediante el uso de un tornillo.

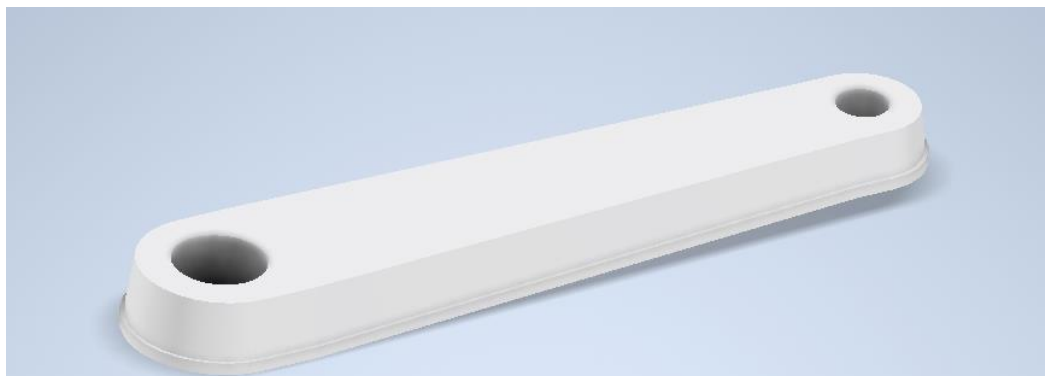


Ilustración 23 Segundo diseño de biela

En este caso se parece más a una biela con un tipo de eje al que se le aprieta la tuerca para asegurar que esta pieza no se salga. Aunque debido a las formas más concretas y enrevesadas como el nervio que se observa en la parte inferior y la inclinación de las paredes haría que su precio fuera más elevado y se pretende que sea un dispositivo más económico frente a las opciones existentes en el mercado.

Para el siguiente diseño se simplifican los diseños previos pero con las mismas cotas para el eje haciendo que sea un producto más sencillo y por ende más barato.

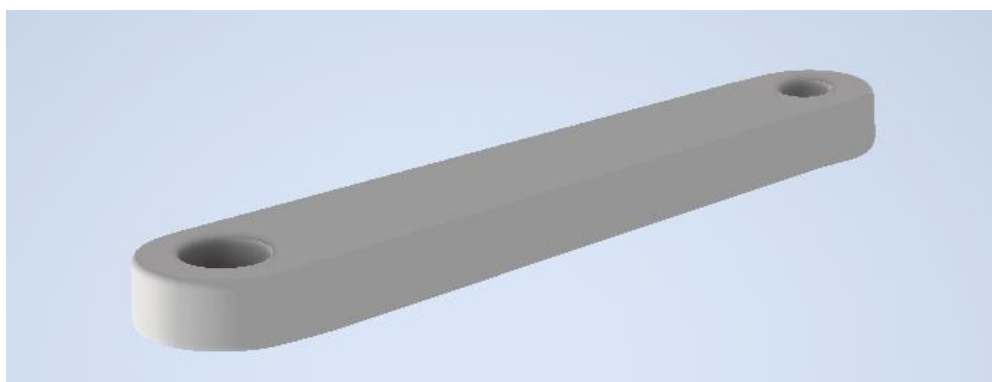


Ilustración 24 Tercer diseño de biela

No obstante, las bielas tienen más desfase entre la cara donde está el alojamiento del pedal y el alojamiento del eje pedalier, así que se opta por hacer esta cota mayor, además se le

añadirán unas ranuras donde irán adheridas las galgas, dos a cada lado de tal manera que nos permitirán medir la flexión de manera correcta.

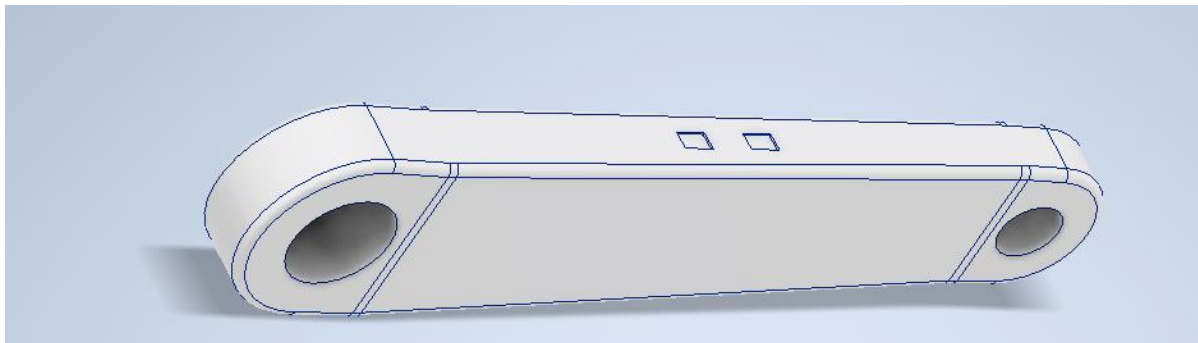


Ilustración 25 Biela definitiva

7.1.2. Material empleado

Habiendo estudiado los 3 materiales más utilizados en estos ámbitos de fabricación de bielas y conociendo las diferencias entre ellas y qué aportan a cada situación se pueden sacar las siguientes conclusiones generales.

El acero es el más barato de obtener y fabricar, pero sin embargo es el más pesado y dado que el peso es bastante importante en el ciclismo se descarta por esta razón. Usualmente se utiliza acero al carbono que es una aleación de acero con carbono, en muchos casos contiene otros elementos como manganeso y silicio. Como norma general no suele incluir más de 0,5% de carbono, 1,65% de manganeso ni 0,3% de silicio.

La fibra de carbono es muy resistente y muy ligera, sería el mejor material de los tres, no obstante, su elevado precio y su resistencia a los impactos lo hace un material no apto para los requisitos que buscamos.

Por último, nos queda el aluminio con el que obtenemos un compromiso entre resistencia, precio y peso.

Se ha decidido que las características de peso y precio son las más importantes ya que las masas en rotación afectan doblemente al rendimiento debido a que además del propio peso del cuerpo la bicicleta también aumenta su inercia de rotación lo cual es bastante perjudicial a la hora de obtener un buen rendimiento, esto es bastante importante en todas las partes como ruedas.

En cuanto al precio es importante tener en cuenta que se pretende diseñar un dispositivo asequible y materiales como el carbono encarecen demasiado el resultado final.

La resistencia es relevante en tanto en cuanto tiene que soportar la fuerza del ciclista, no obstante, el ciclista como máximo puede aplicar la fuerza que ejerce su propio peso y esta no es tan grande como para necesitar un material tan resistente.

Dentro de los aluminios hay una gran variedad de aleaciones que estas dependen del porcentaje de aleantes, dentro de esto se suelen utilizar mayoritariamente aluminios 6061 y 7005.

Se usan ambas aleaciones en igual proporción, aunque cada uno de ellos tiene distintas utilidades.

El aluminio 7005 contiene 91,5% de aluminio, 5,6% de zinc, 2,5% de magnesio y 0,6% de silicio. El aluminio 7005 es usado en piezas que necesitan ser soldadas con una gran resistencia, también en procesos de extrusión, aunque es un material más difícil de conformar por su alta resistencia.

El aluminio 6061 contiene 97,9% de aluminio, 1% de magnesio, 0,6% de magnesio y un 0,3% de cobre. El aluminio 6061 es más fácil de trabajar y de soldar, aunque es un material más débil que se deforma con mayor facilidad, esto también depende de los tratamientos a los que está sometido.

En general, la única diferencia que tienen para esta aplicación es el precio ya que el 6061 es más barato y también más fácil de trabajar, de igual manera la diferencia es muy pequeña pero suficiente para decantarse por este material.

Se concluye que el mejor material para realizar la biela es aluminio 6061 ya que, aunque tiene una densidad ligeramente mayor esta se ve compensada con su mayor resistencia a fatiga y con su módulo elástico.

Este material tiene las siguientes características:

- Densidad: 2700 kg/m^3
- Módulo de elasticidad: 68 GPa
- Resistencia a tracción: 310 MPa
- Coeficiente de Poisson: 0,33
- Punto de fusión: Entre 580°C y 650°C

7.1.3. Tipo de biela

Habiendo conocido los 3 tipos principales que existen, las ventajas e inconvenientes de estos tipos de biela se procede a seleccionar la más conveniente.

En primer lugar, las bielas de tres partes son unas bielas bastante fáciles de instalar y fabricar, pero es un diseño desactualizado por lo que no sería muy atractivo en la actualidad ya que únicamente se encuentran en gamas de entrada y un potenciómetro es para un tipo de usuario más avanzado que ya busca más prestaciones por lo que sería contraproducente usar este tipo de ajuste que muy poca gente hace uso de él hoy en día.

Continuando con el sistema bielas bb30, es bastante actual y la mayoría de las bicicletas de gama alta usan este tipo de eje de 30 milímetros, pero también es cierto que no está tan extendido para el tipo de producto que se va a adecuar.

Como solución se ha elegido los ejes de 24 milímetros ya que son los más aceptados y es lo más fácil de compatibilizar.

7.1.4. Puente de Wheatstone

A la hora de medir la deformación de la biela es necesario utilizar galgas extensiométricas, esto tiene varias posibilidades ya que como se ha comentado anteriormente puede haber varias configuraciones disponibles según el número de galgas y su colocación.

En este caso se optará por medio puente de Wheatstone debido a que es la más completa haciendo que se pueda evitar el error debido al cambio de temperatura y que no produzca datos erróneos según la temperatura que haya en el ambiente y diferentes climas, y sin necesidad de tener 4 resistencias que haría más complicado el sistema. Para ello se colocarán 4 galgas en el lomo de la biela de tal manera que dos de ellas midan a compresión y las otras dos a tracción, de esta manera obtendremos un puente completo haciendo que su valor sea mayor y tenga menor error, además de compensar la variación debida a la temperatura.

De igual modo, se colocarán en la posición más alejada posible de la fibra neutra para que este valor sea el más grande posible, así reducir el error lo máximo posible, como se muestra en la Ilustración 26.

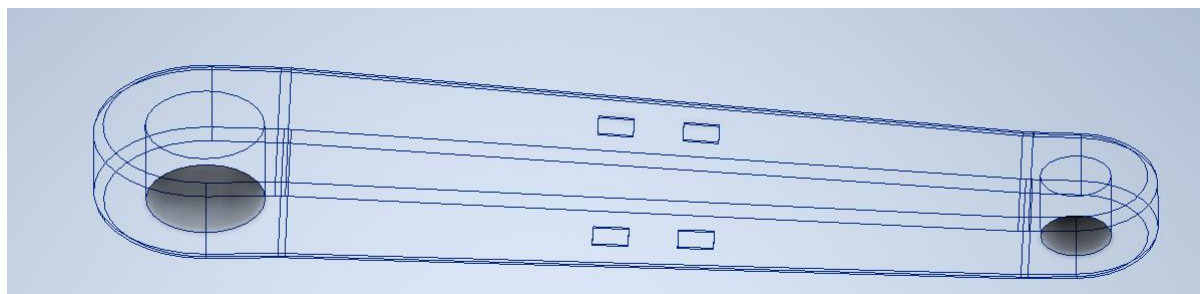


Ilustración 26 Vista alámbrica de la biela

Como podemos ver en la ilustración 26, hay cuatro alojamientos dedicados a las galgas, de tal manera que no habrá fallo a la hora de colocar las galgas y estas siempre se coloquen en la posición exacta y los cálculos realizados en el Anexo de Calculos sean correctos para todas las bielas.

En concreto se usarán galgas BF350 (Ilustración 27), con una resistencia de 350 ohmios con una vida media de más de un millón de ciclos y una capacidad de trabajo entre -30°C y 80°C además de que tiene un precio muy accesible de alrededor de un euro. Todas las características aparecen en la tabla 3.

Tabla 3 Especificaciones galga

Model	BFH350-3AA		
Size	Basal size	mm	7.2*4.1
	Wire grid size	mm	3.2*3.1
The basal material			Phenolic-epoxy
Sensitive to grid material			Imported constantan
Sensitive coefficient		mV/V	$2.1 \pm 1\%$
Transverse effect coefficient			0.40%
Lead materials (enameled wire)		mm	30 ± 2
Resistance	The nominal value of tolerance	Ω	$350 \pm 1\Omega$
	The average deviation	Ω	$\leq 0.4\Omega$
The use of temperature			常温 ($-30^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$)
Sensitivity coefficient and dispersion			$2.0 \pm 1\%$
Heat output	The coefficient of heat output	$\mu\text{m}/\text{m}/^{\circ}\text{C}$	≤ 2
	Scores of average heat output	$\pm \mu\text{m}/\text{m}$	≤ 30
Greenhouse insulation resistance		M Ω	10000
Greenhouse strain limit		$\mu\text{m}/\text{m}$	20000
Mechanical lag		$\mu\text{m}/\text{m}$	1.2

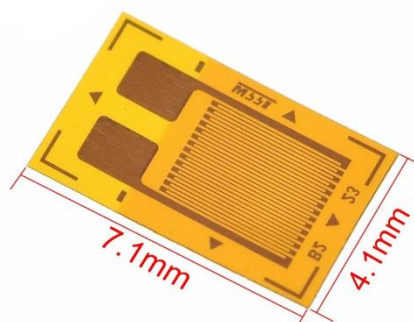


Ilustración 27 Galga BF350

Este dispositivo irá adherido a la biela en sus laterales mediante el uso de un pegamento tal como el cianocrilato ya que es un pegamento muy resistente, con una flexibilidad adecuada para estos casos y con una fuerte adherencia.

7.1.5. Rosca

En este apartado se elige la rosca que se va a utilizar para el alojamiento de los pedales.

Debido a su amplia implementación la rosca será la más utilizada, esta es la rosca inglesa con unas medidas de 9/16 x20 TPI con una rosca de 14,3 mm de diámetro y 20 hilos por pulgada.

7.1.6. Electrónica

En todos los elementos comerciales se opta por fabricar una electrónica propia de cada marca e incluso para cada modelo. Esto se hace para optimizar a lo que cada modelo quiere enfocarse, es decir, algunos calculan únicamente la potencia, otros muestran velocidad, revoluciones, kilómetros recorridos, ...

Otra cosa que puede afectar es el tipo de batería que se quiera incluir ya que habitualmente se usa una pila de botón tipo CR2025, pero también hay algunos que usan baterías recargables que son de diseño propio y esto influye a la hora del tamaño.

También se tiene en cuenta el espacio ya que dependiendo del sistema va alojado en un sitio distinto y cada marca decide que espacio va a ocupar, aunque por lo general se pretende que sea lo más pequeño posible, aunque hay casos en los que se consigue un compromiso entre tamaño y robustez o entre autonomía y tamaño.

Para este proyecto se ha decidido usar un sistema genérico para recibir la señal y calcular los datos, en este caso se ha decidido usar una Raspberry PI PICO, un microcontrolador muy capaz para múltiples ámbitos y unas dimensiones reducidas de 21 milímetros de ancho y 51 milímetros de alto. Este microcontrolador es apto para trabajar entre 3 y 5 voltios con un bajo consumo.

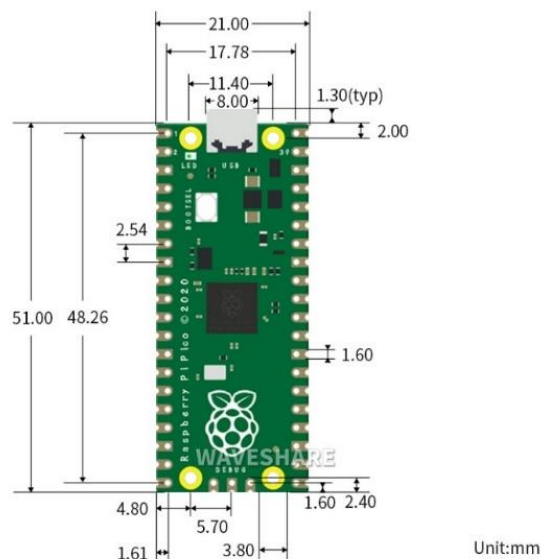


Ilustración 28 Electrónica Raspberry PI PICO

7.1.7. Acelerómetro

Referido a los acelerómetros es complicado encontrar información sobre los componentes que usa cada marca. No obstante, son modelos comerciales que se pueden encontrar en línea uno de los más habituales para proyectos de bajo coste suele ser el acelerómetro MPU6050 ya que tiene unas dimensiones muy reducidas, un precio económico y es un acelerómetro de 3 ejes, este acelerómetro tiene una desviación de $\pm 2^\circ$ por lo que es más que aceptable su error y un factor de galga de 2 con un error de ± 1 .

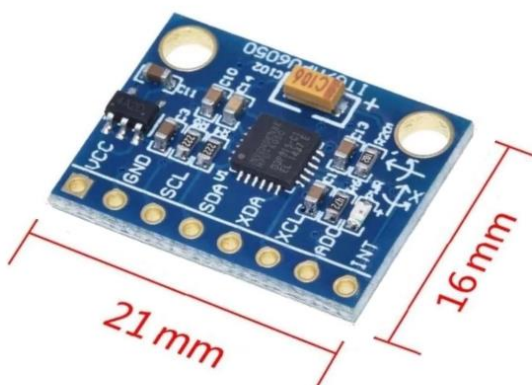


Ilustración 29 Acelerómetro MPU6050

7.1.8. Alimentación

Debido a la electrónica utilizada será necesario una alimentación de 5 voltios ya que el acelerómetro MPU6050 y el microcontrolador Raspberry pi pico necesitan una alimentación de 5 voltios.

Para ello usaremos dos baterías CR2032 haciendo que tenga una alimentación de 6 voltios que es ligeramente superior, pero según las características de los dispositivos es aceptable.

7.1.9. Comunicación

Para la comunicación entre la pantalla y el potenciómetro es necesario un sistema sin cables, en general se utilizan antenas de comunicación propio de estos sistemas denominado Ant+ que se caracteriza por tener un bajo consumo y funcionar en sistemas que están a poca distancia, cada marca suele tener una adaptación propia de este sistema con sus protocolos propios. Otro de los métodos utilizados es el bluetooth entre el ciclo computador y el sensor.

Debido a la complejidad del sistema Ant+ se opta por transmitir la información mediante bluetooth, esto se llevará a cabo mediante dos chips NRF24L01 que son muy económicos y con un tamaño reducido. Uno de ellos irá con el ciclocomputador para recibir la información y el otro estará situado con la electrónica del potenciómetro haciendo que pueda enviarse la información.

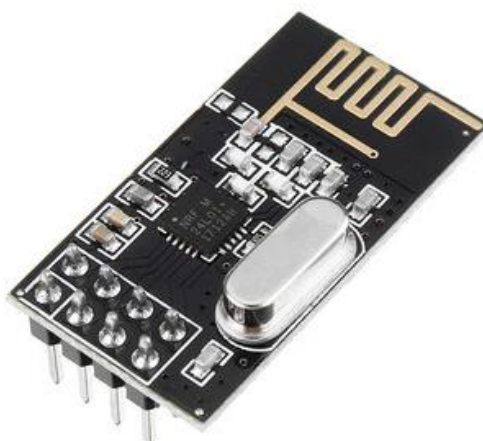


Ilustración 30 Bluetooth NRFL24L01

7.1.10. Visualización

Para la pantalla, la opción más conveniente es una pantalla LCD, hay una infinidad de dispositivos compatibles con los que podemos visualizar los datos elegidos, en este caso se trata de una pantalla 1602 con unas dimensiones de 80 milímetros de ancho por 36 milímetros de alto.



Ilustración 31 Pantalla LCD 1602

Es un dispositivo más que suficiente para visualizar la potencia ejercida por el ciclista y cumple las condiciones de asequibilidad, reparabilidad y fácilmente sustituible.

7.1.11. Alojamiento de la electrónica

Todos los componentes anteriormente comentados tienen que ir alojados en un espacio lo más compacto posible, para ello es necesario el diseño de dos “cajas” donde alojar la electrónica. Una de ellas estará solidaria con la biela e irá en la cara interna de la biela, es decir, entre el cuadro y la biela de la bicicleta haciendo que esté protegido de las inclemencias, golpes, etc. La otra se colocará en el manillar donde el usuario podrá ver con claridad en la pantalla LCD los valores de la potencia obtenidos por el dispositivo de la biela.

En primer lugar, se requiere que sean del mínimo tamaño ya que de otra manera incomodarían, no serían tan versátiles y sería más fácil recibir un golpe.

Estarán fabricados en un material de bajo coste y suficientemente resistentes como el ABS ya que este material tiene unas buenas características en cuanto a la fabricación y resistencia, se podrá fabricar tanto en sistemas de impresión aditiva como por inyección lo cual son métodos bastante baratos y podrá facilitar su fabricación en el caso de impresión aditiva para las primeras unidades y tiradas de prueba.

Se pretende que sean piezas sencillas para minimizar costes, la electrónica irá fijada a la caja de la electrónica por medio de pestañas para minimizar el uso de piezas o atornilladas para mayor facilidad de desmontaje.

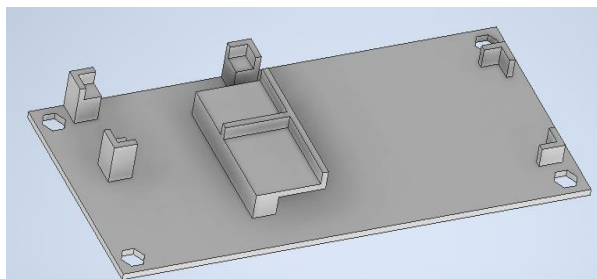


Ilustración 33 Ejemplo soportes de la electrónica

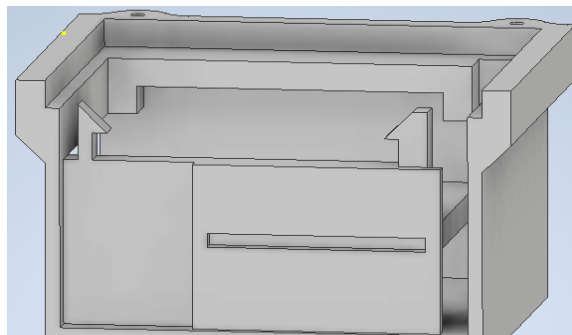


Ilustración 32 Ejemplo 2 tipos de soportes de la electrónica

Electrónica de la biela

Para esta pieza será necesario alojar las siguientes piezas con las siguientes dimensiones:

- NRFL24L01 encargada de la comunicación con una dimensión de 29x15x1
- MPU6050 acelerómetro biaxial 21x16x2
- CR2032 2 unidades, alimentación 3,2x19
- RASBERRY PI PICO donde se realizan los cálculos de la potencia 51x21x2

La pieza se realiza con forma de caja rectangular con una abertura por un lado para introducir la alimentación y una de las caras al descubierto para poder introducir los componentes, esta parte tiene un borde sobredimensionado para colocar una tapa que irá atornillada al conjunto, a su vez esta cara será adyacente a la cara interior de la biela.

En su interior tendrá los alojamientos de cada uno de los componentes para que físicamente queden limitados su movimiento y estén fijos al sistema.

A continuación, se muestra el ensamble junto con la disposición de los elementos internos de la electrónica.

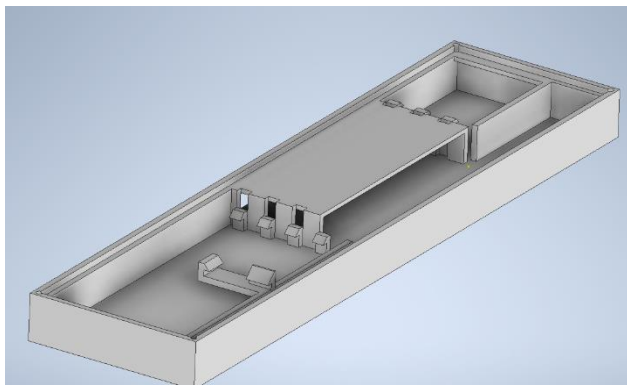


Ilustración 36 Caja de electrónica vista 2

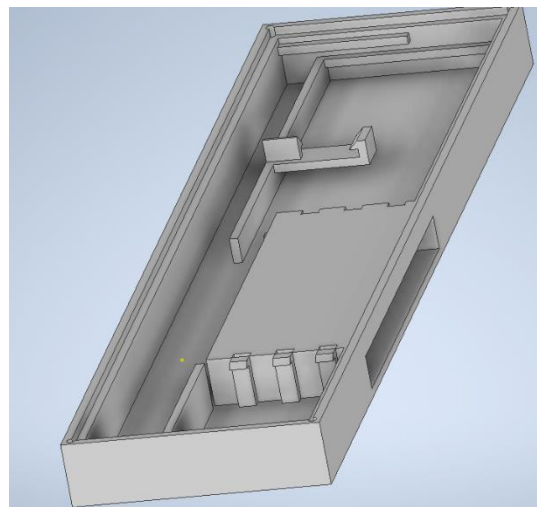


Ilustración 35 Caja de electrónica vista 1

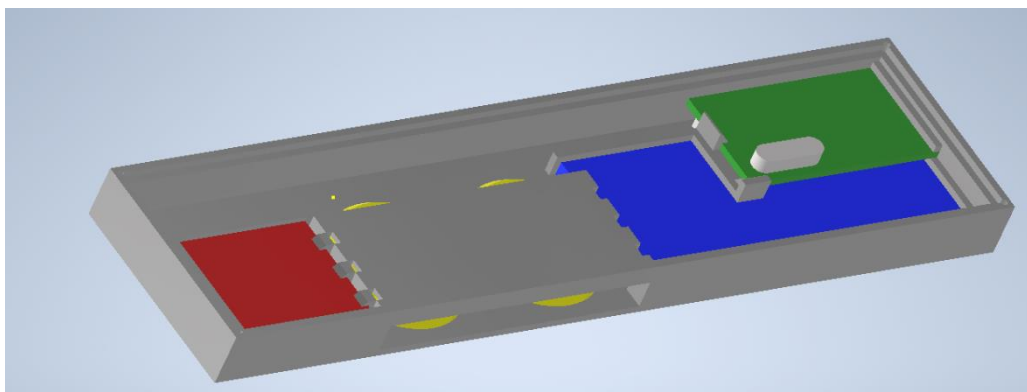


Ilustración 34 Caja de electrónica sin tapa

ELECTRÓNICA DEL MANILLAR

Para la visualización de la potencia es necesario tener un sistema que muestre la información en tiempo real, esto conlleva los siguientes elementos.

- NRFL24L01 encargada de la comunicación con una dimensión de 29x15x1
- CR2032 2 unidades, alimentación 3,2x19
- RASBERRY PI PICO donde se realizan los cálculos de la potencia 51x21x2
- LCD1602 pantalla por la que se muestra la información 80x36x5

Esta pieza se ha realizado con la misma idea que la electrónica de la biela, esto es que sea sencilla, robusta, fácil de fabricar y con elementos de fijación formando parte de la pieza o que sean pernos comunes.

La pieza cuenta con una abertura en una de las caras superiores por la que se pueda ver la pantalla del dispositivo y otra abertura en la cara opuesta por donde se introducen el resto de componentes que van acomodados en alojamientos especialmente diseñados para cada una de las piezas.

En la abertura de la parte inferior se ha diseñado un reborde al igual que en la otra pieza para alojar la tapa, dicha tapa contará con los alojamientos para el manillar.

A parte en uno de los laterales se encuentra un alojamiento para la alimentación.

En este caso no se ha podido hacer unicamente una pieza y su tapa, ha sido necesario realizar un arnés o espaciador intermedio para alojar el resto de componentes.

A continuación, se visualizan distintas imágenes donde aparece el prototipo con los componentes.

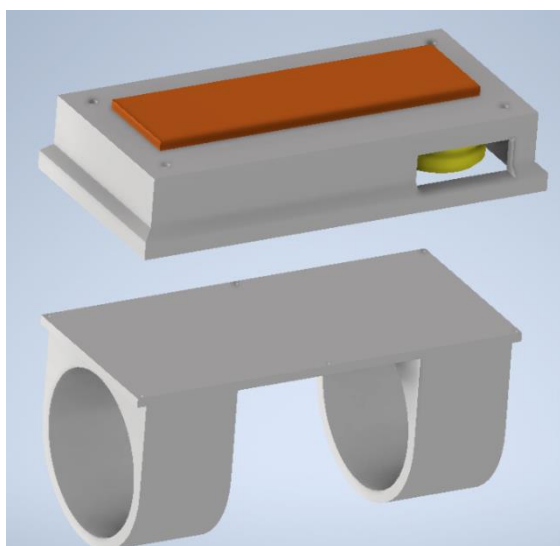


Ilustración 38 Caja de electrónica y tapa

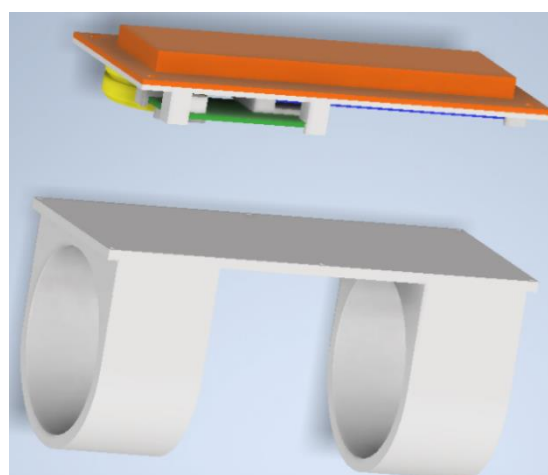


Ilustración 37 Caja de electrónica sin carcasa

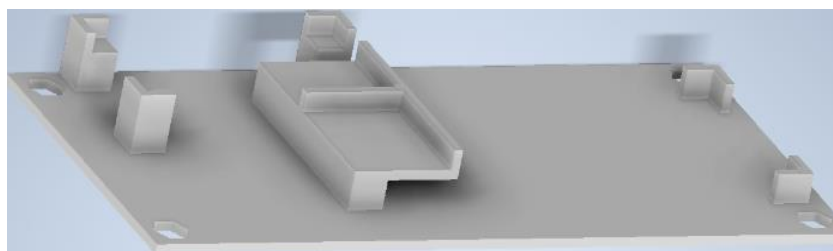


Ilustración 39 Arnés de la electrónica

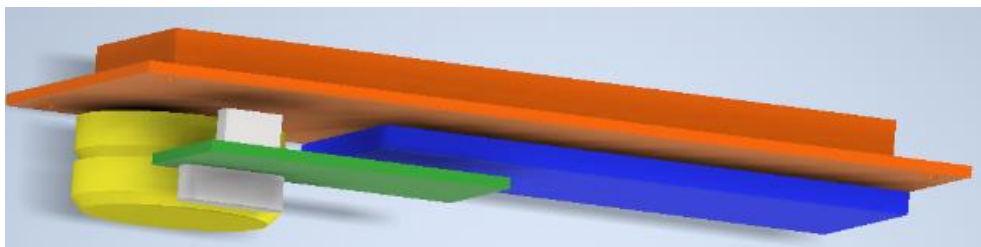


Ilustración 40 Disposición de la electrónica

7.2. Resultado

Una vez conocidas las distintas configuraciones elegidas podemos visualizar como se vería el diseño final. En primer lugar y habiendo conocido los diseños previos acerca de la biela podremos conocer cómo se verán en conjunto la biela con la electrónica, en este caso en color morado para poder verla con más contraste.

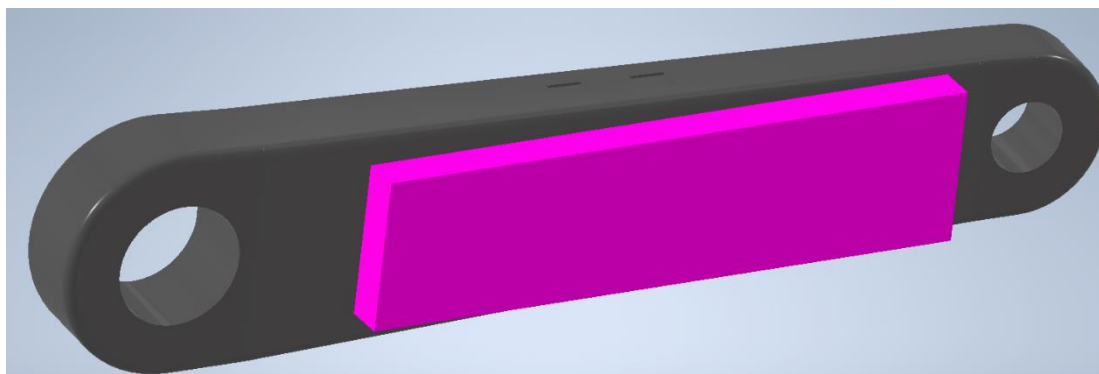


Ilustración 41 Vista trasera biela y potenciómetro

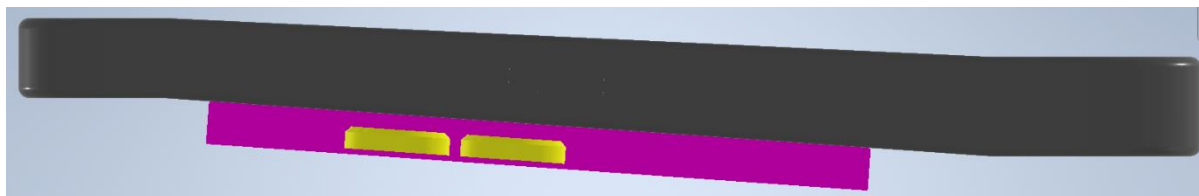


Ilustración 42 Vista lateral biela con electrónica

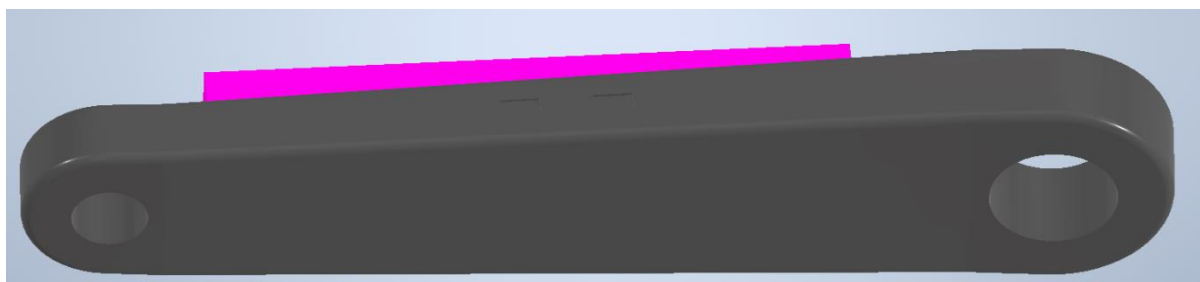


Ilustración 44 Vista frontal biela con electrónica

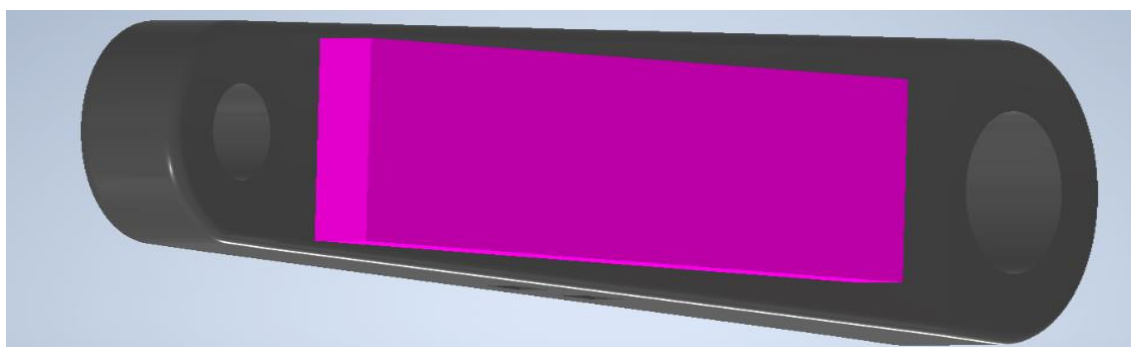


Ilustración 43 Vista trasera biela con electrónica

En estas ilustraciones se puede observar como la caja de la electrónica está adherida a la parte trasera y más cercano al alojamiento del pedal que al del eje pedalier para tener más espacio hasta el cuadro de la bicicleta.

En las siguientes ilustraciones se pueden ver unos renderizados de las piezas montadas en distintos tipos de bicicletas y distintos modelos.



Ilustración 45 Bicicleta de carretera con el sistema instalado



Ilustración 48 Bicicleta de montaña con el sistema montado

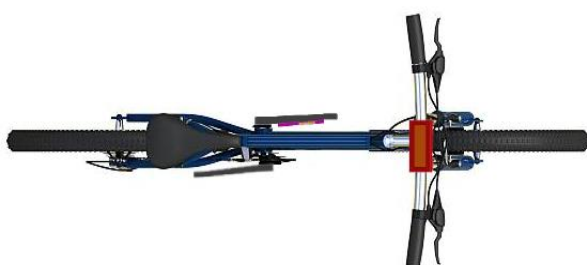


Ilustración 46 Bicicleta con sistema instalada vista superior

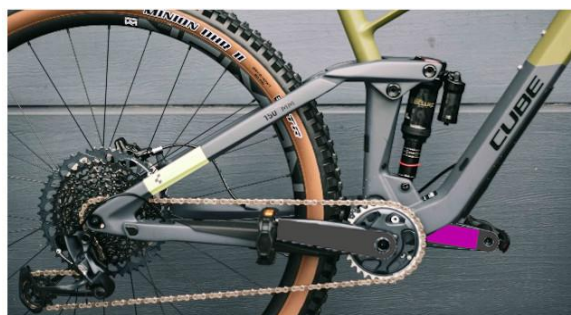


Ilustración 47 Sistema de cambios con el sistema instalado

8. REFERENCIAS

Acero al carbono | Producto Industrial | Metalium.

<https://metalium.mx/acero-al-carbono>

«Aluminio 6061 vs 7005. Toda la verdad.» Bikelec, 2 de marzo de 2013,

<https://www.bikelec.es/blog/aluminio-6061-vs-7005-toda-la-verdad>.

Aluminio serie 7000 | Aleación de Al-Zn-Mg-Cu | Guoxin. <http://gx-aluminioperfile.com/7-al-magnesium-zinc-copper>. Accedido 11 de junio de 2024.

Cómo elegir aluminio 6061 Vs 7075 para proyecto CNC | DDPROTOTIPO. 2 de junio de 2024, <https://www.ddprototype.com/es/c%C3%B3mo-elegir-aluminio-6061-o-7075-para-proyectos-cnc/.ESMTB.com>.

«Cada vez más marcas añaden potenciómetros de serie, Orbea ofrece el 4iiii en algunos modelos». ESMTB.com, 17 de agosto de 2022, <https://esmtb.com/cada-vez-mas-marcas-anaden-potenciometros-de-serie-orbea-ofrecera-el-4iiii-en-algunos-modelos/>.

Fyfe, Kipling, y Keith Wakeham. Adhesively Coupled Power-Meter for Measurement of Force, Torque, and Power and Associated Methods. US10458788B2, 29 de octubre de 2019, <https://patents.google.com/patent/US10458788B2/en/>.

Hauschildt, Gunter Michael. Portable Power Meter for Calculating Power Applied to a Pedal and Crank Arm Based Drive Mechanism and a Method of Calculating the Power. US7599806B2, 6 de octubre de 2009, [https://patents.google.com/patent/US7599806B2/en?q=\(power+meter+ciclyng\)&oq=power+meter+ciclyng](https://patents.google.com/patent/US7599806B2/en?q=(power+meter+ciclyng)&oq=power+meter+ciclyng).

Iglesias-Pino, Javier, et al. «Interchangeability between the Data Obtained by Two Powermeters during Road Cycling Competitions: A Case Study». International Journal of Environmental Research and Public Health, vol. 19, n.º 24, enero de 2022, p. 16446. [www.mdpi.com, https://doi.org/10.3390/ijerph192416446](https://doi.org/10.3390/ijerph192416446).

Lull, Andrew P., y Eric Goleish. Apparatus, System and Method for Power Measurement. US9417144B2, 16 de agosto de 2016, [https://patents.google.com/patent/US9417144B2/en?q=\(power+meter+bicycle\)&oq=power+meter+bicycle](https://patents.google.com/patent/US9417144B2/en?q=(power+meter+bicycle)&oq=power+meter+bicycle).

Nassef, Hany Ramez. Energy Harvesting Power Output Measurement Apparatus and Methods for Cycling. US9063026B2, 23 de junio de 2015, [https://patents.google.com/patent/US9063026B2/en?q=\(power+meter+ciclyng+shaft\)&oq=power+meter+ciclyng+shaft](https://patents.google.com/patent/US9063026B2/en?q=(power+meter+ciclyng+shaft)&oq=power+meter+ciclyng+shaft).

Energy Harvesting Power Output Measurement Apparatus and Methods for Cycling. US9063026B2, 23 de junio de 2015, [https://patents.google.com/patent/US9063026B2/en?q=\(power+meter+ciclyng\)&oq=power+meter+ciclyng](https://patents.google.com/patent/US9063026B2/en?q=(power+meter+ciclyng)&oq=power+meter+ciclyng).

Pastor, Javier. «La Raspberry Pi Pico es un microcontrolador de 4 dólares con sorpresa: un SoC propio diseñado por la Raspberry Pi Foundation». Xataka, 21 de enero de 2021, <https://www.xataka.com/accesorios/raspberry-pi-pico-microcontrolador-4-dolares-sorpresa-soc-propio-disenado-raspberry-pi-foundation>.

¿Qué es el aluminio 6061? - Metrar. 21 de noviembre de 2019, <https://metrar.com.ar/blog/que-es-el-aluminio-6061/>.
«Tutorial MPU6050, Acelerómetro y Giroscopio». Naylamp Mechatronics - Perú, https://naylampmechatronics.com/blog/45_tutorial-mpu6050-acelerometro-y-giroscopio.html.

Valencia, María Camila Salas. «¿Cuánto peso puede soportar una bicicleta eléctrica? Le contamos». El Tiempo, 15 de mayo de 2023, <https://www.eltiempo.com/tecnosfera/novedades-tecnologia/cuanto-peso-puede-soportar-una-bicicleta-electrica-768626>.

Vergara, Pablo Carrasco, et al. Pedaling Torque and Power Measuring Device for a Bicycle. US9810593B2, 7 de noviembre de 2017, [https://patents.google.com/patent/US9810593B2/en?q=\(power+meter+ciclyng+shaft\)&oq=power+meter+ciclyng+shaft](https://patents.google.com/patent/US9810593B2/en?q=(power+meter+ciclyng+shaft)&oq=power+meter+ciclyng+shaft).

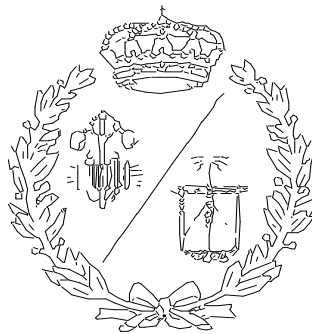
Pedaling Torque Sensor Device for Each Cyclist's Leg and Power Meter Apparatus. US20140200835A1, 17 de julio de 2014, [https://patents.google.com/patent/US20140200835A1/en?q=\(power+meter+ciclyng+pedals\)&oq=power+meter+ciclyng+pedals](https://patents.google.com/patent/US20140200835A1/en?q=(power+meter+ciclyng+pedals)&oq=power+meter+ciclyng+pedals).

Pedaling Torque Sensor Device for Each Cyclist's Leg and Power Meter Apparatus. US20140200835A1, 17 de julio de 2014, [https://patents.google.com/patent/US20140200835A1/en?q=\(power+meter+ciclyng+pedals\)&oq=power+meter+ciclyng+pedals](https://patents.google.com/patent/US20140200835A1/en?q=(power+meter+ciclyng+pedals)&oq=power+meter+ciclyng+pedals).

史密斯肯特M. 自行車鞋功率感測器. TWI721460B, 11 de marzo de 2021, [https://patents.google.com/patent/TWI721460B/en?q=\(Cycling+Power+Measurement\)&oq=Cycling+Power+Measurement](https://patents.google.com/patent/TWI721460B/en?q=(Cycling+Power+Measurement)&oq=Cycling+Power+Measurement).

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN**

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Proyecto Fin de Grado

DOCUMENTO II: ANEXO DE CÁLCULOS

Autor: Andrés González Pinto

Julio-2024

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	FUERZAS EJERCIDAS.....	2
3.	DEFORMACIONES.....	10
4.	CÁLCULO DEFORMACIÓN DE LAS GALGAS.....	12

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Esquema biela	2
Ilustración 2 Lugar de las fuerzas en la biela durante el pedaleo	3
Ilustración 3 Dimensiones habituales de un pedal.....	4
Ilustración 4 Vista frontal de la fuerza aplicada	4
Ilustración 5 Vista lateral de la acción aplicada	5
Ilustración 6 Análisis por elementos finitos	5
Ilustración 9 Tensiones máximas en X	6
Ilustración 10 Tensiones máximas en Y vista oblicua	6
Ilustración 11 Tensiones máximas en Y vista frontal.....	6
Ilustración 12 Tensiones máximas en Z vista frontal.....	7
Ilustración 13 Tensiones máximas en Z vista alternativa	7
Ilustración 14 Zona de máxima tensión	7
Ilustración 15 Cubo infinitesimal Tensión máxima	8
Ilustración 16 Tensión máxima con fuerza de 600 N	9
Ilustración 17 Deformaciones máximas 1500 N	10
Ilustración 18 Deformaciones máximas vista alternativa	10
Ilustración 19 Deformaciones en el eje Y	10
Ilustración 20 Deformación en el eje X.....	10
Ilustración 21 Deformación en el eje Z	11
Ilustración 22 Deformación con fuerza de 600 N.....	11
Ilustración 23 Puente de Wheatstone.....	13
Ilustración 24 Distribución de las galgas en la biela	14
Ilustración 25 Posición de galgas en el puente de Wheatstone.....	14
Ilustración 26 Corte transversal biela por la zona de las galgas	16
Tabla 1 Relación entre fuerza aplicada y strain	17

1. INTRODUCCIÓN

En este documento se realizarán los cálculos teóricos y análisis de los modelos desarrollados para conocer si cumplen con los requisitos técnicos y si son capaces de soportar los esfuerzos a los que van a ser sometidos durante su uso, para ello se usará el software de Autodesk Inventor para diseñar la pieza en 3D y el software de Inventor Nastran para analizar por elementos finitos su comportamiento.

Primeramente, se harán los cálculos necesarios para conocer cuáles son las fuerzas ejercidas a la biela para así conocer el orden de magnitud con el que vamos a trabajar y los valores máximos a los que va a estar sometida la pieza.

A continuación, se estudiará la deformación sufrida por la pieza con estas cargas máximas y se evaluará si la deformación es la adecuada para su uso.

Por último, se conocerá los valores que obtendrá el puente de Wheatstone a la hora de medir la deformación y cuáles son las relaciones entre deformación strain.

Una vez realizados los cálculos se conocerá correctamente el desempeño de la biela durante su uso.

2. FUERZAS EJERCIDAS.

A la hora de conocer la fuerza que tiene que soportar una biela se han desarrollado tres hipótesis principales para conocer los valores máximos aplicables a una biela.

Según la información recopilada en numerosas fuentes dedicadas al ciclismo se han encontrado las fuerzas máximas ejercidas por un ciclista profesional, entendiendo que los ciclistas profesionales son los que más exigen a la bicicleta ya que tienen un mayor rendimiento y ejercen unas mayores fuerzas sobre esta, lo más habitual es que un ciclista profesional como máximo ejerza 455 vatios durante periodos cortos de tiempo.

Pensando en las fuerzas que se ejerce sobre la biela, esta recibirá una fuerza durante la parte de bajada del pedal en la que el ciclista ejerce la máxima fuerza, en este caso un ciclista ejerce como máximo la de todo el peso del ciclista, que en la mayoría de los casos no suelen superar los 100 kg de peso (habiendo gente que anda en bici y pesa más, aunque no es lo habitual).

También hay que tener en cuenta que una cadena de una bicicleta aguanta como máximo entre 100 y 130 kilogramos.

De estos datos podemos sacar una fuerza aproximada que tendrá que soportar la biela de la bicicleta.

Respecto a la primera hipótesis podemos hacer el cálculo de la fuerza máxima ejercida por un ciclista profesional en un sprint sabiendo que la cadencia suele rondar las 55 revoluciones por minuto.

$$Fuerza = \frac{Potencia}{Revoluciones * Longitud de la biela}$$

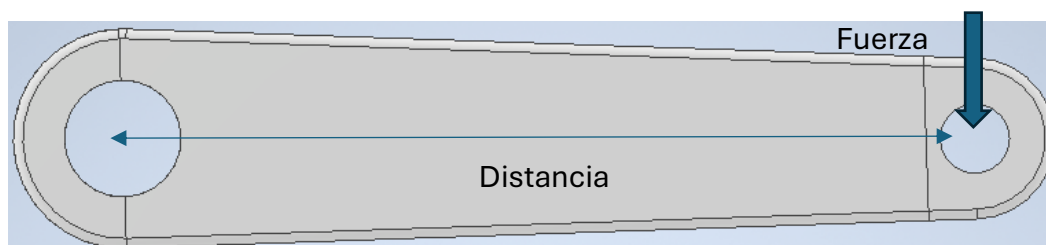


Ilustración 1 Esquema biela

Las revoluciones tienen unidades de radianes por segundo, la potencia en vatios y la longitud en metros desde el punto de apoyo del eje de pedalier hasta el pedal que como máximo suele ser bielas para gente alta con una distancia entre ejes de 175 mm.

$$\text{Revoluciones} = 55 \text{ rpm} * \frac{1 \text{ minuto}}{60 \text{ segundos}} * \frac{2\pi \text{ radianes}}{1 \text{ revolucion}} = 5,76 \text{ rad/seg}$$

$$\text{Fuerza} = \frac{455 \text{ vatios}}{5,76 \frac{\text{rad}}{\text{seg}} * 0,175 \text{ metros}} = 451 \text{ newtons}$$

En la segunda hipótesis, si el ciclista pesa 100 kilogramos la biela tendrá una fuerza sobre su pedal de 1000 newtons en el caso de que aplique todo su peso sobre el pedal, lo cual solo se puede hacer durante la fase de bajada del pedal y se vería bastante afectada por la fuerza ejercida en el otro pedal. No llegaría a ser 1000 newtons de medida continua.

Para la tercera hipótesis tenemos que conocer el diámetro de un plato de bicicleta, como norma general no suelen ser más grandes que 144 mm y la longitud de la biela es 175 mm, así que con eso y conociendo la fuerza máxima que aguanta podemos obtener la fuerza máxima que se puede emplear en el pedal sin romper la cadena.



Ilustración 2 Lugar de las fuerzas en la biela durante el pedaleo

$$\text{Fuerza 1} * \text{Radio corona} = \text{Fuerza 2} * \text{Longitud biela}$$

$$\text{Fuerza 2} = \frac{\text{Fuerza 1} * \text{Radio corona}}{\text{Longitud biela}}$$

$$Fuerza\ 2 = \frac{1300\ Newtons * \frac{144}{2}\ Milimetros}{175\ Milimetros} = 534,8\ Newtons$$

Podemos sacar de esta información que lo normal es aplicar una fuerza no superior a 600 newtons aproximadamente, aunque se pueda aplicar más fuerza, teniendo en cuenta estos cálculos podemos aproximar una fuerza máxima que tendrá que soportar la biela. Conociendo estos datos y añadiendo un coeficiente de seguridad podemos fijar en 1500 newtons la fuerza que ejerce el ciclista sobre el pedal, aunque es casi imposible que esto ocurra estaremos del lado de la seguridad.

Para calcular esto usaremos la herramienta de MSC Nastran en Inventor y le añadiremos una carga a la biela en el eje del pedal desplazada una distancia de 60 mm que es el lugar donde apoya el pie del ciclista y donde se aplica la fuerza.

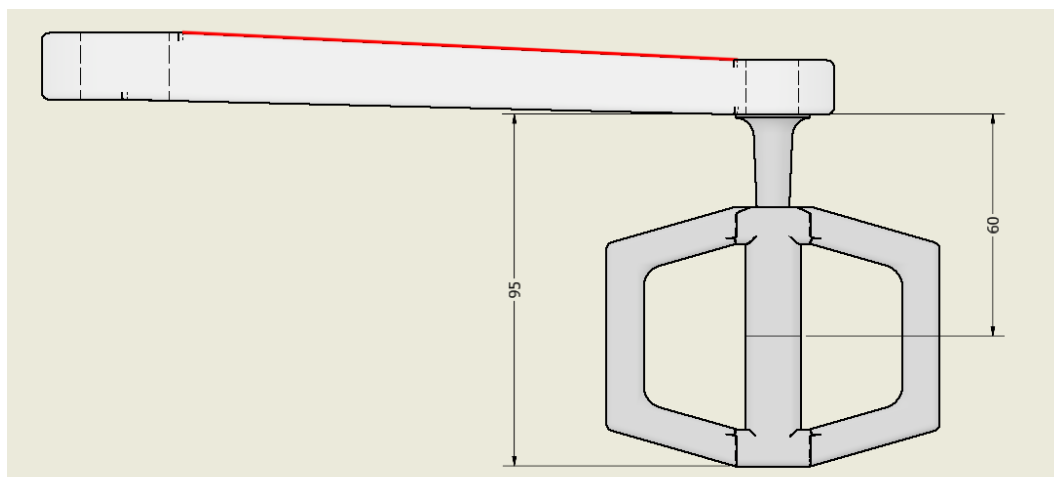


Ilustración 3 Dimensiones habituales de un pedal

Esto dará como resultado una fuerza sobre el eje del pedal que flexionará la biela y un momento que aplicará una torsión sobre la biela. Ilustración 4 y 5.

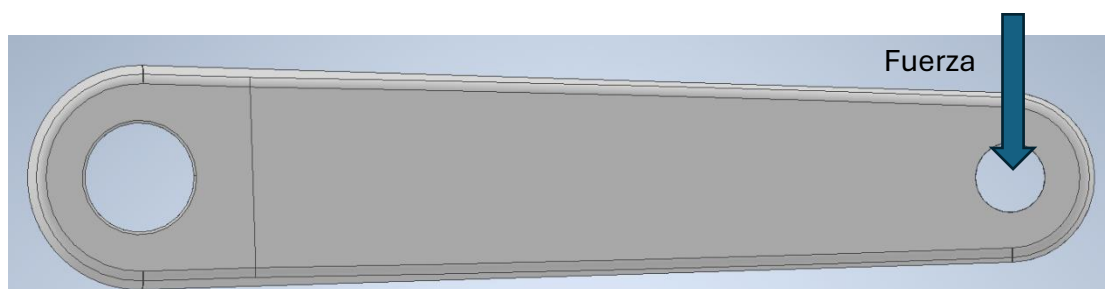


Ilustración 4 Vista frontal de la fuerza aplicada

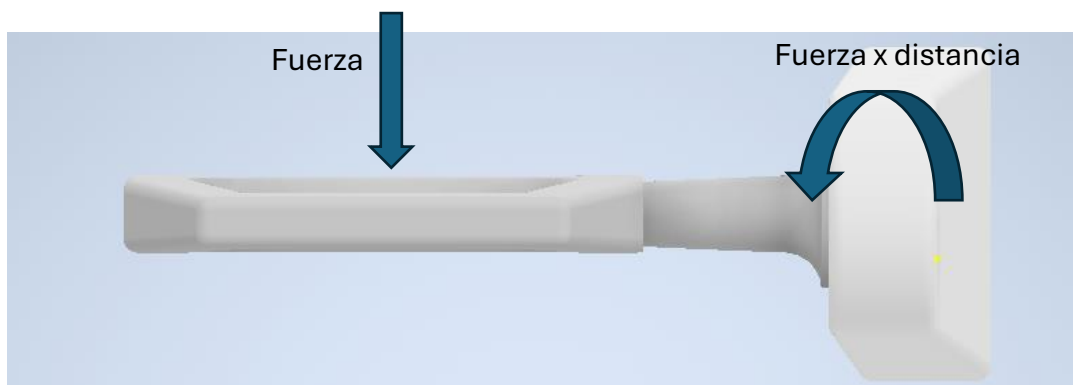


Ilustración 5 Vista lateral de la acción aplicada

Como ya hemos estipulado, la fuerza máxima ejercida será como máximo 600 Newtons y para estar del lado de la seguridad se calculará una fuerza ejercida sobre la biela de 1500 newtons lo que corresponde con un coeficiente de seguridad de 2,5 y por lo tanto un momento torsor sobre la biela de 90 newtons metro. Para ello se evaluará la biela en posición horizontal como si se tratara de una viga empotrada en el eje del pedalier.

Estos cálculos nos aportaran los siguientes datos mediante el método de elementos finitos de Inventor Nastran.

Comenzamos con el análisis de las tensiones por Von-mises. Ilustración 6.

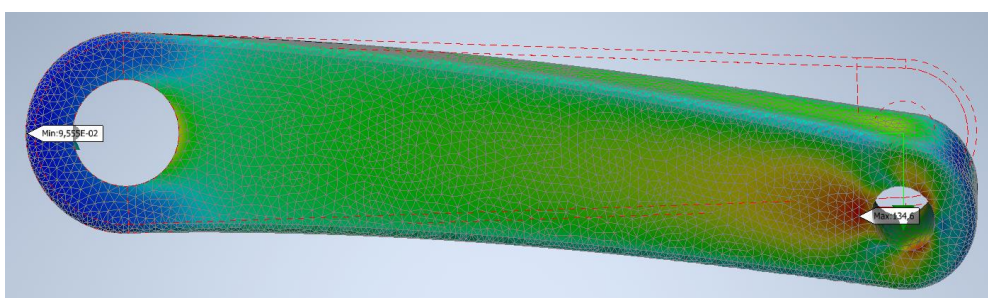


Ilustración 6 Análisis por elementos finitos

Del análisis podemos obtener que hay una tensión máxima de 134,6 MPa y una mínima de 0,0955 MPa, lo cual son datos más que aceptables ya que su límite elástico es de 310 MPa por lo que no llegaría a plastificar, aunque se aplicará una fuerza mucho mayor a la que podría efectuar un ciclista.

Desglosando por cada uno de los ejes vemos lo siguiente, primeramente, en el eje X siendo X el eje horizontal, Y el eje vertical y Z el eje perpendicular a las siguientes ilustraciones 7, 8 y 9.

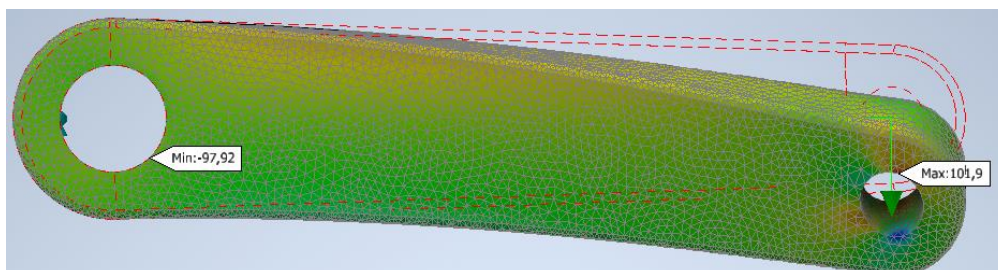


Ilustración 7 Tensiones máximas en X vista frontal

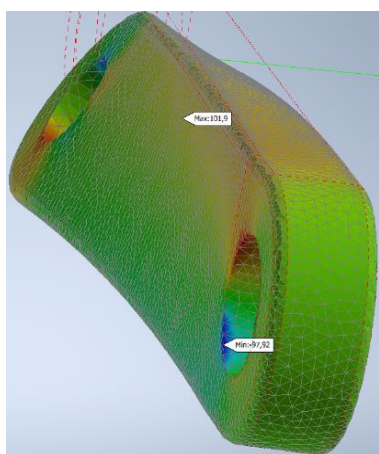


Ilustración 8 Tensiones máximas en X

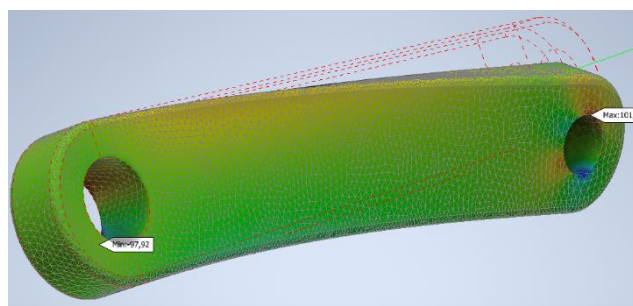


Ilustración 9 Tensiones máximas en X

De este desglose se puede ver que la tensión máxima es 101,9 MPa en la parte superior del agujero del pedal y mínimo de -97,92 MPa en la zona inferior del eje de pedalier a lo largo del eje x (horizontal).

A continuación, en el eje Y (vertical) en las ilustraciones 11 y 12.

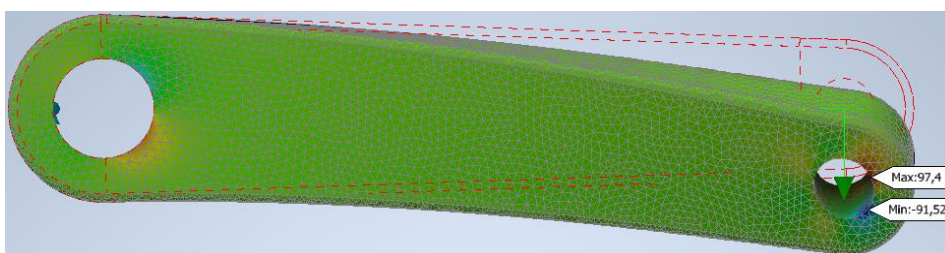


Ilustración 10 Tensiones máximas en Y vista frontal

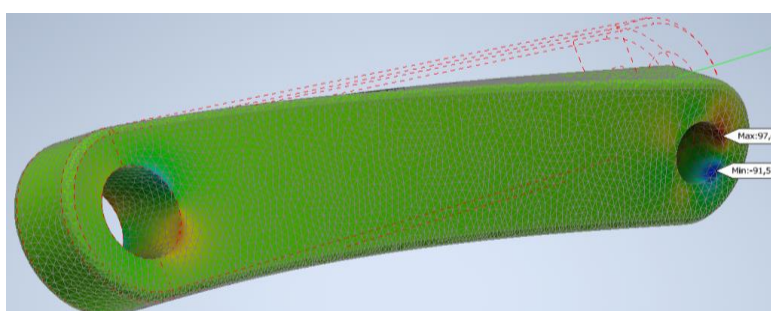


Ilustración 11 Tensiones máximas en Y vista oblicua

A lo largo del eje Y la máxima es de 97,4 MPa en la zona superior derecha del alojamiento del pedal en la cara frontal y -91,52 en la parte inferior derecha del alojamiento del pedal en la cara frontal.

En el eje Z (perpendicular a la biela).

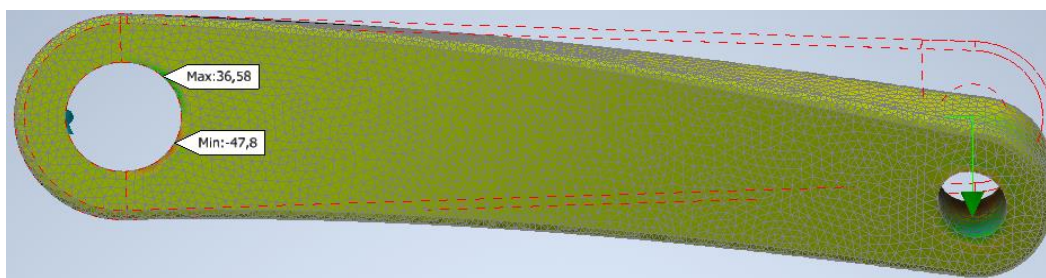


Ilustración 12 Tensiones máximas en Z vista frontal

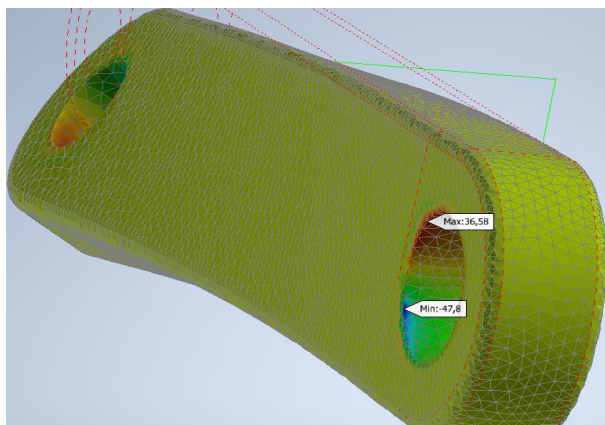


Ilustración 13 Tensiones máximas en Z vista alternativa

La tensión máxima se encuentra en el alojamiento del eje de pedalier en la cara posterior de un valor máximo de 36,58 MPa y un valor mínimo de -47,8 MPa.

Habiendo visto cada uno de los ejes pormenorizado podremos analizar la zona de máxima tensión (ilustración 14) mediante Von-Mises para conocer cuál es la máxima de cada una de ellas, para ello utilizaremos cubos infinitesimales para analizar las tensiones normales.

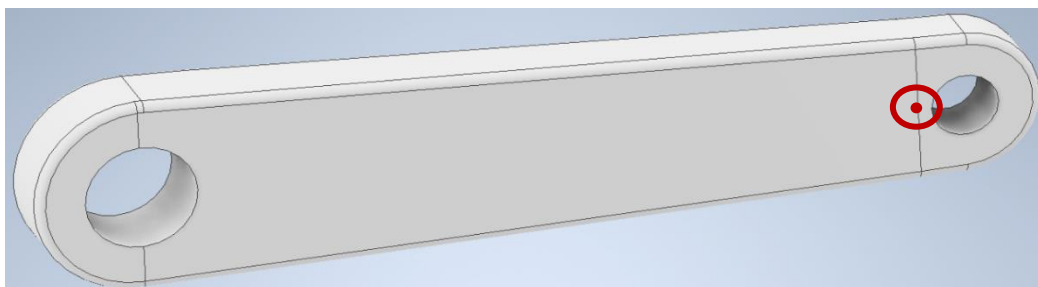


Ilustración 14 Zona de máxima tensión

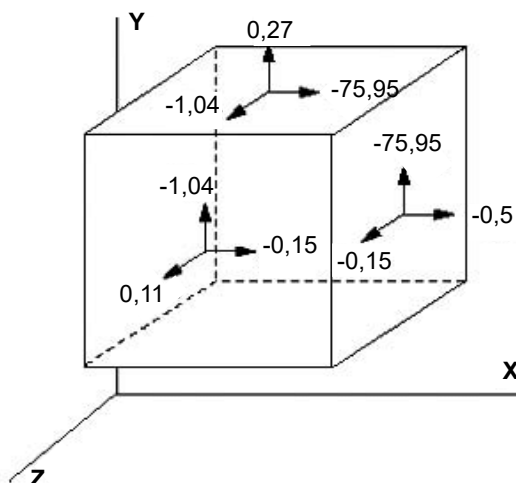


Ilustración 15 Cubo infinitesimal Tensión máxima

Analizando las reacciones en el punto de máxima tensión obtenemos el siguiente tensor de tensiones.

$$T = \begin{pmatrix} -0,5 & -75,95 & -0,15 \\ -75,95 & 0,27 & -1,04 \\ -0,15 & -1,04 & -0,15 \end{pmatrix} MPa$$

De lo que podemos obtener las tensiones principales calculando los autovalores:

- $I_1 = -0,12$
- $I_2 = -5769,36$
- $I_3 = 657,7$

Con estos datos obtenemos las tensiones principales:

- $\sigma_1 = -76,075 \text{ MPa}$
- $\sigma_2 = 0,114 \text{ MPa}$
- $\sigma_3 = 75,84 \text{ MPa}$

Mediante Von-Mises podemos calcular la tensión máxima en ese punto.

$$VM = \sqrt{0,5((\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2)} = 132,4 \text{ MPa}$$

La tensión obtenida es muy parecida a la tensión máxima de Autodesk Inventor Nastran, pero si calculamos sin redondeo la cifra que da es 134,6 Mpa.

Si calculamos para el caso normal de un pedaleo con la fuerza máxima habitual (600 N) de un ciclista de competición estos datos dan como resultado un número sustancialmente más pequeño. Ilustración 16.

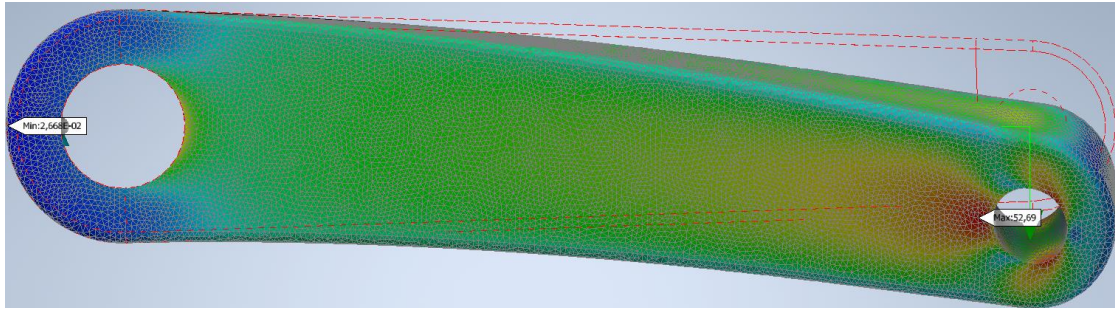


Ilustración 16 Tensión máxima con fuerza de 600 N

En este caso únicamente llega a una tensión máxima de 52,09 Mpa lo cual es bastante por debajo de la tensión que puede soportar esta pieza.

3. DEFORMACIONES

A continuación, analizaremos las deformaciones máximas de la pieza con el mismo programa.

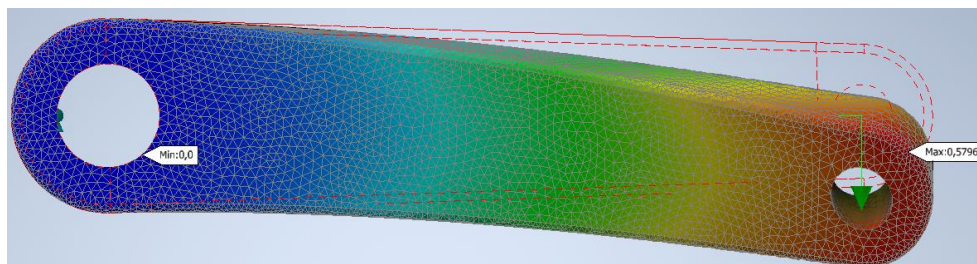


Ilustración 17 Deformaciones máximas 1500 N

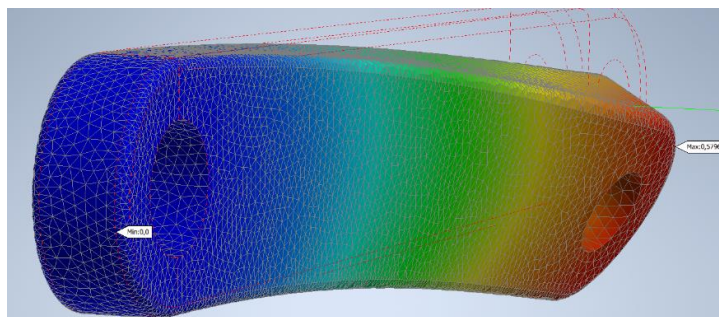


Ilustración 18 Deformaciones máximas vista alternativa

Como se puede observar, tendrá una deformación máxima bajo estas condiciones de carga en torno a medio milímetro para un coeficiente de seguridad de 2,5 lo que es bastante correcto ya que es casi imperceptible. Ilustración 20 y 21.

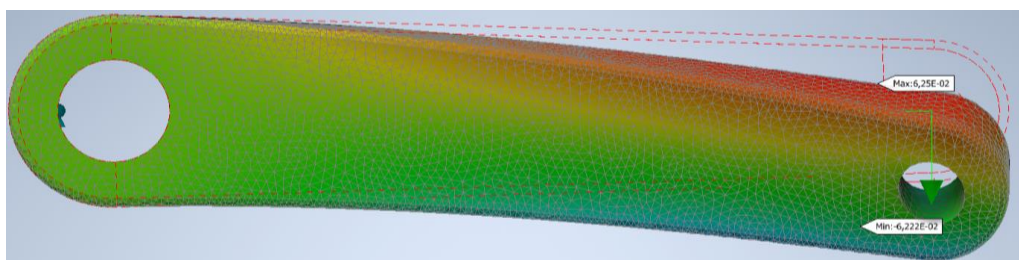


Ilustración 19 Deformación en el eje X

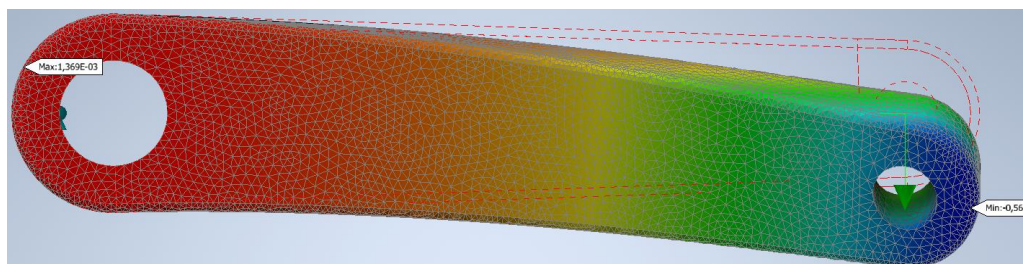


Ilustración 20 Deformaciones en el eje Y

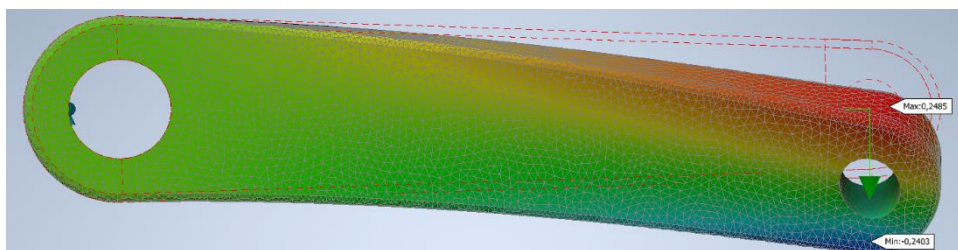


Ilustración 21 Deformación en el eje Z

Pormenorizado la deformación en X (horizontal) es bastante pequeña, muy por debajo de un milímetro, en el eje Y (vertical) es bastante parecida a la deformación máxima ya que es donde más se deforma debido a la flexión de la biela, en el eje Z (perpendicular a la biela) tiene una deformación máxima de 0,2 milímetros lo cual sigue siendo bastante despreciable. Ilustración 22.

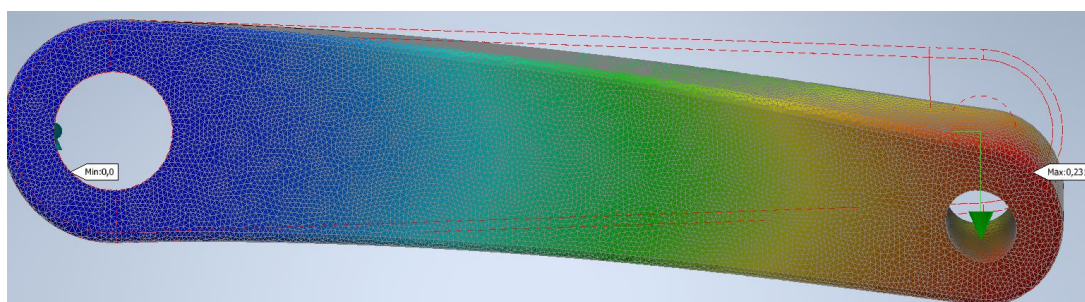


Ilustración 22 Deformación con fuerza de 600 N

Si analizamos el caso de una fuerza máxima de 600 Newtons (máxima de un ciclista profesional) podremos sacar los siguientes datos de deformación. Tendrá una deformación máxima de 0,23 milímetros lo cual es prácticamente imperceptible para el usuario.

4. CÁLCULO DEFORMACIÓN DE LAS GALGAS

A la hora de obtener datos de la biela es necesario utilizar galgas extensiométricas, mediante su uso somos capaces de medir la fuerza aplicada sobre la biela.

Una galga es una resistencia eléctrica que a la hora de variar su geometría también varían los ohmios, es decir, si la deformamos se cambiará su resistencia. Aprovechándonos de este fenómeno podremos adherirla a la biela y con ello obtener una variación de resistencia que será directamente proporcional a la fuerza aplicada sobre la biela.

La variación del ohmioje de la resistencia es a razón de la siguiente fórmula.

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

- R = Resistencia
- ρ = Características del material
- L = Longitud de la resistencia
- A = Área de la sección

Con ello podremos obtener la variación de la tensión atendiendo a la deformación física de la resistencia, si la longitud aumenta la resistencia será mayor y viceversa y si el área se reduce la resistencia aumenta y viceversa. La relación entre la variación y el área viene conocida por el coeficiente de Poisson:

$$\frac{\Delta D}{D} = -\gamma \frac{\Delta L}{L}$$

- D = Diámetro
- L = Longitud

Conociendo la variación de la resistencia respecto a la tensión mecánica podremos calcular la variación de la resistencia eléctrica respecto de la variación de la longitud.

$$\frac{\partial R}{\partial \sigma} = \frac{\rho}{A} \frac{\partial L}{\partial \sigma} + \frac{L}{A} \frac{\partial \rho}{\partial \sigma} - \frac{\rho L}{A^2} \frac{\partial A}{\partial \sigma}$$

$$\text{Factor de galga} = G_F = \frac{\Delta R/R}{\Delta L/L}$$

$$G_F = \frac{\frac{\Delta R}{R}}{\frac{\Delta L}{L}} \rightarrow \frac{\partial R}{\partial \sigma} = \frac{\left(\frac{\rho}{A} \frac{\partial L}{\partial \sigma} + \frac{L}{A} \frac{\partial \rho}{\partial \sigma} - \frac{\rho L}{A^2} \frac{\partial A}{\partial \sigma} \right)}{R} = \frac{\left(\frac{\rho}{A} \frac{\partial L}{\partial \sigma} + \frac{L}{A} \frac{\partial \rho}{\partial \sigma} - \frac{\rho L}{A^2} \frac{\partial A}{\partial \sigma} \right)}{\rho \frac{L}{A}} =$$

Trabajamos sobre la siguiente expresión haciendo el cambio por Poisson.

$$-\frac{\rho L}{A^2} \frac{\partial A}{\partial \sigma} = -\frac{1}{A} \frac{2D\pi}{4} \frac{\partial D}{\partial \sigma} = -\frac{1}{\frac{\pi D^2}{4}} \frac{2D\pi}{4} \frac{\partial D}{\partial \sigma} = \frac{2\gamma}{L} \frac{\partial L}{\partial \sigma}$$

$$\frac{1}{R} \frac{\partial R}{\partial \sigma} = \frac{1}{L} \frac{\partial L}{\partial \sigma} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial \sigma} - \frac{2\gamma}{L} \frac{\partial L}{\partial \sigma}$$

A continuación, hacemos el cambio de pequeñas diferenciales a variación de pequeñas deformaciones.

$$\frac{1}{R} \Delta R = \frac{1}{L} \Delta L + \frac{1}{\rho} \Delta \rho - \frac{2\gamma}{L} \Delta L$$

Siendo variación de L entre L la deformación (ε)

$$\frac{\Delta R}{R} = \varepsilon + \frac{1}{\rho} \Delta \rho - 2\gamma \varepsilon \rightarrow GF = (1 - 2\gamma) + \frac{\Delta \rho}{\rho \varepsilon}$$

A continuación, obtenemos la relación que hay entre la tensión medida y la tensión de entrada en un puente de Wheatstone calculando la resistencia mas su incremento debido a la deformación. Siendo R el valor de las resistencias (ya que es la misma en las 4) y Δ_i la variación de la resistencia con la deformación.

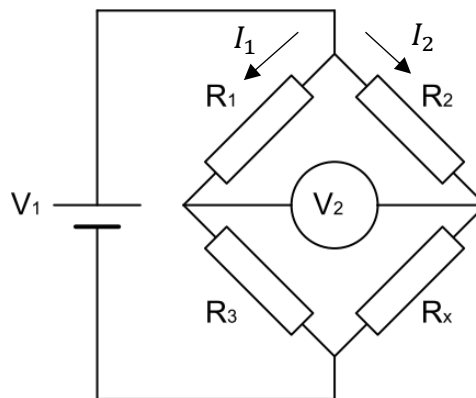


Ilustración 23 Puente de Wheatstone

$$V_2 = I_1 * R_2 - I_2 * R_3 = \frac{V_1}{R_1 + R_2} R_2 - \frac{V_2}{R_3 + R_4} R_3 \rightarrow$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{R_2 + \Delta R_2}{R_1 + \Delta R_1 + R_2 + \Delta R_2} - \frac{R_3 + \Delta R_3}{R_3 + \Delta R_3 + R_4 + \Delta R_4}$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{(R + \Delta R_2) * (2R + \Delta R_3 + \Delta R_4) - (R + \Delta R_3) * (2R + \Delta R_1 + \Delta R_2)}{(2R + \Delta R_1 + \Delta R_2) * (2R + \Delta R_3 + \Delta R_4)}$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{R * \Delta R_1 - R * \Delta R_2 + R * \Delta R_3 - R * \Delta R_4}{4R^2 + R * (\Delta R_1 + \Delta R_2 + \Delta R_3 + \Delta R_4)}$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{\Delta R_1 - \Delta R_2 + \Delta R_3 - \Delta R_4}{4R}$$

$$G_F = K = \frac{\Delta R/R}{\varepsilon} \rightarrow \frac{\Delta R}{R} = K\varepsilon$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{K}{4R} (\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4)$$

Una vez obtenida la expresión, particularizamos para el caso de una viga empotrada con una sección variable, una fuerza en el extremo y dos galgas en la parte superior (tracción) y dos en la inferior (compresión).

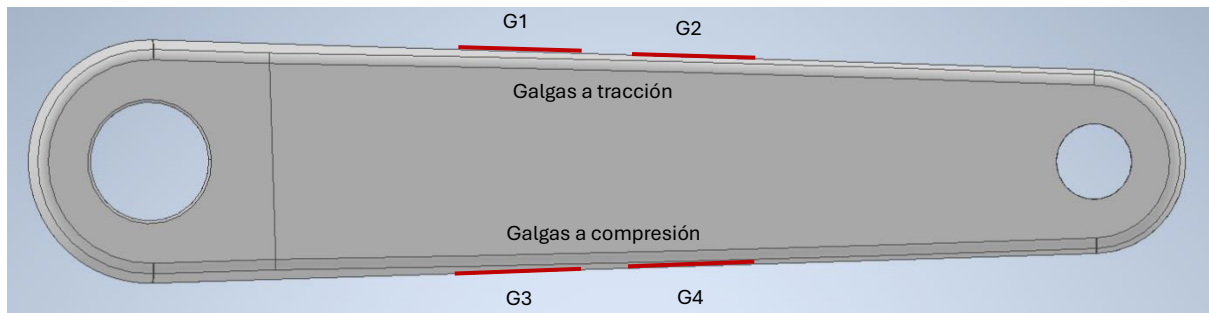


Ilustración 24 Distribución de las galgas en la biela

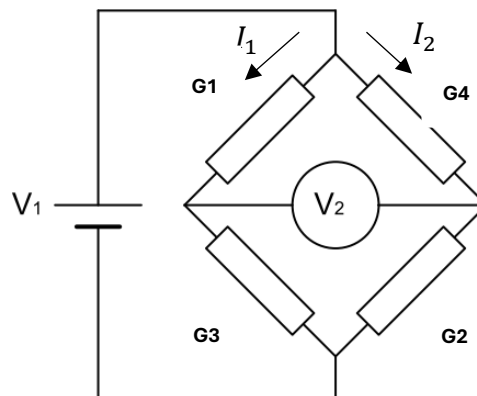


Ilustración 7 Posición de galgas en el puente de Wheatstone

Con la fórmula anterior calculamos lo siguiente:

$$G_1 = G_2 = \text{Tracción (+)}$$

$$G_3 = G_4 = \text{Compresión (-)}$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{K}{4R} (\varepsilon_{Traccion1} - \varepsilon_{Compresion3} + \varepsilon_{Traccion2} - \varepsilon_{Compresion4})$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{K}{4R} (\varepsilon_{Traccion1} - \varepsilon_{Compresion3} + \varepsilon_{Traccion2} - \varepsilon_{Compresion4})$$

La deformación a flexión es $\varepsilon = \frac{M_F}{I_Z} y$, las dimensiones de la sección para las galgas G_1 y G_3 en este caso son un rectángulo de base 16,42 milímetros y una altura de 39,2 milímetros, una distancia y desde el centro hasta donde está la galga de 19,2 milímetros y desde la fuerza hasta la galga de 92,74 milímetros.

Para las galgas G_2 y G_4 tenemos una altura del rectángulo de 38,21 milímetros, una base de 16,02 milímetros y una distancia desde el centro a la galga de 18,61 milímetros y una distancia desde la fuerza a la galga de 75,55 milímetros.

Para calcular utilizaremos la fuerza máxima de referencia de 600 newtons.

Con estos datos obtenidos podremos calcular los momentos flectores de cada uno y sus inercias para obtener la deformación de cada uno.

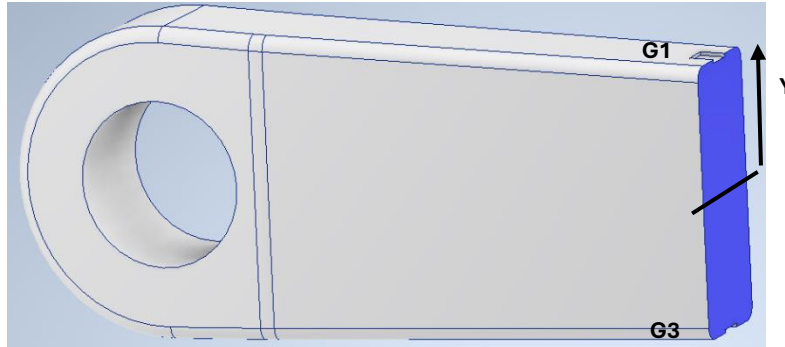


Ilustración 25 Corte transversal biela por la zona de las galgas

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{K}{4R} \left(\frac{M_{F1}}{I_{Z1}} Y_1 - \frac{M_{F3}}{I_{Z3}} Y_3 + \frac{M_{F2}}{I_{Z2}} Y_2 - \frac{M_{F4}}{I_{Z4}} Y_4 \right)$$

$$\varepsilon_1 = -\varepsilon_3 = \frac{M_{F1}}{I_{Z1}} y_1 = \frac{f * d_1}{\frac{1}{12} * b * h^3} y_1 = \frac{600 * 92,74}{\frac{1}{12} * 16,42 * 19,7^3} * 19,2 = 12,76 \frac{N}{mm^2}$$

$$\varepsilon_2 = -\varepsilon_4 = \frac{M_{F2}}{I_{Z2}} y_2 = \frac{600 * 75,55}{\frac{1}{12} * 16,02 * 38,21^3} * 18,61 = 11,33 \frac{N}{mm^2}$$

Introduciendo estos datos junto al factor de galga ($2.0 \leq \pm 1\%$) en la fórmula de la tensión media entre la tensión de entrada obtenemos dicha relación.

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{2}{4 * 350} (12,76 + 12,76 + 11,33 + 11,33) = 0,0688$$

De esta manera, en la Tabla 1 podemos ver los distintos valores medidos relacionados con las fuerzas ejercidas en la biela.

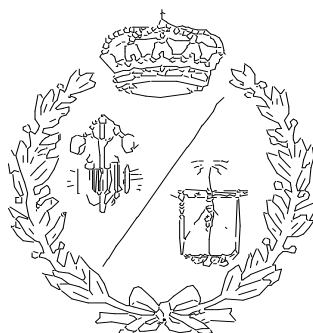
$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{F}{700} (0,02127 * 2 + 0,01888 * 2) = 0,0001147 * F$$

Fuerza (N)	V2/V1 (Strain)
50	0,005735
100	0,01147
150	0,017205
200	0,02294
250	0,028675
300	0,03441
350	0,040145
400	0,04588
450	0,051615
500	0,05735
550	0,063085
600	0,06882
650	0,074555
700	0,08029
750	0,086025
800	0,09176
850	0,097495
900	0,10323
950	0,108965
1000	0,1147

Tabla 1 Relación entre fuerza aplicada y strain

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN**

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Proyecto Fin de Grado

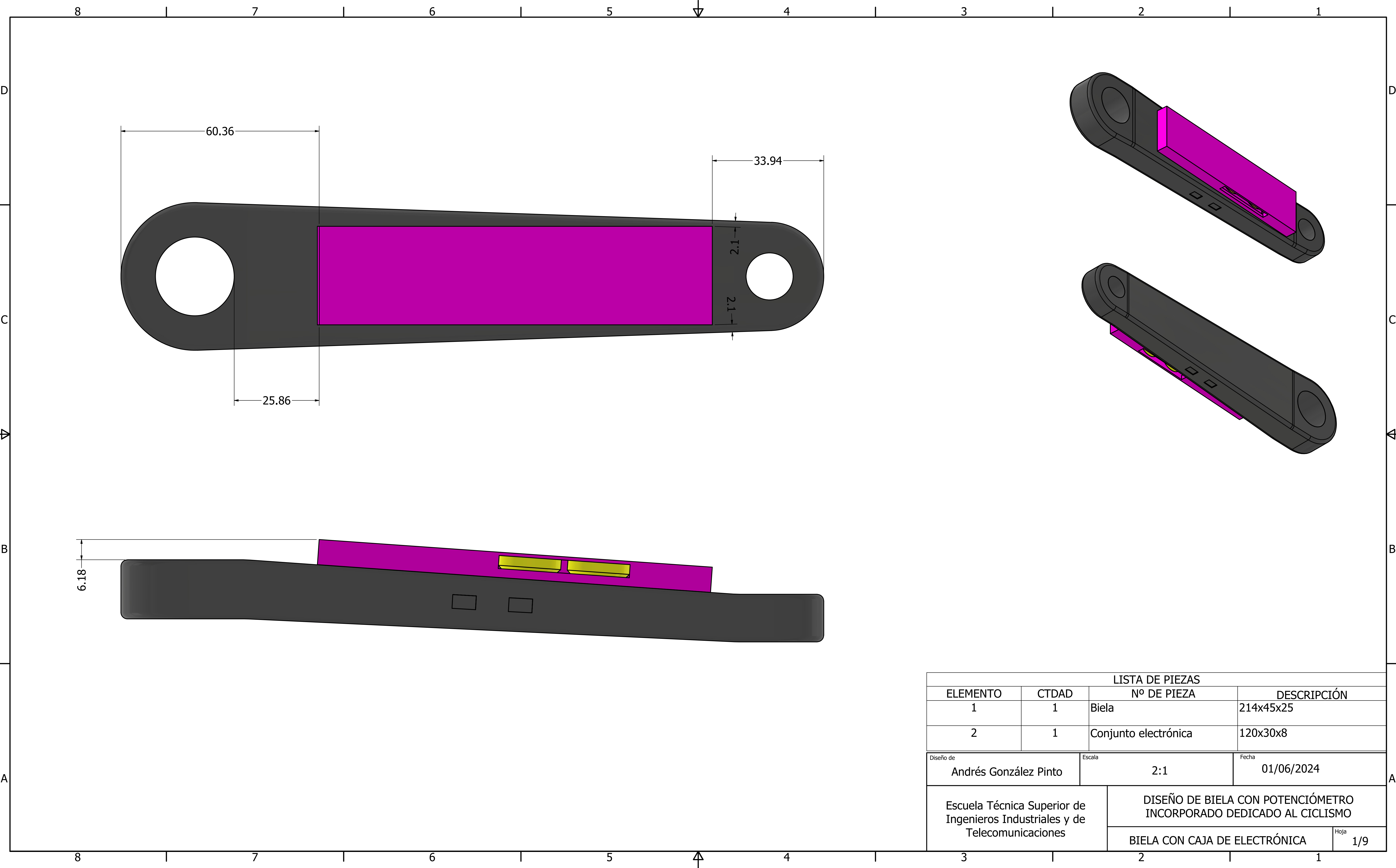
DOCUMENTO III: ANEXO DE PLANOS

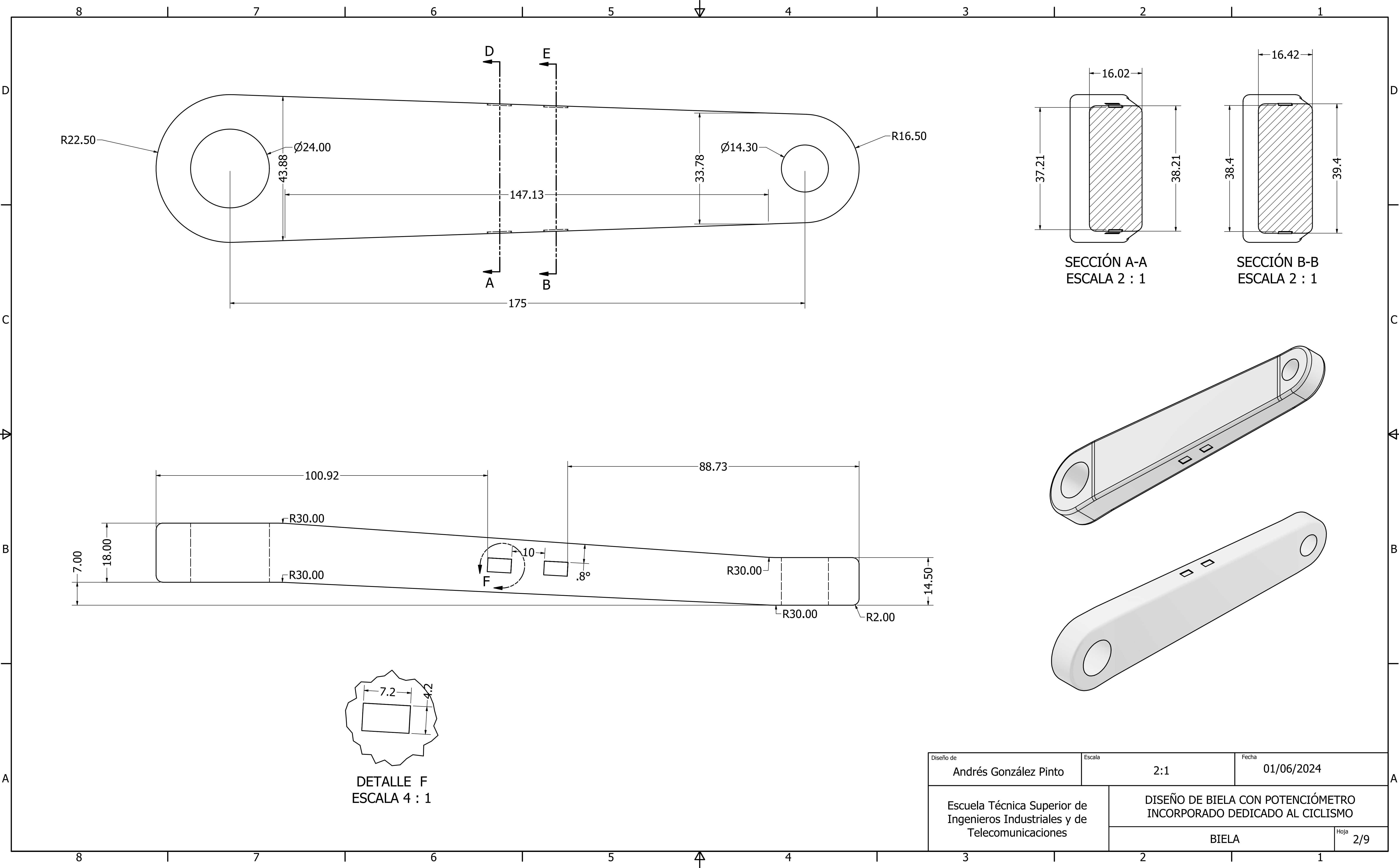
Autor: Andrés González Pinto

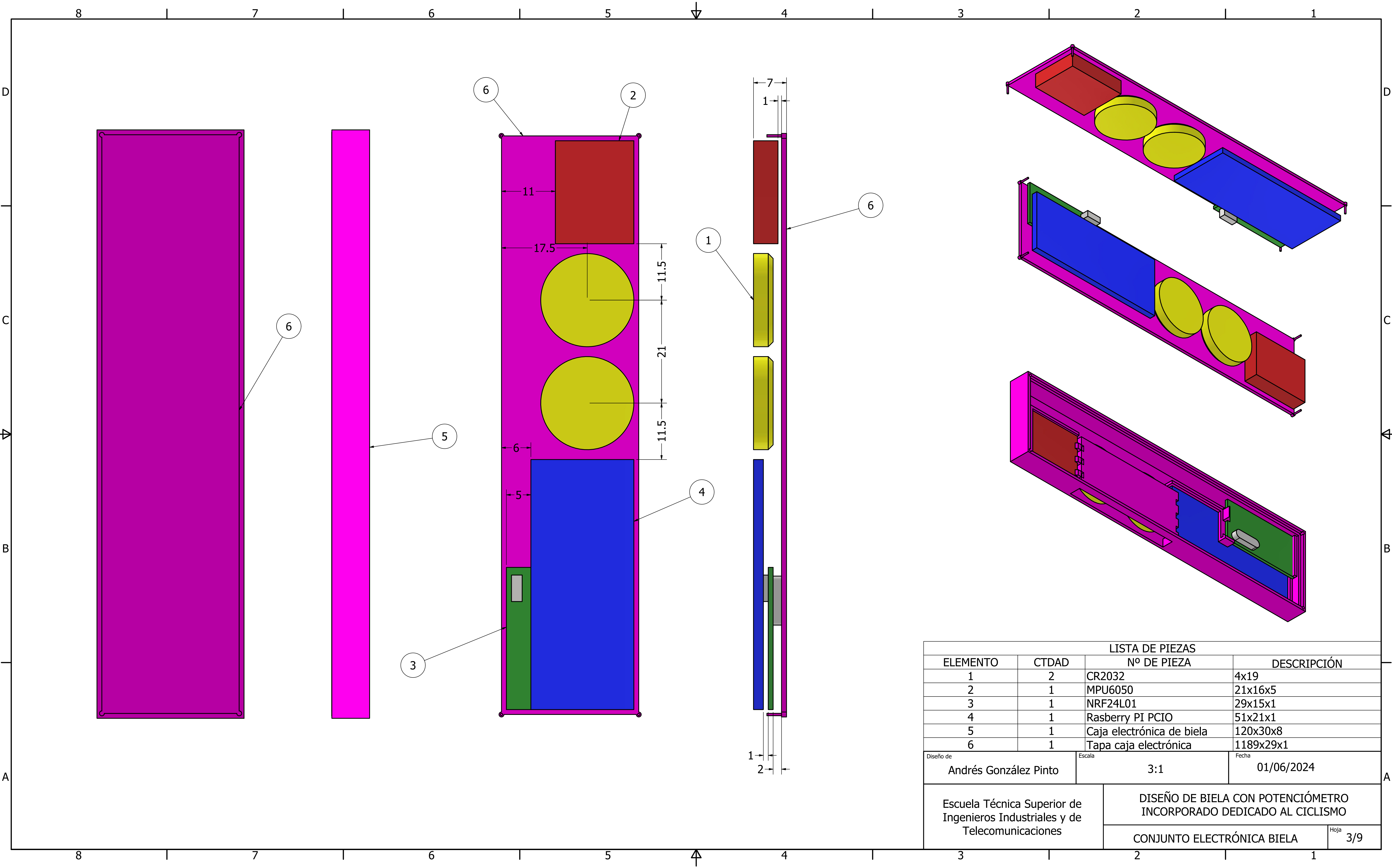
Julio-2024

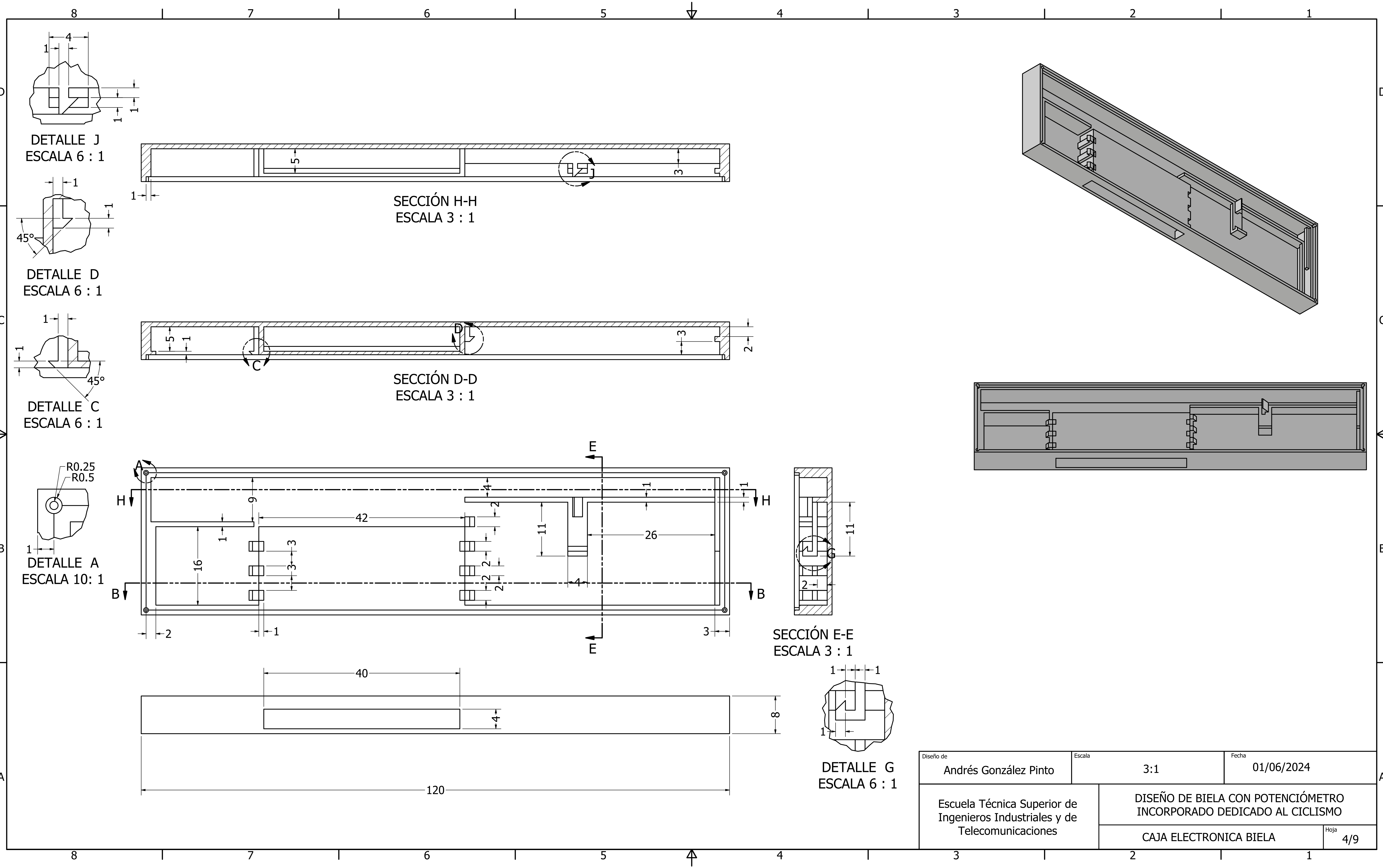
ÍNDICE

BIELA Y CAJA DE ELECTRÓNICA.....	1
BIELA	2
CONJUNTO ELECTRÓNICA BIELA	3
CAJA ELECTRÓNICA BIELA.....	4
TAPA CAJA BIELA	5
CONJUNTO CICLOCOMPUTADOR.....	6
CICLOCOMPUTADOR	7
ARNÉS CICLOCOMPUTADOR	8
TAPA Y SUJECCIÓN DEL MANILLAR CICLOCOMPUTADOR.....	9

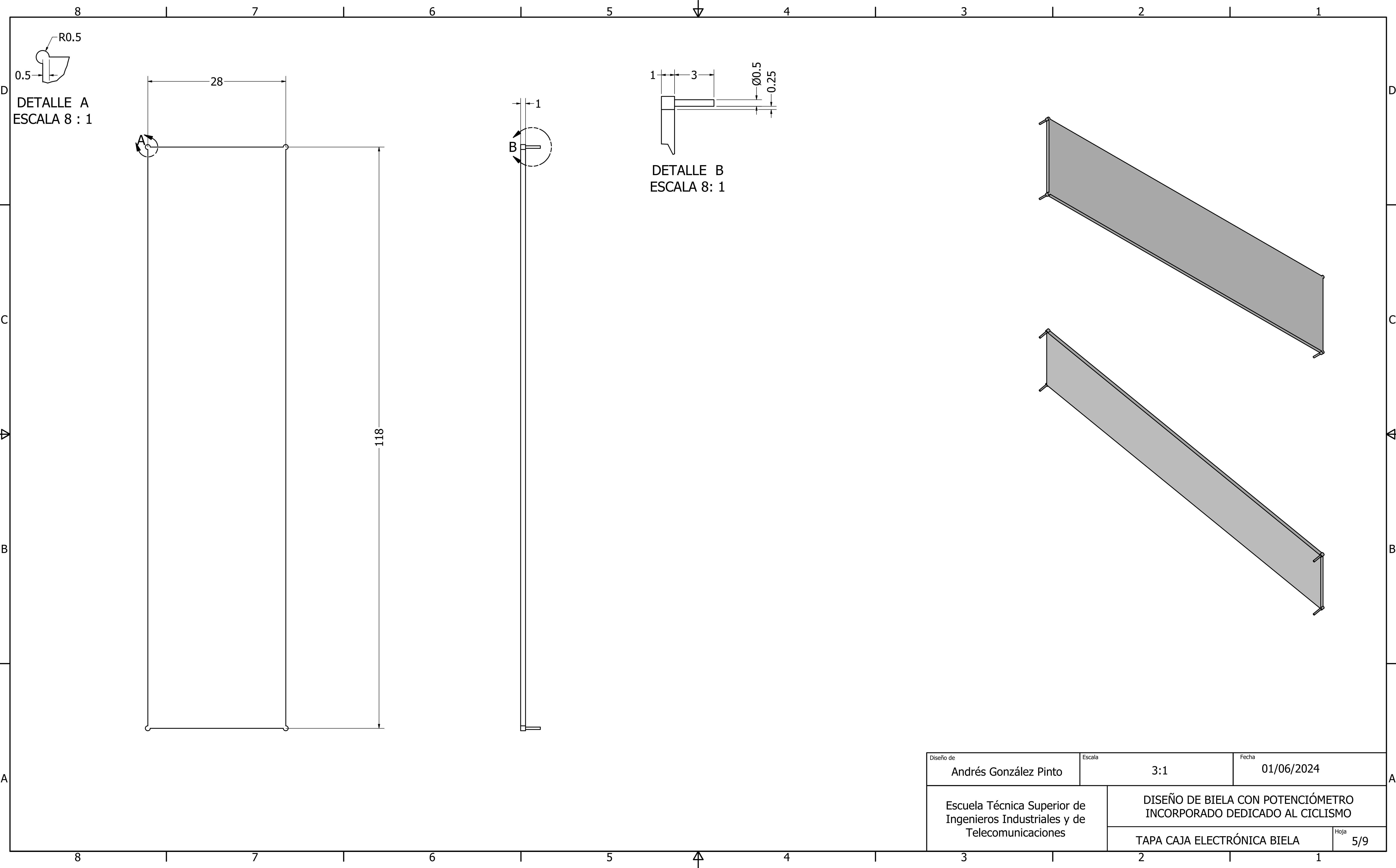




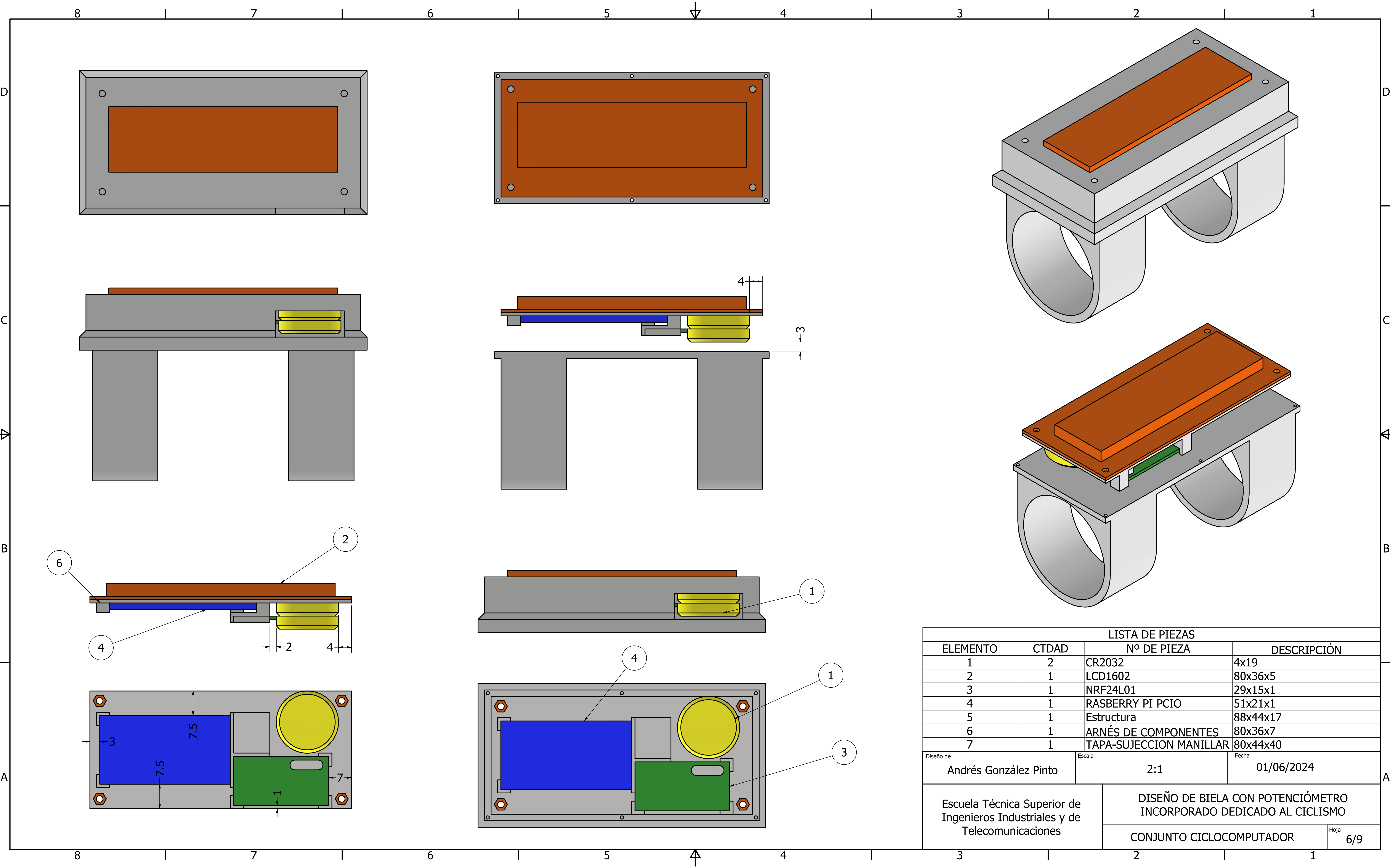


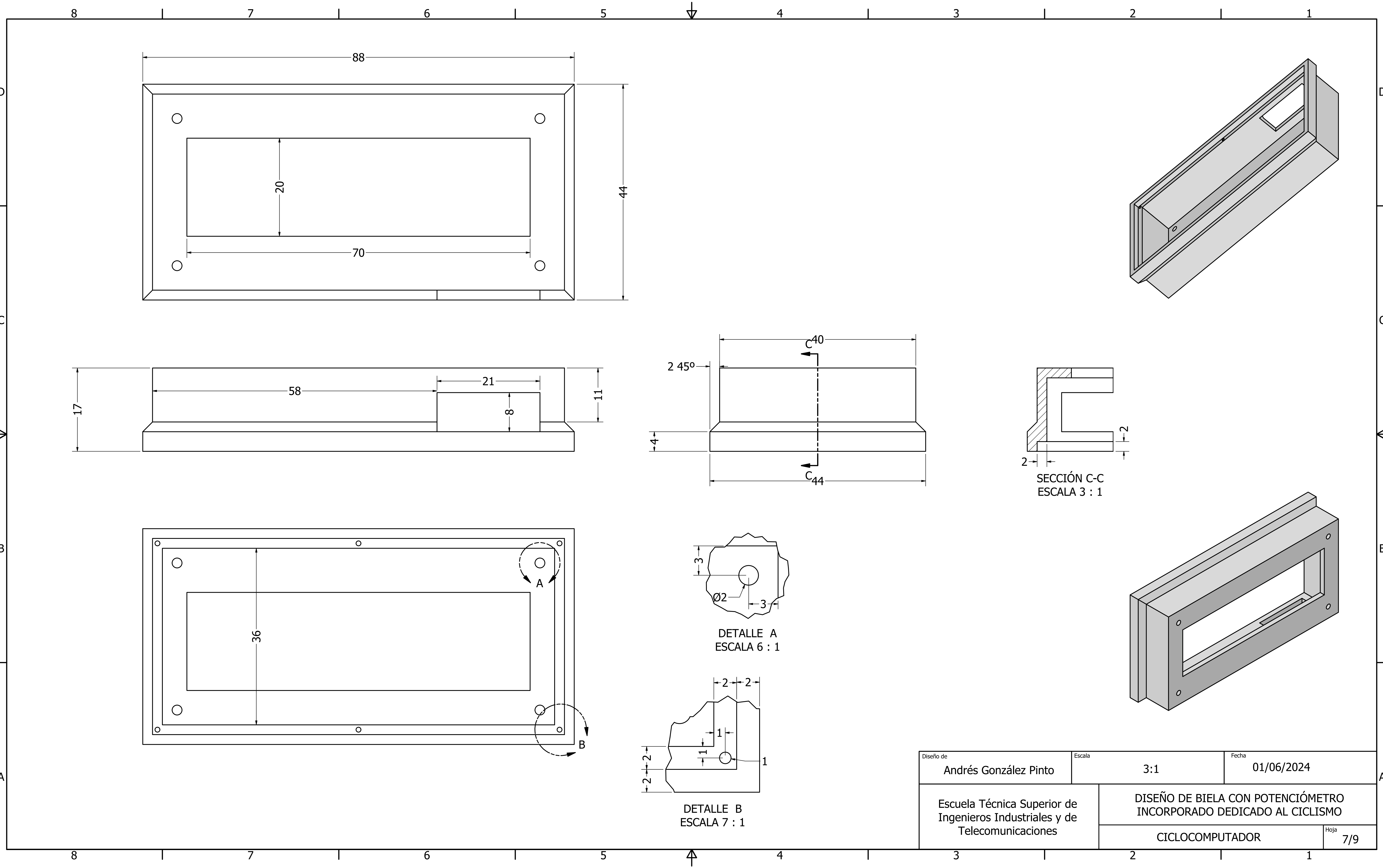


Diseño de	Escala	Fecha
Andrés González Pinto	3:1	01/06/2024
Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicaciones	DISEÑO DE BIELA CON POTENCIÓMETRO INCORPORADO DEDICADO AL CICLISMO	
	CAJA ELECTRONICA BIELA	Hoja 4/9

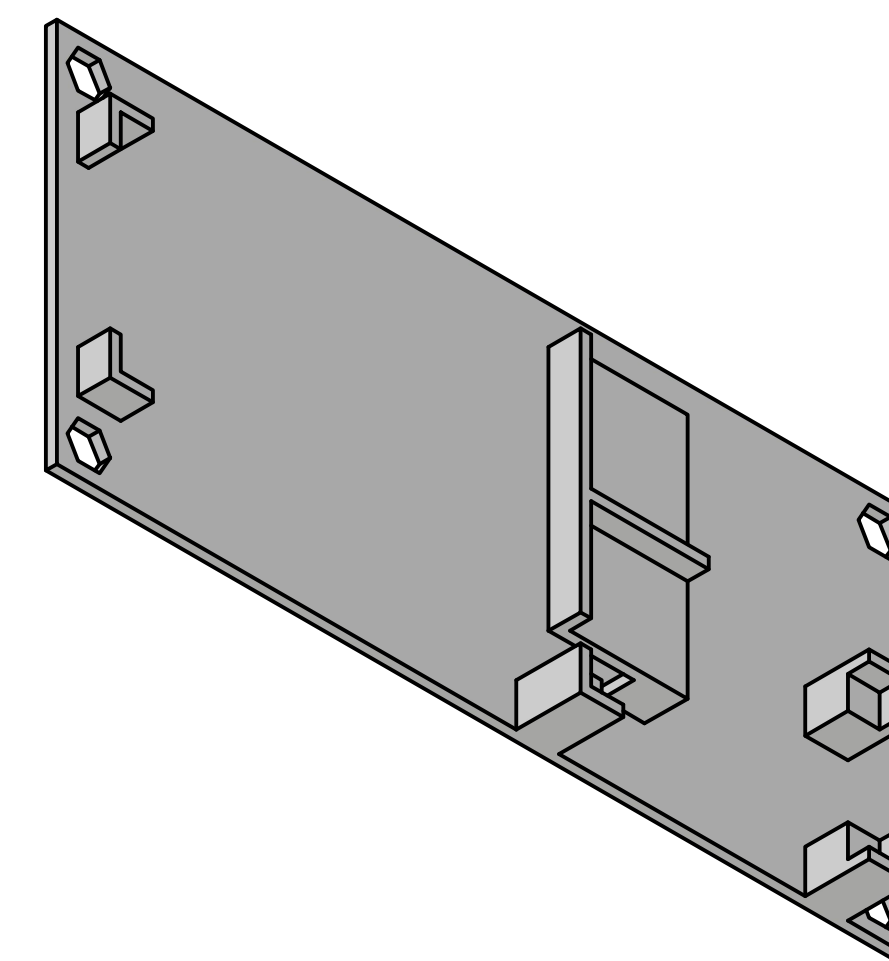
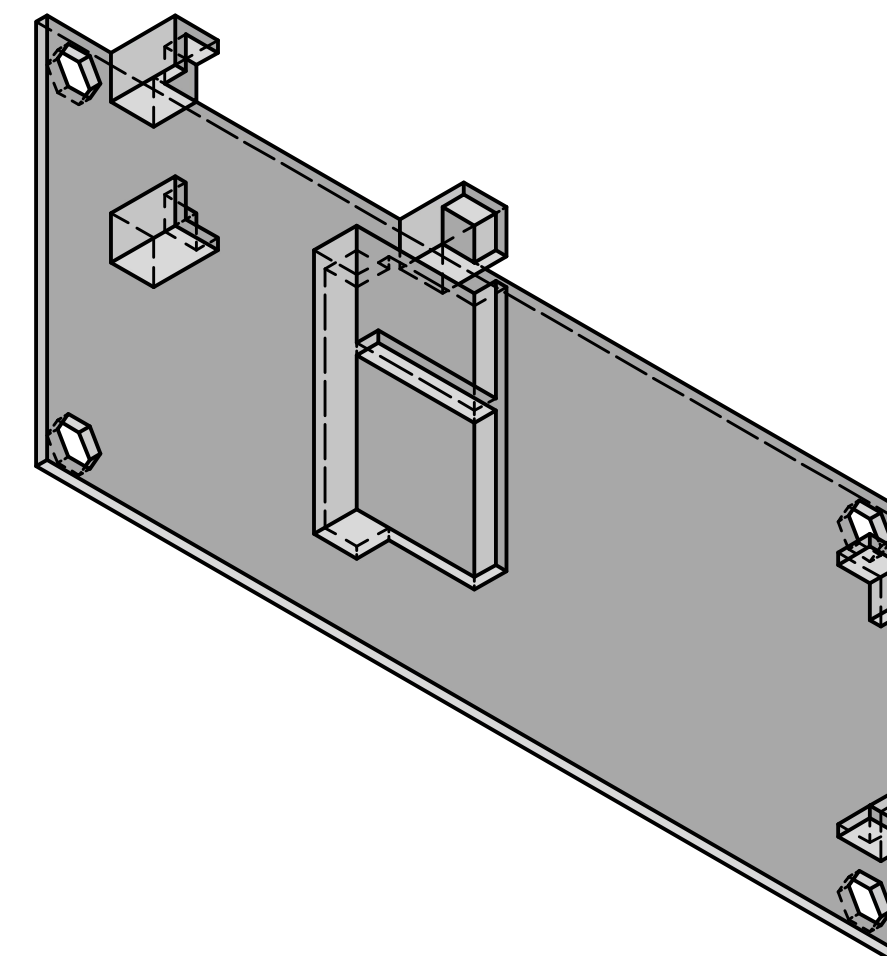
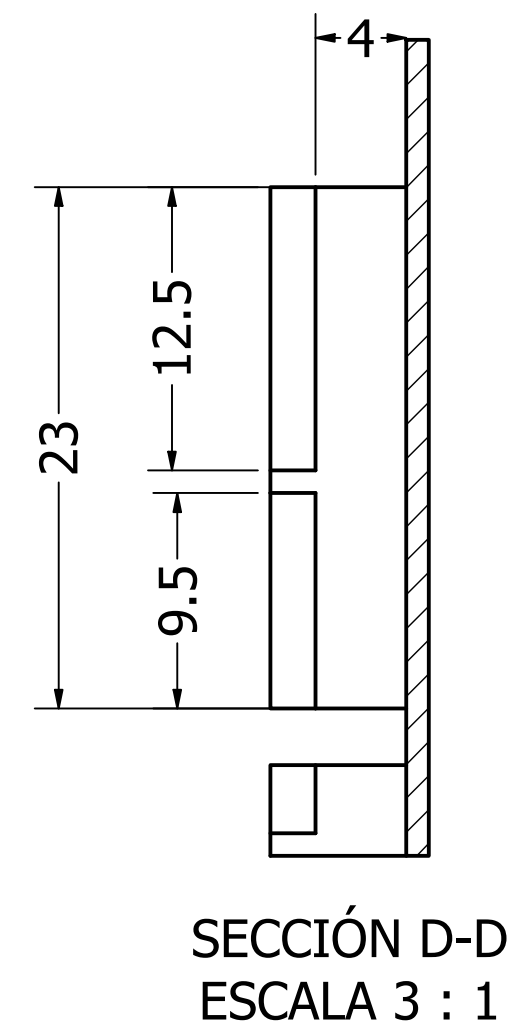
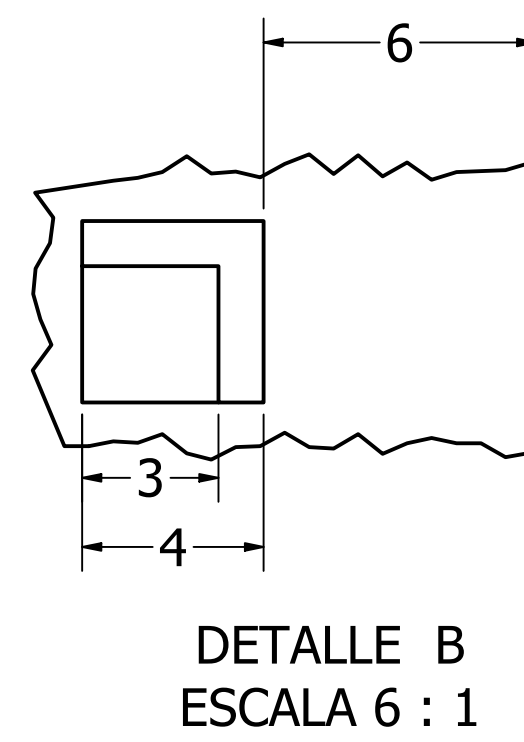
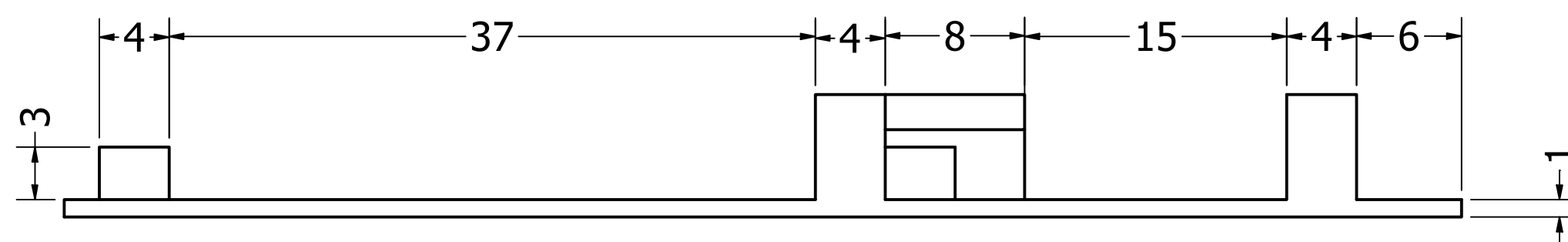
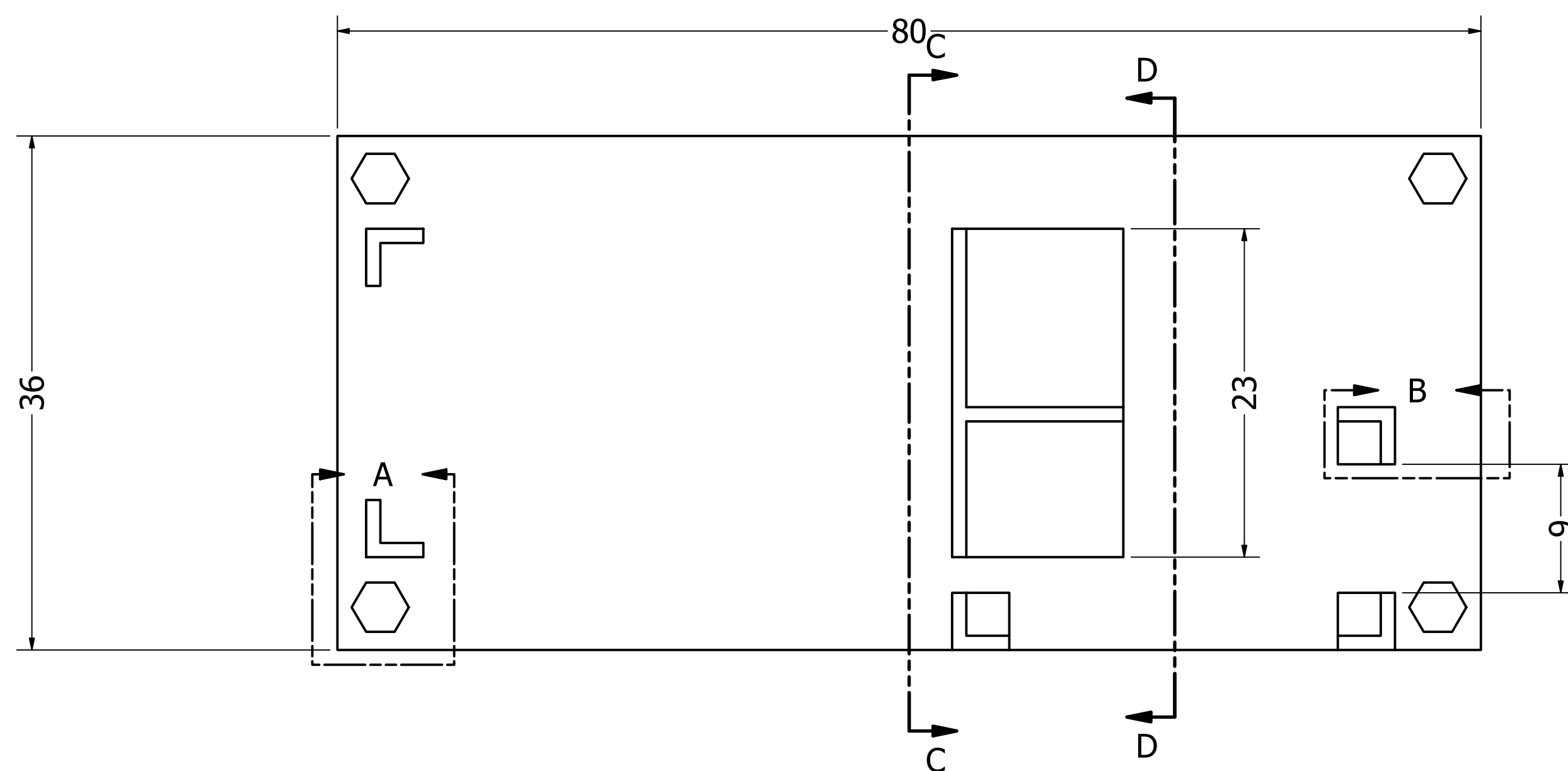
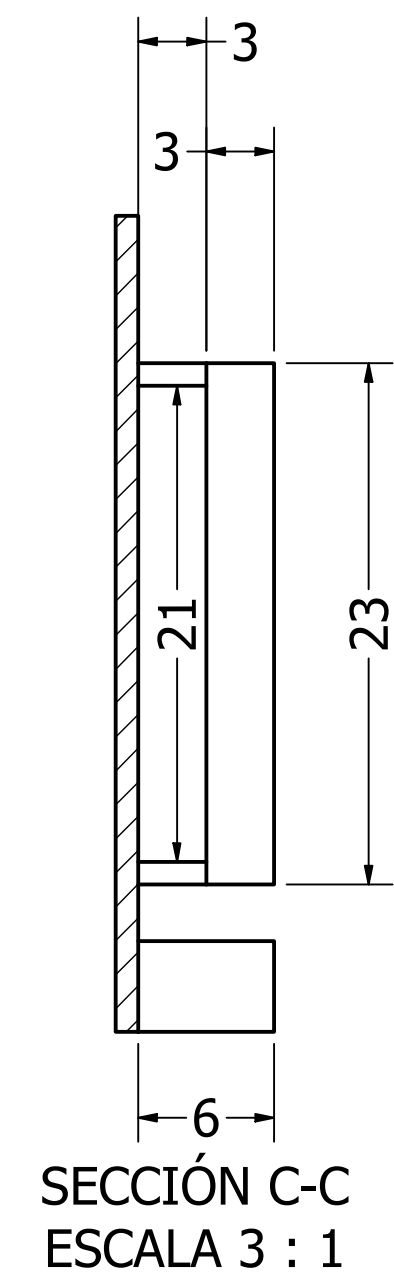
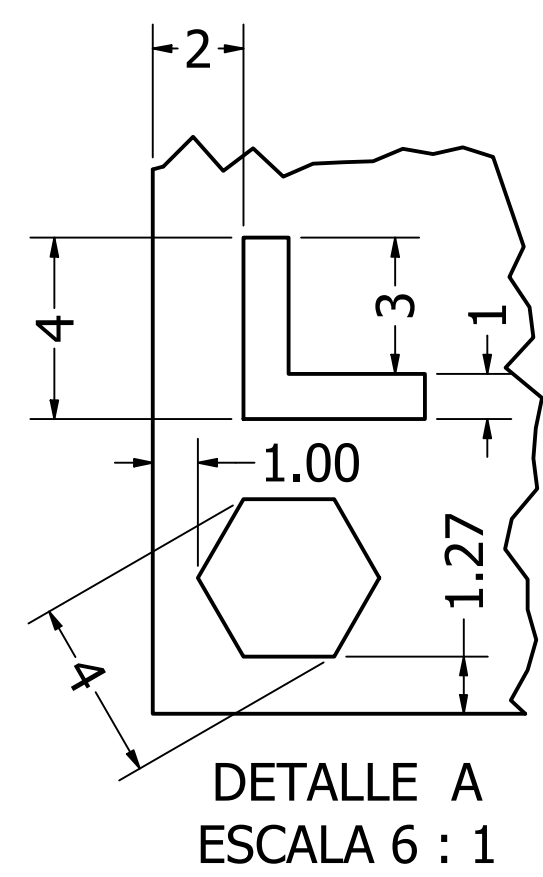


Diseño de	Escala	Fecha
Andrés González Pinto	3:1	01/06/2024
Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicaciones	DISEÑO DE BIELA CON POTENCIÓMETRO INCORPORADO DEDICADO AL CICLISMO	
	TAPA CAJA ELECTRÓNICA BIELA	Hoja 5/9

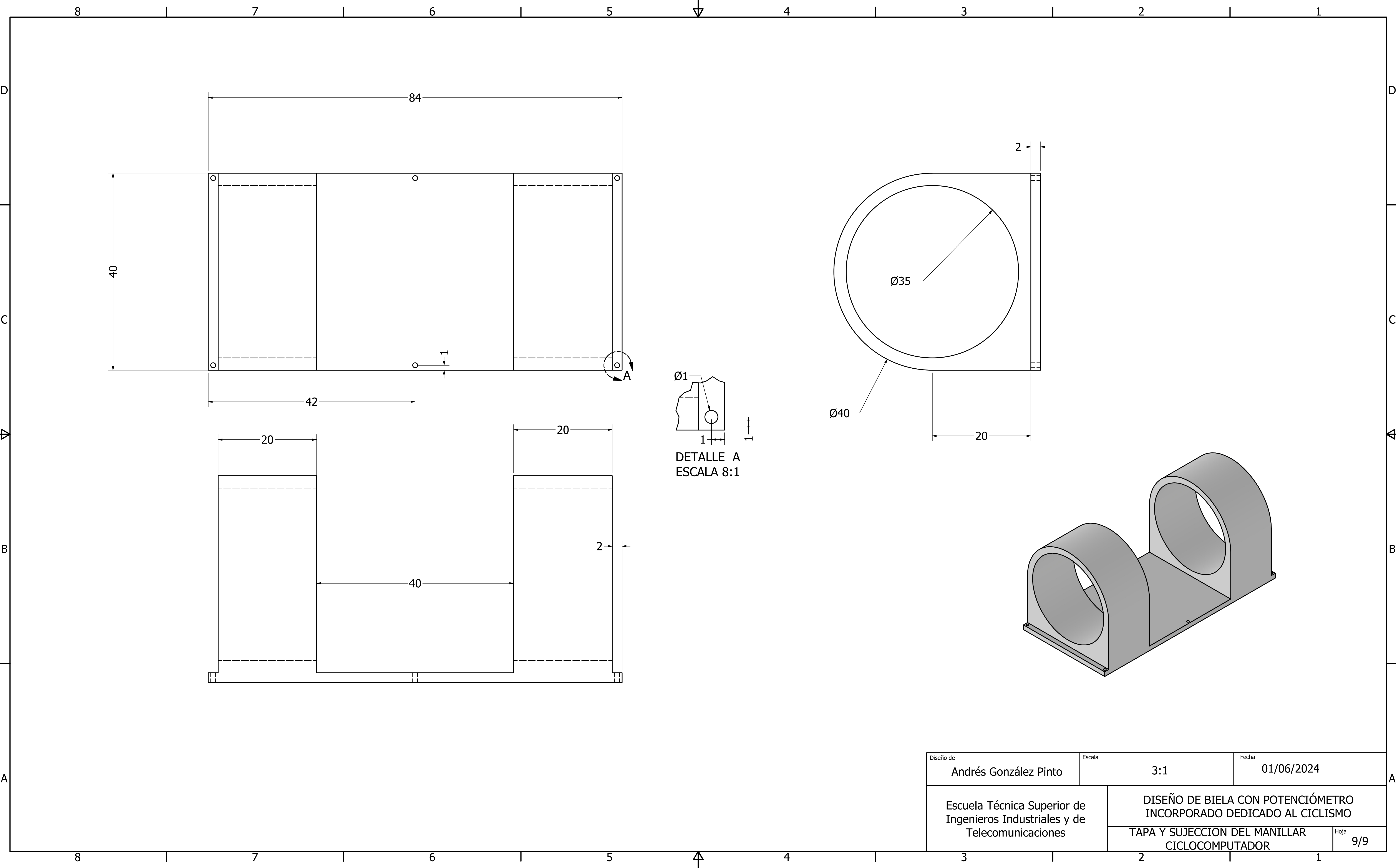




Diseño de	Escala	Fecha
Andrés González Pinto	3:1	01/06/2024
Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicaciones	DISEÑO DE BIELA CON POTENCIÓMETRO INCORPORADO DEDICADO AL CICLISMO	
	CICLOCOMPUTADOR	Hoja 7/9



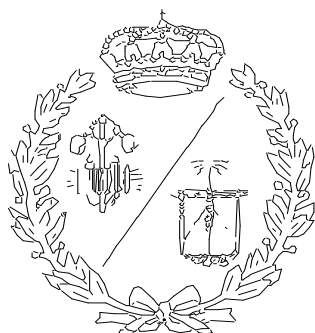
Diseño de	Escala	Fecha
Andrés González Pinto	3:1	01/06/2024
Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicaciones	DISEÑO DE BIELA CON POTENCIÓMETRO INCORPORADO DEDICADO AL CICLISMO	
	ARNÉS CICLOCOMPUTADOR	Hoja 8/9



Diseño de	Escala	Fecha
Andrés González Pinto	3:1	01/06/2024
Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicaciones	DISEÑO DE BIELA CON POTENCIÓMETRO INCORPORADO DEDICADO AL CICLISMO	
	TAPA Y SUJECCION DEL MANILLAR CICLOCOMPUTADOR	Hoja 9/9

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN**

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Proyecto Fin de Grado

DOCUMENTO IV: ANEXO PLIEGO DE CONDICIONES

Autor: Andrés González Pinto

Julio-2024

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	MATERIALES.....	2
2.1.	Biela	2
3.	ELECTRÓNICA.....	4
4.	GEOMETRÍA.....	5
4.1.	Geometría de la biela	5
4.2.	Geometría de las carcasas	5
4.2.1.	Carcasa de la electrónica de la biela.....	5
4.2.2.	Carcasa de la electrónica del manillar.....	6

1. INTRODUCCIÓN

En este documento se recogen las instrucciones, normas y especificaciones que se requieren para la realización del proyecto. En el pliego de condiciones se recogen los requisitos económicos, facultativos y de diseño.

Este pliego de condiciones está dedicado al diseño de un potenciómetro en biela dedicado para el ciclismo. En este documento se debate sobre las condiciones sobre las que se va a basar el diseño de los componentes y sus características, los materiales, geometrías, especificaciones, etc.

2. MATERIALES

Los materiales son los a continuación expuestos dedicados a las piezas que son de fabricación propia.

2.1. Biela

La biela ha sido desarrollada específicamente para este proyecto y los cálculos y diseños se han realizado para un aluminio 6061 ya que las deformaciones de la galga van directamente relacionadas con la deformación de la biela con este material, de otra manera el potenciómetro no arrojaría los valores correctos, también es recalable que el diseño de las dimensiones se ha hecho de tal manera que la deformación máxima sea en ciertas cotas y de utilizar otros materiales esto provocaría que las deformaciones pudieran llegar a ser mayores y no diera unos buenos resultados a la hora de uso por parte del usuario. De elegir un material más resistente como la fibra de carbono, se estaría empleando un diseño erróneo ya que tendría una resistencia mucho mayor de la requerida provocando sobrecostes.

Para este desarrollo se ha buscado un material que tenga un compromiso entre resistencia, precio y durabilidad.

En primer lugar, se requiere que sea resistente a unas fuerzas tales que no produzcan una deformación significativa en el material al aplicar la fuerza máxima que puede ejercer un ciclista sobre el pedal. Esto comprende que aguante las fuerzas sin llegar a la rotura y que la deformación sea aceptable. De lo contrario transmitiría unas malas sensaciones al usuario y provocara una pérdida de rendimiento durante el pedaleo.

Respecto al precio, dado que es un componente para un proyecto de bajo coste será necesario que sea lo más barato posible para así ser más competitivo.

2.2. Carcasa de la electrónica

Para la fabricación de estos componentes será necesario que ambos cumplan las mismas condiciones ya que así se podrá tener un mismo proceso para ambos y un mismo material haciendo que sea más asequible.

En primer lugar, se necesita un material con unas características de alta resistencia para soportar pequeños impactos de objetos que pudieran llegar a golpearlos en ciertas circunstancias como en campos de griza, piedras y plantas que se puedan encontrar en distintas zonas por las que habitualmente pasan los ciclistas. Con ello tendrá que ser un

material resiliente que pueda soportar las inclemencias y circunstancias habituales de un componente similar (rebotes de piedras pequeñas, pequeños golpes, ...)

Con una densidad baja debido a que en el ámbito del ciclismo se valora mucho el bajo peso de los componentes.

Además, tiene que ser un material asequible haciendo que no se encarezca el proyecto, en este caso se podría optar por un polímero de alta resistencia.

Este material ha de ser uno con las cualidades de que sea fácilmente trabajable, no interesa un material que tenga un proceso costoso de fabricación y que se necesite mucho tiempo para procesarlo.

3. ELECTRÓNICA

Para la elección de la electrónica hay pocos requisitos, estos son:

- Coste reducido por ser uno de los pilares del diseño de este dispositivo.
- Componentes genéricos y de venta al público, así se facilitará su reparación por parte del usuario.

Con estos requisitos se cumpliría lo requerido para la electrónica ya que no hay necesidad de ninguna otra cualidad.

4. GEOMETRÍA

Tanto la biela como las carcasas de la electrónica deberá adaptarse a unos requisitos en lo que a geometría se refiere

4.1. Geometría de la biela

El diseño de la biela ha de ser de diseño propio para poder adaptarlo a las necesidades del proyecto.

- Debe poder fabricarse en varias medidas para usuarios de distintos tamaños.
- Tener una geometría donde se pueda adaptar las galgas de manera que queden en una posición concreta sin posibilidad de que se ponga en una zona incorrecta produciendo que se arrojen medidas incorrectas.
- Los agujeros de los pedales y del eje han de ser adaptable al mayor número de bicicletas del mercado.
- Geometría sencilla para facilitar su fabricación.
- Adaptarse a la parte trasera de la biela con un grosor bajo para evitar golpes con el cuadro.

4.2. Geometría de las carcasas

Una vez resuelta la electrónica está necesite de un alojamiento y una disposición para poder estar protegida de los elementos externos como la lluvia, los golpes y demás posibles inclemencias que puedan surgir, para ello es necesario el diseño de una carcasa que puedan alojar la electrónica de la forma más compacta.

Para este apartado la electrónica contara con dos carcasas destinadas a la electrónica en diferentes posiciones la carcasa que alojara la visualización de la pantalla y la carcasa donde se alojaran los sensores que calcularan la potencia ejercida por el ciclismo.

4.2.1. Carcasa de la electrónica de la biela

En el caso de la carcasa de la electrónica de la biela necesitara los siguientes requisitos:

- En primer lugar, deberá ser lo más compacta posible ya que el hueco al que está destinado es bastante pequeño (entre la biela y el cuadro)
- Deberá ser de un material ligero, resistente además de ser económico debido a que se trata de un dispositivo de bajo presupuesto necesitará de un material económico

en su obtención y en su método de fabricación ya que si necesita maquinas muy caras para su proceso de fabricación o mucho tiempo de fabricación se encarecería bastante su precio.

- Debe tener una abertura para introducir la alimentación y otra para poder introducir los componentes y poder sustituirlos fácilmente en caso de avería

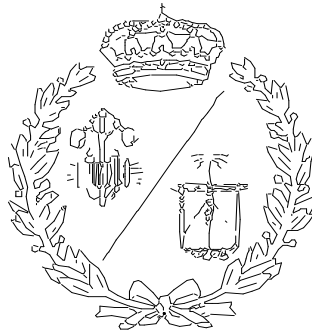
4.2.2. Carcasa de la electrónica del manillar

Para las carcasas de la electrónica de la visualización será necesario los siguientes requisitos:

- En el caso de esta carcasa se necesitará igualmente que sea un diseño compacto y simple.
- Igualmente sería un material de las mismas cualidades que en la carcasa anterior ya que deberá cumplir las mismas funciones, aunque al ir alojado en el manillar tendrá menos posibilidades de recibir golpes de manera constante por ir más alejado del suelo.
- Es necesario que tenga una abertura para la alimentación y que sea igualmente desmontable para poder introducir y reparar los distintos componentes. Además, debe tener una parte por la que se pueda visualizar la pantalla con la información recogida por el dispositivo.
- El sistema tiene que poder ser adaptable a manillares de hasta 35 mm de diámetro.

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN**

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Proyecto Fin de Grado

DOCUMENTO V: PRESUPUESTO

Autor: Andrés González Pinto

Julio-2024

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	COMPONENTES DE LA ELECTRÓNICA.....	2
3.	MATERIALES	3
4.	MANO DE OBRA	4
4.1.	Fabricación biela	4
4.2.	Fabricación caja de la electrónica.....	4
4.3.	Ensamblaje	5
5.	PRESUPUESTO TOTAL	6

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Coste de la electrónica	2
Tabla 2 Coste de los materiales	3
Tabla 3 Coste del ensamblaje	5
Tabla 4 Presupuesto total	6

1. INTRODUCCIÓN

En este documento se desglosarán los costes de la fabricación de una biela con potenciómetro. Para ello se ha tenido en cuenta tanto los componentes como los materiales y el proceso de fabricación de las piezas que son de diseño propio.

Se incluirán los presupuestos para la mano de obra y la fabricación de las piezas de aluminio mediante fundición, el mecanizado y el coste del material. También es necesario conocer el coste de la fabricación de los alojamientos de la electrónica que estarán fabricados en ABS y el coste del material.

Se incluirá el coste de las piezas que no son de fabricación propia y que se han de adquirir de terceros fabricantes como la electrónica, la alimentación y los sensores.

A lo largo del proyecto se han ido relatando los distintos componentes que se necesitan para llevar a cabo este potenciómetro en biela, que se compone de los siguientes elementos:

- Biela
- Acelerómetro NRFL24L01
- 2 chips bluetooth MPU6050
- 2 Raspberry PI PICO
- Pantalla LCD 1602
- 4 pilas CR2032
- Carcasa de la electrónica de la biela
- Tapa de la carcasa de la biela
- Carcasa de la electrónica del manillar
- Tapa de la carcasa de la electrónica del manillar
- Arnés de la electrónica del manillar

2. COMPONENTES DE LA ELECTRÓNICA

La mayoría de estos componentes se pueden encontrar en línea a precios muy reducidos, además son bastante fáciles de obtener en numerosas paginas incluso en tiendas físicas de electrónica. A continuación, se desglosa el precio de los componentes de la electrónica.

El precio del chip de bluetooth NRFL24L01 sería en torno a 1€ y 2€ y se necesitan 2, el acelerómetro MPU6050 tiene un coste en torno a 1,5 €, la Raspberry PI PICO tiene un precio de 1,5 € y se necesitan 2 unidades, el panel LCD 1602 cuesta en torno a 2 € y por último la alimentación CR2032 cuesta en torno a 1,5 €, 4 galgas BF350 que rondan los 0,5 € cada una y para su funcionamiento es necesario 4 el panel LCD 1602 cuesta en torno a 2 €. Todo esto nos da un coste total de $\pm 15,5$ €.

En la tabla 1 podemos ver desglosado la cantidad y precio de cada componente de la electrónica.

Tabla 1 Coste de la electrónica

Componentes	Unidades	Precio/ud	Precio
NRFL24L01	2	1,5 €/ud	3 €
MPU6050	1	1,5 €/ud	1,5 €
Raspberry PI PICO	2	1,5 €/ud	3 €
LCD 1602	1	2 €/ud	2 €
BF350	4	0,5 €/ud	2 €
CR2032	4	1,5 €/ud	6 €
Total			17,5 €

3. MATERIALES

A la hora de obtener el producto final será necesario fabricar varios de sus componentes. En primer lugar, la biela estará fabricada en aluminio y las cajas de la electrónica en ABS.

La biela está fabricada en aluminio 6061, apoyándonos en la herramienta de Inventor para calcular sus dimensiones concluimos que tiene un volumen en torno a $121,24 \text{ cm}^3$ y su densidad es de $2,7 \text{ g/cm}^3$ lo que nos da una masa de 327,34 gramos. El precio de este material es de $5,75 \text{ €/kg}$ lo que nos daría un precio de 1,88 €, calculado en euros cada biela tendrá un coste 1,73 €.

De la misma forma obtendremos el volumen de las carcasas de la electrónica. Entre las dos carcasas el volumen es de $56,371 \text{ cm}^3$ y la densidad del ABS esta entre $1,02 \text{ g/cm}^3$ y $1,08 \text{ g/cm}^3$ lo que nos da una masa de 59,2 gramos con un precio por cada kilogramo de 20 €/kg , nos da un coste de 1,18 €.

El conjunto de los materiales nos dará un coste de 2,91 €.

Tabla 2 Coste de los materiales

	Volumen	Densidad	Precio por peso	Coste
Aluminio 6061	$121,24 \text{ cm}^3$	$2,7 \text{ g/cm}^3$	$5,75 \text{ €/kg}$	1,73 €
ABS	$56,37 \text{ cm}^3$	$1,05 \text{ g/cm}^3$	20 €/kg	1,18 €
Total				2,91 €

4. MANO DE OBRA

Durante el proceso de producción es necesario convertir los materiales en bruto en piezas terminadas, para ello cada una de las piezas necesita un proceso de fabricación distinta. Para las primeras unidades se considera una tirada inicial de 1000 unidades

4.1. Fabricación de la biela

En primer lugar, la biela necesitara pasar por un proceso de conformado, es decir, pasar de la pieza en bruto de aluminio 6061 a una forma aproximada de la biela, para posteriormente darle el acabado deseado, hacer las roscas de los pedales y del eje. Se subcontratará la fundición y mecanizado de la pieza a una empresa externa, de otra manera la fabricación sería más barata unitariamente, pero se necesitaría una infraestructura mucho mas grande y una inversión inicial mucho mayor.

Para la fundición de la biela es necesario la creación de unos moldes para este modelo, el coste de los moldes ronda 500 € y tienen una vida útil de unas 1000 piezas.

El coste de la fabricación de cada pieza es de 5 € por pieza aproximadamente.

Por lo que unitariamente el precio de la fundición de la biela es el resultado de el precio del molde entre los 1000 usos que tendrá el molde a lo que se suma el precio de fabricación de cada unidad, dando como resultado 5,5 € por pieza.

Una vez fabricada la pieza será necesario darle el acabado final mediante mecanizado. Como la pieza ya tiene las dimensiones adecuadas y solo se necesita acabar la pieza será necesario en torno a 30 minutos por pieza para darle el acabado final, el precio medio de mecanizado es de 30 €/h. Esto nos da un precio de mecanizado por cada biela de 15 €.

En total el coste es de 20,5 € por cada pieza que se fabrique.

4.2. Fabricación caja de la electrónica

La fabricación de las cajas de la electrónica se hará mediante la impresión aditiva debido a que es un método sencillo de fabricar y barato.

Una impresora con una buena calidad y acabado ronda los 500 €, la vida útil de una impresora 3D es bastante alta, si se mantiene correctamente cada 200 impresiones tiene un gasto de 50 € para piezas de desgaste y algunas piezas que haya que cambiar.

Como primera tirada del producto se calculan unas 1000 unidades, por lo que la impresora tendrá un gasto para las primeras 1000 unidades de 750 €, la amortización por cada pieza será de 0,75 € por unidad

Para fabricar estas piezas es necesario en torno a 4 horas para cada una de las piezas por lo que en total serán unas 8 horas. El precio de cada hora de fabricación es en torno a 0,15 €/h teniendo en cuenta la electricidad consumida por una impresora. El coste por cada conjunto de las piezas es de 1,2 €.

El total de la fabricación de los alojamientos de la electrónica es de 1,95 €.

4.3. Ensamblaje

Una vez obtenidas todas las piezas se ensamblan para obtener el producto final. El ensamblaje de la electrónica junto con las cajas de la electrónica y la colocación en la biela esta en torno a una hora de trabajo. El coste de un operario durante una hora esta en torno a 15 €/h.

A todo esto, se le tiene que añadir el coste del resto de los elementos que no se nombran pero que son necesarios para ensamblarlo, el cianocrilato para adherir la galga, los cables para hacer las conexiones el estaño y los tornillos para atornillar la tapa de las cajas de la electrónica a la caja de la electrónica, esto será 5 €.

Tabla 3 Coste del ensamblaje

	Inversión inicial	Tiempo de trabajo	Precio por tiempo	Precio unitario	Amortización	Coste
Biela	500	0,5 h	30,00 €	5,00 €	0,50 €	20,50 €
Caja de electrónica	750	8 h	1,20 €	x	0,75 €	1,95 €
Ensamblaje	x	1	15,00 €	5 €	x	20 €
					Total	42,45 €

5. PRESUPUESTO TOTAL

Para finalizar en la tabla 4 se expone el presupuesto total de la fabricación de la biela con potenciómetro y todos sus componentes, el cual contiene la suma de todos los presupuestos parciales expuestos anteriormente en este documento.

Tabla 4 Presupuesto total

Componentes de la electrónica	17,50 €
Aluminio	1,73 €
ABS	1,18 €
Fabricación de la biela	20,50 €
Fabricación de la caja de la electrónica	1,95 €
Ensamblaje	15,00 €
Compones para la electrónica	5,00 €
Costes directos totales	62,86 €
Gastos generales (15%)	9,43 €
Coste de producción	72,29 €
Beneficio industrial (20%)	12,57 €
Coste total	84,86 €
IVA (21%)	17,82 €
<u>Precio de venta</u>	102,68 €

El coste para llevar a cabo el proyecto de diseño y fabricación de la biela con potenciómetro incorporado es de: **setenta y dos euros con veintinueve céntimos (72,29 €)** y una inversión inicial para la producción de 1000 unidades de **setenta mil doscientos veinte euros (72290 €)** y un precio de venta al público de **ciento dos euros con sesenta y ocho centimo (102,68 €)**.