



UNIVERSIDAD
NEBRIJA

**DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN CHASIS
DE BICICLETA MEDIANTE TÉCNICAS
DIGITALES**

**UNIVERSIDAD NEBRIJA
GRADO EN INGENIERIA DEL AUTOMÓVIL**

**ALEJANDRO ULECIA AUSEJO
10 DE DICIEMBRE DE 2018**



UNIVERSIDAD
NEBRIJA

**DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN CHASIS
DE BICICLETA MEDIANTE TÉCNICAS
DIGITALES**

**UNIVERSIDAD NEBRIJA
GRADO EN INGENIERIA DEL AUTOMÓVIL**

**AUTOR: ALEJANDRO ULECIA AUSEJO
DIRECTOR: RICARDO ESPINOSA
10 DE DICIEMBRE DE 2018**

Índice

1.	Resumen introductorio al proyecto	10
2.	Investigación	13
2.1.	Tecnología	13
2.2.	Antecedentes y mercado actual.....	15
2.3.	Investigación de conceptos.....	19
2.4.	Competencia.....	22
2.5.	Análisis y datos	27
2.6.	“Stakeholders”	30
2.7.	Usuario.....	31
3.	Briefing	41
3.1.	Tipo de bicicleta que se va a diseñar y fabricar.....	41
3.2.	Componentes de la bicicleta que se van a diseñar y fabricar.....	41
3.3.	Métodos de fabricación.....	41
3.4.	Materiales.....	41
3.5.	Diseño.....	42
3.6.	Otras partes de la bicicleta.	42
4.	Metodología	43
4.1.	Fase de bocetado y diseño	43
4.2.	Fase de modelado	49
4.3.	Materiales y fabricación	50
4.4.	Análisis por elementos finitos	51
4.5.	Fabricación de maquetas y prototipos	55
5.	Resultados	79
5.1.	Descripción del prototipo final	79
5.2.	Planimetría	85
5.3.	Presupuesto.....	95
5.4.	Licencia y protección del proyecto.....	96
6.	Conclusiones.....	99
7.	Líneas futuras	101
8.	Bibliografía	103

Índice de figuras

Figura 1. Metodología del doble diamante. Fuente: (https://www.designcouncil.org.uk/news-opinion/design-process-what-double-diamond).....	10
Figura 2. Herramientas disponibles en un Fablab. Fuente:(https://fablabbcn.org/about_us.html)	13
Figura 3. Imagen de un Fablab. Fuente: (https://www.ruizhealytimes.com/ciencia-y-tecnologia/laboratorios-de-fabricacion-una-herramienta-personal-para-la-innovacion)	14
Figura 4. Bicicletas de montaña. Fuente: (www.orbea.com)	15
Figura 5. Bicicletas de carretera. Fuente: (www.orbea.com).....	16
Figura 6. Bicicletas híbridas o urbanas. Fuente: (www.bikester.es)	18
Figura 7. Bicicletas de BMX. Fuente: (www.sourcebmx.com).....	18
Figura 8. Rootles, bicicleta de madera. Fuente: (https://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/126370-La-gran-cita-de-la-fabricacion-digital-en-Barcelona.html)	19
Figura 9. Bicicleta “OBI”. Fuente: (https://www.3dnatives.com/es/holandeses-diseñan-bicicleta-impresa-en-3d-08102015/).....	20
Figura 10. Bicicleta de montaña “Aenimal Bhulk” de la empresa “Eurocompositi”. Fuente: (www.aenimal.it).....	21
Figura 11. Mapa de producto. Fuente: (elaboración propia).....	22
Figura 12. “Openbike”. Fuente: (https://arquimaña.com/?nor-works=openbike--fab_a_bike).....	23
Figura 13. “Openbike rev2”. Fuente: (https://arquimaña.com/?nor-works=openbike--fab_a_bike)	24
Figura 14. “Rootless bike”. Fuente: (http://enricobassi82.wixsite.com/rootless) 25	
Figura 15. “Airbike” desarrollada por el grupo Europeo de Defensa Aero Espacial (EADS). Fuente: (https://www.engadget.com/2011/03/09/eads-airbike-is-a-3d-printed-nylon-bicycle-actually-looks-rat/?gucounter=1).....	26
Figura 16. Resultado de encuestas a cerca del uso de la bicicleta en España. Fuente: (https://solomarketing.es/el-593-de-los-espanoles-es-fan-de-la-bicicleta/).....	28
Figura 17. Mapa de “Stakeholders”. Fuente: (elaboración propia)	30
Figura 18. Resultados pregunta 1, encuesta de usuario. Fuente: (elaboración propia)	32
Figura 19. Resultados pregunta 2, encuesta de usuario. Fuente: (elaboración propia)	33
Figura 20. Resultados pregunta 3, encuesta de usuario. Fuente: (elaboración propia)	33
Figura 21. Resultados pregunta 4, encuesta de usuario. Fuente: (elaboración propia)	34
Figura 22. Resultados pregunta 5, encuesta de usuario. Fuente: (elaboración propia)	35
Figura 23. Resultados pregunta 6, encuesta de usuario. Fuente: (elaboración propia)	35
Figura 24. Resultados pregunta 7, encuesta de usuario. Fuente: (elaboración propia)	36

Figura 25. Resultados pregunta 8, encuesta de usuario. Fuente: (elaboración propia).....	36
Figura 26. Resultados pregunta 9, encuesta de usuario. Fuente: (elaboración propia).....	37
Figura 27. Resultados pregunta 10, encuesta de usuario. Fuente: (elaboración propia).....	38
Figura 28. Resultados pregunta 11, encuesta de usuario. Fuente: (elaboración propia).....	38
Figura 29. Arquetipo 1. Fuente: (elaboración propia).....	39
Figura 30. Arquetipo 2. Fuente: (elaboración propia).....	40
Figura 31. Diseño realizado en poliestireno extruido. Fuente: (elaboración propia).....	44
Figura 32. Detalle1 del diseño realizado en poliestireno extruido. Fuente: (elaboración propia).....	45
Figura 33. Detalle 2 del diseño realizado en poliestireno extruido. Fuente: (elaboración propia).....	46
Figura 34. Detalle del cajeadado y ángulo de apertura en las vainas traseras. Fuente: (elaboración propia).....	47
Figura 35. Diseño final del cuadro. Fuente: (elaboración propia).....	48
Figura 36. Diseño final del cuadro. Fuente: (elaboración propia).....	48
Figura 37. Imagen del diseño en el programa Catia V5. Fuente: (elaboración propia).....	49
Figura 38. Contrachapado fenólico 10 mm. Fuente: (www.bricomart.es).....	50
Figura 39. Material PLA para la fabricación aditiva. Fuente: (https://www.3djake.es/extruder/pla-nx-2-turquesa).....	51
Figura 40. Explosionado del modelo ensayado por elementos finitos. Fuente: (elaboración propia).....	52
Figura 41. Modelo mallado para realizar el ensayo. Fuente: (elaboración propia).....	53
Figura 42. Imagen de las deformaciones del ensayo sentado. Fuente: (elaboración propia).....	54
Figura 43. Imagen de las tensiones del ensayo sentado. Fuente: (elaboración propia).....	54
Figura 44. Imagen de las deformaciones del ensayo de pie. Fuente: (elaboración propia).....	55
Figura 45. Imagen de las tensiones del ensayo de pie. Fuente: (elaboración propia).....	55
Figura 46. Láminas de DM que componen los triángulos del cuadro. Fuente: (elaboración propia).....	56
Figura 47. Piezas impresas en 3D, material PLA, que sirven de unión de las láminas. Fuente: (elaboración propia).....	56
Figura 48. Maqueta evo1 escala 1:3,33. Fuente: (elaboración propia).....	57
Figura 49. Maqueta evo1 escala 1:3,33. Fuente: (elaboración propia).....	57
Figura 50. Punteras traseras evo1 impresas en 3D. Fuente: (elaboración propia).....	58
Figura 51. Punteras traseras evo2 impresas en 3D. Fuente: (elaboración propia).....	59
Figura 52. Punteras traseras evo2 impresas en 3D. Fuente: (elaboración propia).....	59

Figura 53. Maqueta evo2 escala 1:3,33. Fuente: (elaboración propia).....	60
Figura 54. Láminas de contrachapado evo2 prototipo escala real. Fuente: (elaboración propia)	61
Figura 55. Prototipo evo2 escala real. Fuente: (elaboración propia).....	62
Figura 56. Prototipo evo2 escala real. Fuente: (elaboración propia).....	62
Figura 57. Prototipo evo2 escala real. Fuente: (elaboración propia).....	63
Figura 58. Prototipo evo2 escala real. Fuente: (elaboración propia).....	63
Figura 59. Prototipo evo2 escala real. Fuente: (elaboración propia).....	64
Figura 60. Prototipo evo2 escala real. Fuente: (elaboración propia).....	64
Figura 61. Prototipo evo2 escala real. Fuente: (elaboración propia).....	65
Figura 62. Fractura en la pieza delantera impresa en 3D. Fuente: (elaboración propia)	66
Figura 63. Fractura en la pieza delantera impresa en 3D. Fuente: (elaboración propia)	66
Figura 64. Prueba en estático del prototipo evo2. Fuente: (elaboración propia)	67
Figura 65. Fractura de la pieza delantera durante la prueba en estático. Fuente: (elaboración propia)	67
Figura 66. Fractura de la pieza delantera durante la prueba en estático. Fuente: (elaboración propia)	68
Figura 67. Modificaciones realizadas en el prototipo de la evo3. Fuente: (elaboración propia)	69
Figura 68. Refuerzo en la pieza central en el prototipo evo4. Fuente: (elaboración propia)	70
Figura 69. Refuerzo en la pieza inferior en el prototipo evo4. Fuente: (elaboración propia)	70
Figura 70. Nervios de refuerzo en las vainas en el prototipo evo4. Fuente: (elaboración propia)	71
Figura 71. Pieza de acople modificada de la rueda trasera en el prototipo evo4. Fuente: (elaboración propia).....	72
Figura 72. Pieza de acople modificada de la rueda trasera en el prototipo evo4. Fuente: (elaboración propia).....	72
Figura 73. Diseño y soporte para el sillín impreso en 3D. Fuente: (elaboración propia)	73
Figura 74. Casquillo hexagonal para alojar el eje de pedalier. Fuente: (elaboración propia)	74
Figura 75. Imagen del prototipo evo5. Fuente: (elaboración propia).....	75
Figura 76. Refuerzos estructurales y tercer triángulo prototipo evo6. Fuente: (elaboración propia)	76
Figura 77. Refuerzo estructural inferior prototipo evo6. Fuente: (elaboración propia)	76
Figura 78. Nombre y logotipo del prototipo final. Fuente: (elaboración propia)	79
Figura 79. Parte frontal de la bicicleta. Fuente: (elaboración propia).....	80
Figura 80. Pieza central de la bicicleta impresa en 3D con refuerzos añadidos. Fuente: (elaboración propia)	80
Figura 81. Soporte para la tija del sillín. Fuente: (elaboración propia).....	81
Figura 82. Parte inferior central de la bicicleta. Fuente: (elaboración propia)....	82
Figura 83. Vainas reforzadas con nervios de refuerzo. Fuente: (elaboración propia)	83

Figura 84. Piezas para el centrado del buje trasero. Fuente: (elaboración propia)	84
Figura 85. Prototipo final completo. Fuente: (elaboración propia)	84
Figura 86. Plano de la pieza triángulo principal que forma el cuadro. Fuente: (elaboración propia)	85
Figura 87. Plano de la pieza frontal que empaqueta el cuadro. Fuente: (elaboración propia)	86
Figura 88. Plano de la pieza central que empaqueta el cuadro. Fuente: (elaboración propia)	87
Figura 89. Plano de la pieza inferior que empaqueta el cuadro. Fuente: (elaboración propia)	88
Figura 90. Plano del triángulo que forma la vaina trasera. Fuente: (elaboración propia)	89
Figura 91. Plano de la puntera 1 donde apoya la rueda. Fuente: (elaboración propia)	90
Figura 92. Plano de la puntera 2 donde apoya el eje de la rueda. Fuente: (elaboración propia)	91
Figura 93. Plano del refuerzo superior de la vaina. Fuente: (elaboración propia)	92
Figura 94. Plano del refuerzo inferior de la vaina. Fuente: (elaboración propia)	93
Figura 95. Plano de la pieza donde se inserta la tija del sillín. Fuente: (elaboración propia)	94
Figura 96. Logotipo de la licencia CC BY-NC-SA. Fuente: (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)	97

1. Resumen introductorio al proyecto

El proyecto se plantea como medio de experimentación sobre el potencial de las herramientas de fabricación digital en productos que tradicionalmente se han fabricado por otros medios convencionales. También se busca incluir el resultado del trabajo, prototipo y diseño a beneficios prácticos dentro del colectivo del diseño aportando un recurso colaborativo abierto mediante código abierto. Este método también supondrá la evolución del producto a través de las diferentes aportaciones de las personas que quieran involucrarse en el proyecto de forma que sea construida una propuesta viva y en desarrollo constante.

El producto elegido a desarrollar es el cuadro de una bicicleta, por un lado, por interés personal del autor y por otro lado por la versatilidad del producto.

La metodología aplicada para la investigación, ideación y desarrollo del proyecto es el “doble diamante”, metodología elaborada por el *Design Council*.

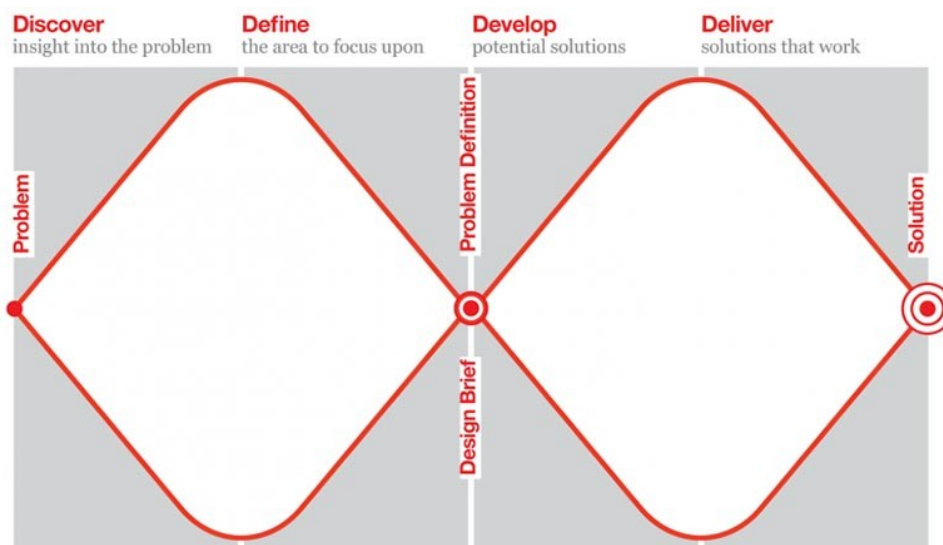


Figura 1. Metodología del doble diamante. Fuente: (<https://www.designcouncil.org.uk/news-opinion/design-process-what-double-diamond>)

En la figura 1 se observa el proceso de la metodología basado en 4 fases, descubrir, definir, desarrollar y solucionar. El proceso entre las 4 fases se basa entre la divergencia (fase 1 y 3) y convergencia (fase 2 y 4). La divergencia de las fases consiste en la generación de la mayor cantidad

de ideas posibles durante el proceso creativo mientras que la convergencia se basa en definir y considerar cual es la mejor idea o solución para el problema planteado.

Finalmente aclarar la estructuración del trabajo. Se presenta en 4 grandes bloques: desarrollo de la investigación, definición del “briefing”, aplicación de la metodología al producto y obtención de resultados.

2. Investigación

2.1. Tecnología

La tecnología que se va a utilizar para el desarrollo de este proyecto va a ser la que un Fablab contiene. Lo primero que hay que explicar es lo que es un Fablab, su nombre viene del acrónimo en inglés “Fabrication Laboratory” y es un espacio de producción de objetos físicos a escala personal o local. En estos espacios se pueden encontrar máquinas controladas por ordenadores, capaces de fabricar casi cualquier cosa que imaginemos, en la figura 3 se puede observar un Fablab. Su particularidad reside en su tamaño y en su fuerte vinculación con la sociedad.

Los Fablab se mueven alrededor de dos movimientos socio tecnológicos, el DIY (do it yourself) o la autoproducción y el “open source” o el libre flujo de información y conocimiento.

Para que un laboratorio de estas características se pueda considerar Fablab necesita tener las siguientes herramientas, estas se pueden observar en la figura 2. Además de obtener un título específico (<http://fablab.org>).

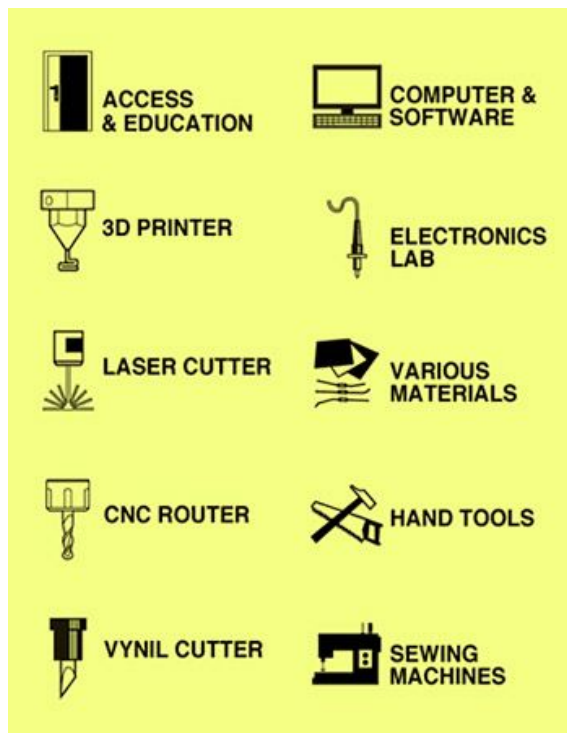


Figura 2. Herramientas disponibles en un Fabla. Fuente:(https://fablabbcn.org/about_us.html)

Las máquinas que suele reunir un FabLab son:

- La más importante de todas y la que más se está utilizando para prototipado rápido en los últimos tiempos es la impresora 3D, tipo RepRap.
- Cortadora láser controlada por ordenador para ensamblar estructuras 3D a partir de piezas 2D. Suelen cortar diferentes tipos de materiales, pero no metal y sus superficies de corte oscilan entre los 600x300 mm hasta los 1000x800 mm.
- Fresadora CNC por control numérico que permite realizar cortes, fresados, vaciados para moldes, texturas o terrenos entre otros. Suelen ser fresadoras de tamaño pequeño.
- Cortadora de vinilo electrónica de cuchilla que permite realizar cortes y marcajes en materiales ligeros.
- A parte disponen de herramientas manuales para elaborar los prototipos, ordenadores y software para controlar los dispositivos, taller de electrónica para dotar de funcionalidades a los desarrollos que lo requieran (en estos casos se suele utilizar la tecnología Arduino) y hay en algunos casos que disponen de taller de costura para completar el conjunto.



Figura 3. Imagen de un Fablab. Fuente: (<https://www.ruizhealytimes.com/ciencia-y-tecnologia/laboratorios-de-fabricacion-una-herramienta-personal-para-la-innovacion>)

2.2. Antecedentes y mercado actual

Se van a estudiar los distintos tipos de bicicletas que existen en el mercado según su uso y sus diferentes tipologías:

- Bicicletas de montaña: Comenzaron a aparecer en los años ochenta para satisfacer a los ciclistas que les gusta disfrutar de la montaña con su bicicleta. Su cuadro es robusto y la mayoría de las veces están fabricados en acero o aleaciones de este material, con tubos de gran diámetro para conferirles estabilidad estructural. Montan ruedas con gran superficie de contacto y cubiertas de tacos para mejorar el agarre en cualquier terreno, mayoritariamente han montado tamaños de ruedas de 26", pero en los últimos años, se han aumentado los tamaños y se han equipado con ruedas de 27,5" y 29". Las suspensiones que montan pueden ser tanto en la rueda delantera, como en rueda trasera combinada con delantera, se denominan de suspensión delantera o de doble suspensión. En la figura 4 se puede observar una bicicleta de montaña.



Figura 4. Bicicletas de montaña. Fuente: (www.orbea.com)

- Bicicletas de carretera: son bicicletas muy ligeras, para ahorrar peso, son las más habituales entre los ciclistas que hacen largas rutas por carreteras. También son las principales herramientas de

los profesionales que corren las principales carreras del panorama internacional. Se caracterizan principalmente por sus finas ruedas, diseñadas para la circulación por carreteras pavimentadas, pero no son aptas para caminos o montañas. Su tamaño varía entre los 700 mm de diámetro y los 660 mm (26" pulgadas). Suelen tener el cuadro mucho más pequeño y ligero que las anteriores lo que las hace más sensibles al manejo, pero más inestables en las bajadas. El material del que está fabricado suele ser de fibra de carbono principalmente, pero esta tecnología hasta hace unos años no se había incorporado y se fabricaban en aluminio o acero. Dentro de la modalidad de bicicletas de carretera se pueden encontrar las bicicletas de contrarreloj, que son como las de carretera, pero llevadas al extremo en peso y aerodinámica, estas son las más rápidas del mercado. En la figura 5 se puede observar una bicicleta de ciclismo convencional.



Figura 5. Bicicletas de carretera. Fuente: (www.orbea.com)

- Bicicleta híbrida o urbana: para los que no quieren una bicicleta tan sensible y nerviosa como la de carretera ni una tan robusta como la de montaña, esta la bicicleta híbrida o urbana. Está pensada para pedalear por ciudad y se caracteriza por montar un cuadro de rigidez intermedia y unas ruedas de carretera, pero algo

más finas que las de una bicicleta de montaña, suelen montar ruedas tamaño estándar de 26". Muchos las complementan con porta equipajes y guardabarros, muy útiles cuando se quieren transportar cosas y no se quiere llegar con la ropa manchada a la oficina. El resto de los componentes varía mucho en función de su uso, hay quienes prefieren un manillar recto y quien lo monta curvado, hay quien no puede vivir sin sus pedales automáticos y quien opta por los convencionales para poder subir y bajar con mayor facilidad. Dentro de estas bicicletas podemos encontrar las "cruiser" o "playeras", estas guardan el sabor de las bicicletas de los 50, con ruedas anchas, guardabarros, farolillos, porta equipajes y cuadros robustos. También podemos encontrar las bicicletas tipo "fixie". Su nombre viene de la incorporación del piñón fijo, esto es que mientras que la rueda trasera gire, los pedales se moverán siempre, en su tren de tracción y sus características principales son las siguientes: utilizan cuadros más cercanos a la bicicleta de carretera, con materiales ligeros y formas aerodinámicas, su tamaño de rueda también viene de las bicicletas de carretera, dependiendo del tamaño del cuadro monta 700 mm ó 660 mm, puede montar cualquier tipo de manillar dependiendo del usuario y pueden o no incorporar frenos. En la figura 6 se puede observar una bicicleta híbrida basada en los modelos antiguos.



Figura 6. Bicicletas híbridas o urbanas. Fuente: (www.bikester.es)

- **BMX:** son bicicletas diseñadas para realizar acrobacias o carreras en circuitos especiales para ello. Habitualmente tienen un solo piñón y en muchas ocasiones es fijo, como se ha explicado, mientras que la rueda trasera gire los pedales se moverán siempre. Además, montan ruedas de 20", esto es un tamaño muy inferior al resto de bicicletas. Esta característica se puede observar en la figura 7.



Figura 7. Bicicletas de BMX. Fuente: (www.sourcebmx.com)

2.3. Investigación de conceptos

Por otro lado, también se han estudiado los diferentes proyectos de bicicletas realizados con las técnicas descritas anteriormente en Fablab y laboratorios universitarios. Estos proyectos se han clasificado según la tipología de bicicleta y su uso (no se ha entrado a clasificarlos según los materiales o métodos de fabricación):

- Bicicletas de carretera: este tipo de bicicleta es muy recurrido para su fabricación “DIY” y “open source”, ya que se evita el estudio de las geometrías de suspensión, el cual es muy complejo y, además, sus formas se suelen simplificar al máximo. Por otro lado, en cuanto a temas de geometría de cuadro, las marcas suelen dar mucha información ya que a la hora de competir los ciclistas necesitan conocer cada medida de la bicicleta. En la figura 8 se puede observar el modelo Rootles, bicicleta de madera fabricada con un pantógrafo CNC y con pequeños detalles fabricados con corte láser e impresión 3D.



Figura 8. Rootles, bicicleta de madera. Fuente:

<https://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/126370-La-gran-cita-de-la-fabricacion-digital-en-Barcelona.html>

- Bicicletas híbridas o urbanas: las bicicletas urbanas son el tipo de bicicleta más seleccionado para llevar a cabo proyectos “DIY” u

“open source”, esto se debe a que no muestra ninguna complejidad en cuanto al estudio de la geometría de suspensiones y que por otro lado sus dimensiones de cuadro generales están estipuladas por criterios ergonómicos definidos. En cuanto a las formas y materiales, dan mucho juego a la creatividad ya que son bicicletas que no tienen que cumplir criterios de resistencia, aerodinámica o peso muy marcados. Son las más sencillas de diseñar en comparación con el resto de los tipos de bicicletas y por ello son las que más modelos se encuentran en el mercado.

En la figura 9 se puede observar la bicicleta “OBI”, creada por los fundadores de “The Bike Project”. Se trata de una bicicleta modular donde las piezas de unión son imprimibles en 3D unidas mediante perfiles estándar y basada en una plantilla multifuncional que permite a todo el mundo ser partícipe de las mejoras e incluso poder adaptarla según sus necesidades y gustos personales. Es completamente modular, de esta manera las piezas son reemplazables virtualmente y evita los costes de reparación y gastos de envío.



Figura 9. Bicicleta “OBI”. Fuente: (<https://www.3dnatives.com/es/holandeses-disenan-bicicleta-impresa-en-3d-08102015/>)

- Bicicletas de montaña: también se están comenzando a fabricar bicicletas de montaña con tecnología que podemos encontrar en

un Fablab, pero con materiales especiales y con impresoras con avances tecnológicos para poder extruir estos materiales. Debido a sus requerimientos de resistencia se ven pocos modelos de este tipo de bicicletas. La figura 10 muestra un ejemplo de este tipo de bicicleta, se trata del modelo “Aenimal Bhulk”, de la empresa italiana “Eurocompositi”. Es la primera bicicleta de montaña cuyo cuadro se ha fabricado mediante impresión 3D con un polimero basado en PLA, material biodegradable. Esta premiada por ser una tecnología visionaria que podria revolucionar la forma en que las bicicletas se fabrican y se personalizan.



Figura 10. Bicicleta de montaña “Aenimal Bhulk” de la empresa “Eurocompositi”. Fuente: (www.aenimal.it)

Como resultado de esta investigación se ha realizado el siguiente mapa de producto que aparece en la figura 11:



Figura 11. Mapa de producto. Fuente: (elaboración propia)

2.4. Competencia

En este punto, la investigación se va a centrar en las bicicletas más conocidas fabricadas en un Fablab. El objetivo es analizar los detalles de cada una y extraer los puntos interesantes y puntos discutibles de cada uno de los proyectos. La mayor parte de las bicicletas encontradas que se han fabricado en un Fablab están realizadas en madera. Hay bicicletas fabricadas en su totalidad en impresión 3D, pero estas se han desarrollado por empresas privadas, también se analizará un modelo de este tipo. Otras tienen como métodos de unión piezas fabricadas en 3D, el resto del conjunto son perfiles tubulares estándar, también fabricadas en entornos privados.

A continuación, se analizan una serie de bicicletas:

Openbike

Se trata de un proyecto para el diseño y fabricación de modelos de bicicleta "DIY", replicables y abiertos, los cuales puedan ser construidos

por el propio usuario utilizando herramientas de fabricación digital y/o métodos de fabricación tradicionales.

Con el proyecto Openbike quieren dar la posibilidad a cada usuario de fabricar y/o modificar el diseño de la bicicleta para adaptarlo a sus propias necesidades. También se han planteado hasta qué punto un Fablab o laboratorio de fabricación permite al ciudadano autogestionarse y, en este caso, fabricarse su propio medio de transporte urbano.

La bicicleta, mostrada en la figura 12, está compuesta por piezas de contrachapado de abedul realizadas mediante corte CNC, piezas de PLA fabricadas con impresión 3D y piezas procedentes de otras bicicletas (ruedas, pedales, ...)

Los archivos de fabricación se pueden descargar en arquimaña.com



Figura 12. "Openbike". Fuente: (https://arquimaña.com/?nor-works=openbike--fab_a_bike)

Análisis:

Como concepto, es la misma idea que este proyecto busca, pero como producto final carece de algunos aspectos que en la investigación que se ha realizado anteriormente se han observado con claridad, como la posibilidad de regular la altura del sillín. En cuanto al tamaño de las ruedas, lo más común son las ruedas de tamaño 700 mm ó 660 mm para bicicletas de carretera y para bicicletas urbanas o híbridas los tamaños ideales suelen ser las 26" o 700 para las bicicletas tipo "fixie". En la openbike encontramos ruedas de tamaño 20", que son las utilizadas en

bicicletas BMX, de acrobacias. Por otro lado, las dimensiones del cuadro para la posición del ciclista no son las óptimas como se aprecia en la imagen, ya que el asiento normalmente debe llegar a la cadera del usuario y este se queda muy por debajo, además no es regulable. El último punto que se podría discutir y que no está en armonía con la ergonomía de la bicicleta, sería la posición del eje de pedalier con respecto al asiento, este queda muy adelantado con respecto al asiento.

Openbike rev2

Se trata de la evolución del modelo anterior, mejorando algunos de sus defectos, como eran la rigidez y la falta de estabilidad. También se ha cambiado el tamaño de las ruedas, la posición del asiento y el eje de pedalier y el asiento se ha diseñado regulable para distintos usuarios. En la figura 13 se puede observar esta segunda evolución. A día de hoy el equipo de diseño está trabajando en un modelo Openbike rev3.



Figura 13. "Openbike rev2". Fuente: (https://arquimaña.com/?nor-works=openbike--fab_a_bike)

Rootless bike

Es un concepto diferente de proyecto, ya que es comercial y aunque no busquen producir en masa, se centran en la calidad de los productos al máximo, llegando a elegir hasta a los clientes, para llegar a construir juntos algo realmente único y que encaje a la perfección.

La bicicleta está construida sobre madera también, ya que lo conciben como un material de “alto rendimiento” y es fácil de trabajar con máquinas CNC.

Seleccionan materiales sostenibles y certificados y además apoyan al comercio local abasteciéndose de ellos de esta manera, según la página web: <http://enricobassi82.wixsite.com/rootless>.

El cuadro está fabricado en su totalidad con una fresadora CNC, los pequeños detalles los completan con contrachapado cortado con láser y están trabajando en accesorios impresos en 3D.

Clasifican a su diseño como muy resistente y duradero gracias a la dirección de la fibra y la geometría de las juntas. Además, el material facilita mucho su reparación y su personalización. En la figura 14 se puede observar esta bicicleta.



Figura 14. “Rootless bike”. Fuente: (<http://enricobassi82.wixsite.com/rootless>)

Análisis:

En el proyecto Rootles se observa el carácter comercial que es lo que difiere del presente proyecto, ya que este proyecto tiene un carácter de tipo “DIY” u “open source”. En cambio, como producto final se asemeja más al resultado de la investigación, ya que tiene un diseño más elaborado, una fabricación más trabajada y un nivel de calidad más alto. La única parte a criticar puede ser la complejidad que puede significar la fabricación total del cuadro mediante mecanizado CNC, que puede

suponer un trabajo muy laborioso y el empleo de útiles especiales fabricados para tal efecto.

Airbike

La bicicleta que se observa en la figura 15 está impresa en 3D al 100% y es un proyecto de carácter privado desarrollado por el grupo Europeo de Defensa Aero Espacial (EADS). El material utilizado es nylon y según dicen podría reemplazar a las bicicletas convencionales de acero o aluminio ya que es más ligero y barato.

Según las características han logrado reducir un 65% el peso respecto a una bicicleta de aluminio, es más ecológica de producir y además, debido a la naturaleza de las impresiones 3D, las piezas individuales se pueden imprimir fácilmente si están dañadas.



Figura 15. “Airbike” desarrollada por el grupo Europeo de Defensa Aero Espacial (EADS). Fuente: (<https://www.engadget.com/2011/03/09/eadss-airbike-is-a-3d-printed-nylon-bicycle-actually-looks-rat/?guccounter=1>)

Análisis:

El proyecto difiere mucho de la filosofía “DIY” u “open source” ya que es un proyecto que pertenece a un organismo dotado con un capital que seguramente sea bastante elevado, como es el EADS, pero es muy interesante de analizar ya que tiene partes que se pueden tener en cuenta para el desarrollo de este proyecto.

2.5. Análisis y datos

En el sector de la bicicleta ya no tienen la menor duda que el aumento del uso de esta en las ciudades, y sobre todo de las bicicletas eléctricas, va a suponer un antes y un después para esta industria. España no ha sido nunca un país ciclista al estilo de Alemania, Suiza, Holanda o Dinamarca. Pero las crecientes restricciones al uso del coche en el centro de las ciudades y las incomodidades de conducir por estas vías están convenciendo cada vez más a la población a convertirse en ciclistas habituales en el medio urbano.

Pero, si hasta hace unos años lo que primaban en España eran los usos deportivos y de fin de semana, ahora crecen los ligados al transporte.

Por si quedan dudas, ahí están las cifras. Mientras que en 2013 se vendían en España 651000 bicicletas de montaña y 103000 de carretera, el año pasado se vendieron 491000 y 82000, respectivamente. En cambio, la compra de bicicletas de ciudad aumento de 72000 a 113000 (57%) y las eléctricas de 10300 a 40200, cuatro veces más.

Con estos datos se puede observar la clara tendencia del usuario ciclista español que se decanta cada vez más por la bicicleta de tipo urbano.

Otro dato muy relevante es que, en España, montar en bicicleta, es uno de los deportes más practicados.

La bici se ha convertido en el mejor aliado de muchos usuarios como medio de transporte o para realizar deporte. De hecho, según una encuesta realizada por ideal hasta un 59,3% afirma que le gusta ir en bicicleta. Es un medio de transporte barato, cómodo y, sobre todo, muy saludable.

Todos estos datos se han extraído de la página web oficial de datos estadísticos de marketing: www.solomarketing.es.



Figura 16. Resultado de encuestas a cerca del uso de la bicicleta en España. Fuente: (<https://solomarketing.es/el-593-de-los-espanoles-es-fan-de-la-bicicleta/>)

De acuerdo con los resultados realizados en una encuesta cuyos datos se muestran en la figura 16, la bicicleta de montaña es la favorita de los aficionados al mundo del ciclismo (57,4%). La segunda posición la ocupa las bicicletas urbanas (18,2%), un tipo de bicicleta más pesada, y por lo

tanto más estable, indicada para recorrer distancias más cortas por las calles asfaltadas de las ciudades. Las bicicletas de carretera ocupan la tercera posición (13,8%) y, a diferencia de las urbanas, no son vistas como un medio de transporte, sino que son especialmente indicadas para aquellos amantes del ciclismo con ganas de sumar kilómetros y pedalear a más velocidad. Las bicicletas eléctricas (4,5%) y las bicicletas plegables (3,9%) a pesar de ser muy prácticas para aquellos que recorren grandes distancias y para los que tienen poco espacio, tienen un precio más alto que el de otros tipos de bicicleta, algo que hacen que estén destinadas a un público mucho más reducido.

Al analizar cuanto les gusta el mundo online a los amantes del ciclismo en España, uno de los datos más curiosos es que hasta un 59% afirma que compraría bicicletas y recambios a través de internet y no en una tienda física. Se trata de una cifra sorprendentemente alta, teniendo en cuenta que la venta online de este tipo de productos es relativamente nueva. Tan solo el 15% se mostró reacio a adquirir este tipo de productos a través de tiendas online.

2.6. "Stakeholders"

Dentro de este apartado se van a analizar las partes interesadas en el proyecto. El termino "stakeholder" agrupa a trabajadores, organizaciones sociales, accionistas y proveedores, entre muchos otros. Se van a analizar introduciéndolos en un mapa de stakeholder, mostrado en la figura 17, dividido en tres categorías, que son las siguientes:

- internos: empleados, accionistas, socios... En este caso las definimos como personas directamente involucradas en el proyecto.
- Conectados (relación directa): clientes, proveedores, posibles patrocinadores, los podríamos clasificar por tipología.
- Externos: comunidades, foros, grupos de presión, sociedad en general.

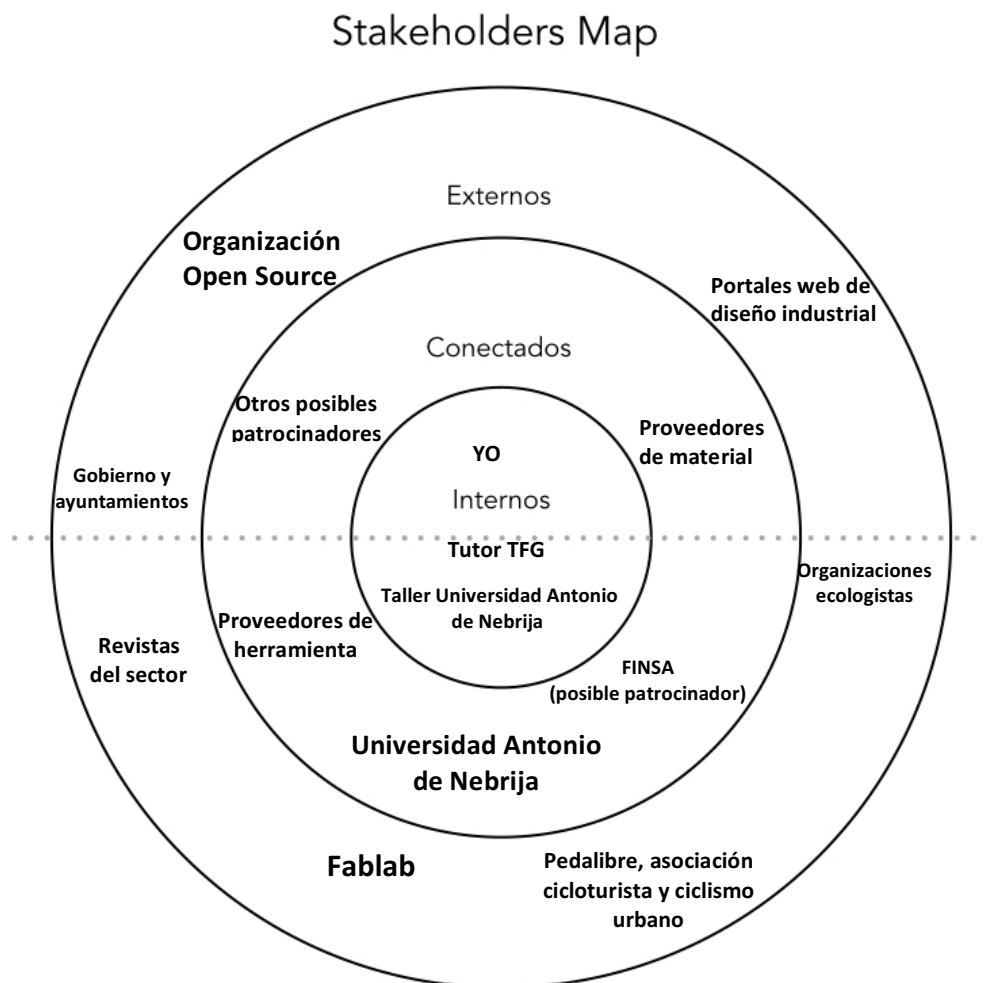


Figura 17. Mapa de "Stakeholders". Fuente: (elaboración propia)

2.7. Usuario

Para el análisis de los usuarios tanto demográficamente como concretamente en el tema de la bicicleta, se han realizado las siguientes preguntas en formato encuesta online:

- Sexo: mujer, hombre, prefiero no decirlo, otro.
- Edad: menores de 25, entre 25 y 35, entre 35 y 55, mayores de 55.
- Trabajo.
- ¿Qué tipo de estudios ha realizado?
- ¿Qué medio de transporte utiliza habitualmente para desplazarse por la ciudad? Coche, moto, bicicleta, caminar, otro.
- ¿Utiliza la bicicleta? Si, no.
- ¿Para qué emplea la bicicleta? Trabajo, estudios, compras, ocio, otro.
- ¿Cuántas personas de su entorno se desplazan habitualmente en bicicleta? 0, 1, 2, 3, +3.
- ¿Qué tipo de bicicleta utiliza? Paseo, urbana, carretera, montaña.
- ¿Cuántas bicicletas hay en su casa? 0, 1, 2, 3, +3.
- ¿Te gusta pedalear? Si, no.

Ficha de la encuesta:

Objetivos:

- Medir el alcance del uso de la bicicleta en la vida de la población
- Conocer el tipo de bicicleta utilizado por el usuario habitual.
- Servir de fuente de información al investigador en este proyecto.

Cobertura:

La encuesta se está realizando en el ámbito local, debido al alcance que puede lograr el autor de este proyecto.

Periodo de ejecución:

La encuesta se ha realizado en el mes de mayo de 2018.

Tamaño de la muestra:

El tamaño de la muestra es de 38 encuestas, es un poco pobre, pero sirve al autor para hacerse una idea principal del arquetipo de usuario habitual.

Para la creación de los arquetipos, que aparecen en las figuras 29 y 30, se han utilizado las respuestas por parte de los usuarios a la encuesta creada, estas respuestas han sido las siguientes:

La primera cuestión de la encuesta está centrada en el sexo y este es el resultado, figura 18.

Sexo

38 respuestas

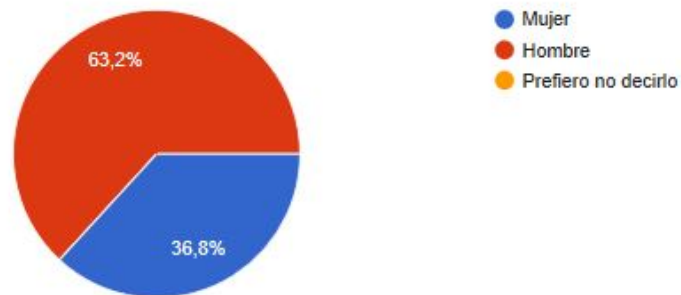


Figura 18. Resultados pregunta 1, encuesta de usuario. Fuente: (elaboración propia)

La segunda pregunta de la encuesta es sobre la edad, la mayor parte de la gente que contestó a esta encuesta es gente joven, con menos de 35 años todos los participantes, a continuación, se muestran los resultados en la figura 19:

Edad

38 respuestas

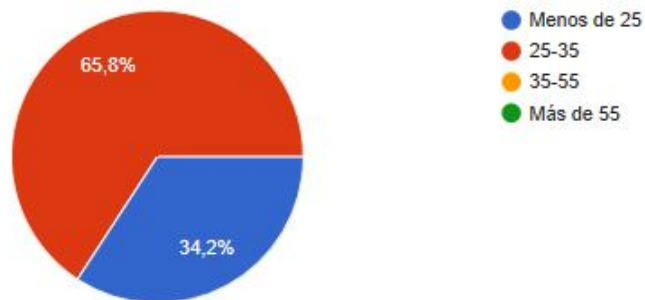


Figura 19. Resultados pregunta 2, encuesta de usuario. Fuente: (elaboración propia)

La siguiente pregunta es el trabajo del encuestado, en este caso, había que analizar más en detalle las respuestas, que aparecen en la figura 20, ya que era una pregunta abierta y han salido muchas respuestas diferentes. La gráfica resultante es la siguiente:

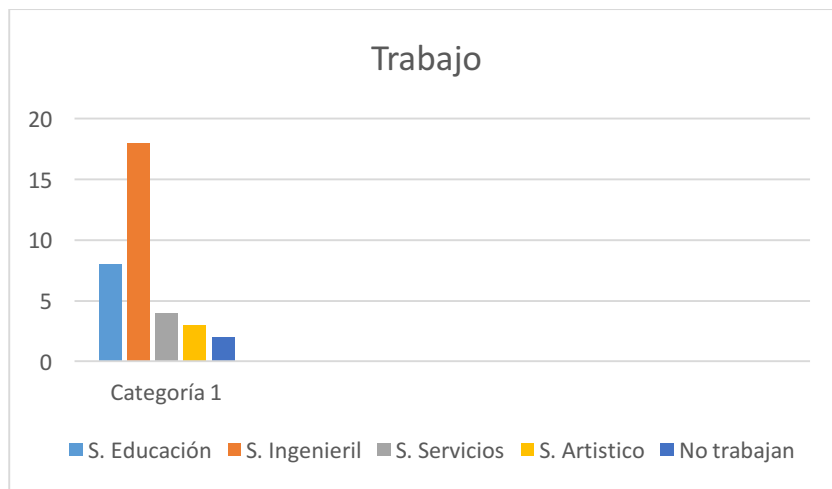


Figura 20. Resultados pregunta 3, encuesta de usuario. Fuente: (elaboración propia)

Más de la mitad de los encuestados tienen ocupación técnica, como ingenieros, arquitectos o investigadores. Gran parte del resto se dedican al ámbito educacional y el sector servicios. Después hay una minoría que se dedican al mundo artístico o musical, como un pianista. Dos de los encuestados no trabajan.

La cuarta pregunta se centra en los estudios de los encuestados. Al analizar los resultados, mostrados en la figura 21, se pueden sacar las mismas conclusiones que en la pregunta anterior, más del 75% de los encuestados tienen estudios superiores, el resto han obtenido los estudios básicos. Estos son los resultados obtenidos:

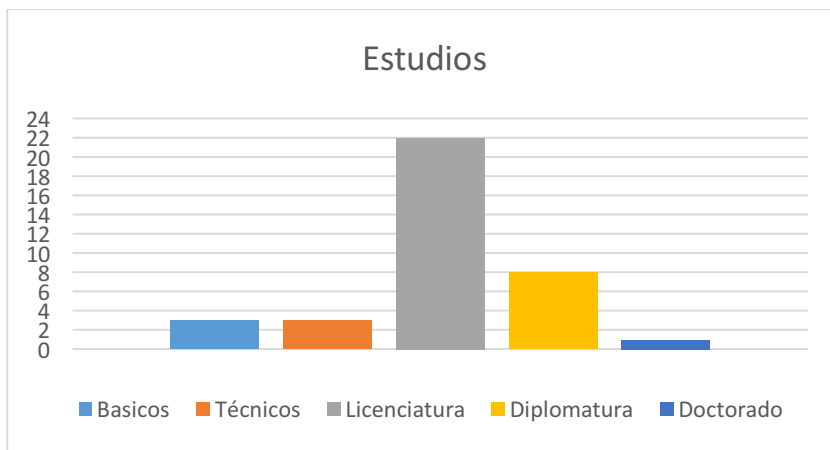


Figura 21. Resultados pregunta 4, encuesta de usuario. Fuente: (elaboración propia)

La siguiente pregunta se centra en conocer el medio de transporte que el usuario utiliza habitualmente para desplazarse por la ciudad. La mitad de los encuestados utilizan el coche, algo que era de esperar, un 31.6% va caminando, dato que tampoco sorprende. Pero lo más sorprendente es que la bicicleta es más usada, un 10.5%, que la moto (2.6%) y que el transporte público (2.6%), incluso que ambas juntas (5.2%), dato que si es relevante ya que indica que es un medio de transporte en auge en los últimos tiempos. Los resultados se muestran en la figura 22.

¿Que medio de transporte utiliza habitualmente para desplazarse por la ciudad?

38 respuestas

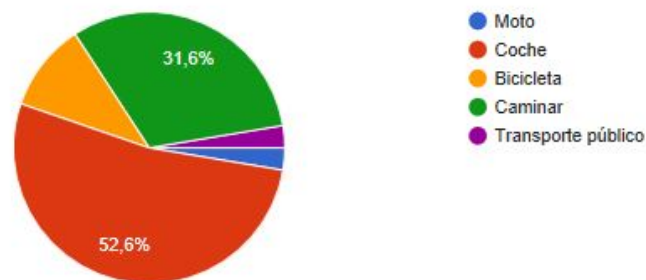


Figura 22. Resultados pregunta 5, encuesta de usuario. Fuente: (elaboración propia)

La sexta pregunta de si utiliza la bicicleta es para comparar el número de usuarios que utiliza la bicicleta como medio de transporte por ciudad (10.6%) con los usuarios totales que utilizan la bicicleta (44.7%). De los resultados obtenidos, figura 23, podemos sacar la conclusión que casi una cuarta parte de la gente que utiliza la bicicleta es para desplazarse por la ciudad.

¿Utiliza la bicicleta?

38 respuestas

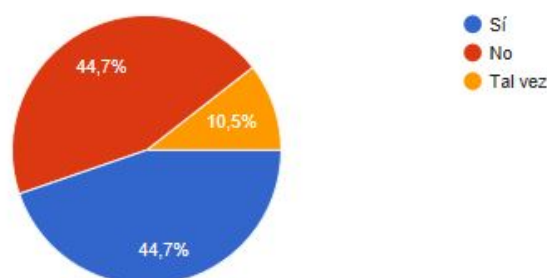


Figura 23. Resultados pregunta 6, encuesta de usuario. Fuente: (elaboración propia)

La séptima pregunta va dirigida a ese 44.7% que utiliza la bicicleta y es para analizar de qué forma usan la bicicleta. Aquí se puede comprobar de alguna manera como $\frac{3}{4}$ partes de la gente que utiliza la bicicleta, la usa para ocio, y normalmente cuando se usa para ocio no se usa como medio en ciudad. El otro 25% se puede observar como la utilizan para tareas o desplazamientos que se realizan en el entorno de la ciudad, como ir al

trabajo, ir a hacer la compra o ir a estudiar. Se pueden observar los resultados en la figura 24.

¿Para que emplea la bicicleta?

33 respuestas

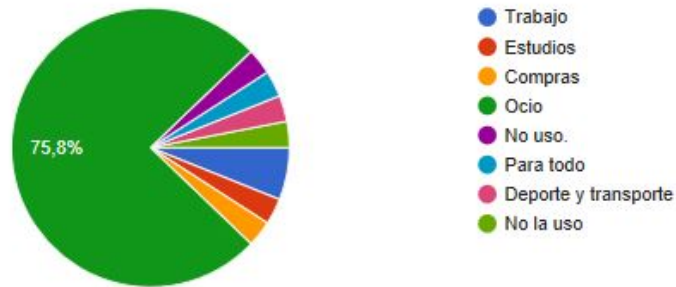


Figura 24. Resultados pregunta 7, encuesta de usuario. Fuente: (elaboración propia)

La octava pregunta se refiere al número de personas del entorno de los encuestados utiliza la bicicleta, se puede ver en los resultados de la figura 25 como la mayor parte de los encuestados tiene en su entorno cercano a alguna persona que se desplaza habitualmente en bicicleta, casi $\frac{3}{4}$ partes de los encuestados conoce a alguna persona que se desplaza en bicicleta.

¿Cuántas personas de su entorno se desplazan habitualmente en bicicleta?

38 respuestas

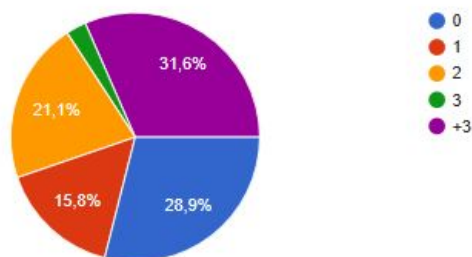


Figura 25. Resultados pregunta 8, encuesta de usuario. Fuente: (elaboración propia)

La novena pregunta cambia de tema y se centra en el tipo de bicicleta que utiliza el usuario. Viendo los datos obtenidos y comparándolos con los

datos anteriores podemos llegar a la conclusión de que los usuarios que utilizan la bicicleta para ocio, para los que se puede extrapolar que la utilizan de manera extraurbana, corresponden la parte de las bicicletas de montaña (62.9%). De la misma manera se puede llegar a otra conclusión similar con los datos de las bicicletas urbanas y de paseo, que corresponderían a esa cuarta parte de los usuarios que utilizan la bicicleta para desplazarse en el ámbito urbano. En la figura 26 se observan los resultados, los cuales se asemejan a los resultados obtenidos por la encuesta que hemos analizado anteriormente sobre como se vive el ciclismo en España.

¿Que tipo de bicicleta utiliza?

35 respuestas

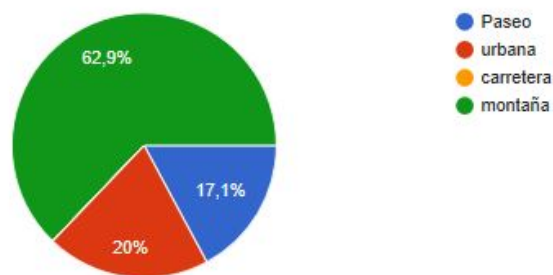


Figura 26. Resultados pregunta 9, encuesta de usuario. Fuente: (elaboración propia)

La penúltima pregunta se centra en conocer cuántas bicicletas suelen tener los usuarios, de esta manera se puede saber si al usuario no le importa tener más de una bicicleta en posesión. También se puede conocer el número de usuarios que no tienen bicicleta. Las respuestas son de todo tipo como se puede observar en la figura 27, pero el mayor número de usuarios tienen más de tres bicicletas en sus casas.

¿Cuántas bicicletas hay en su casa?

37 respuestas

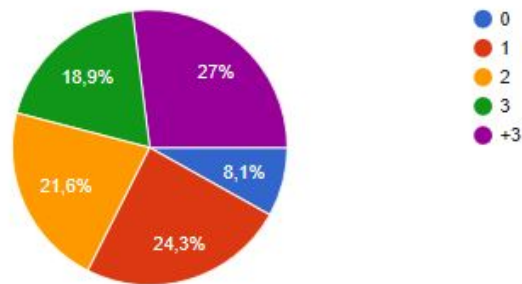


Figura 27. Resultados pregunta 10, encuesta de usuario. Fuente: (elaboración propia)

La 11 y última cuestión de la encuesta es muy simple, se pregunta si le gusta pedalear a los usuarios, esta pregunta tiene un fondo más allá, ya que se busca conocer el número de usuarios que están conformes con una bicicleta mecánica y el número de usuarios potenciales para desarrollar una bicicleta con un motor eléctrico. Los resultados son los que se observan a continuación en la figura 28.

¿Te gusta pedalear?

38 respuestas

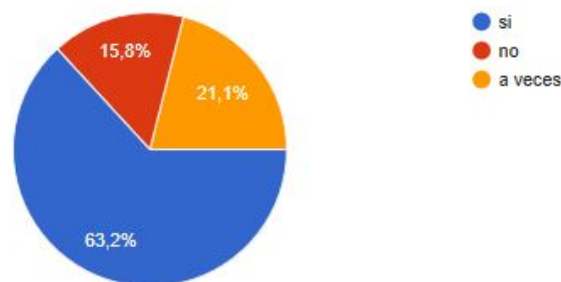


Figura 28. Resultados pregunta 11, encuesta de usuario. Fuente: (elaboración propia)

Se puede observar que hay una minoría que no le gusta pedalear, que podría estar dentro del grupo de usuarios que no utilizan la bicicleta. Por tanto, no serían relevantes.

Arquetipo 1:

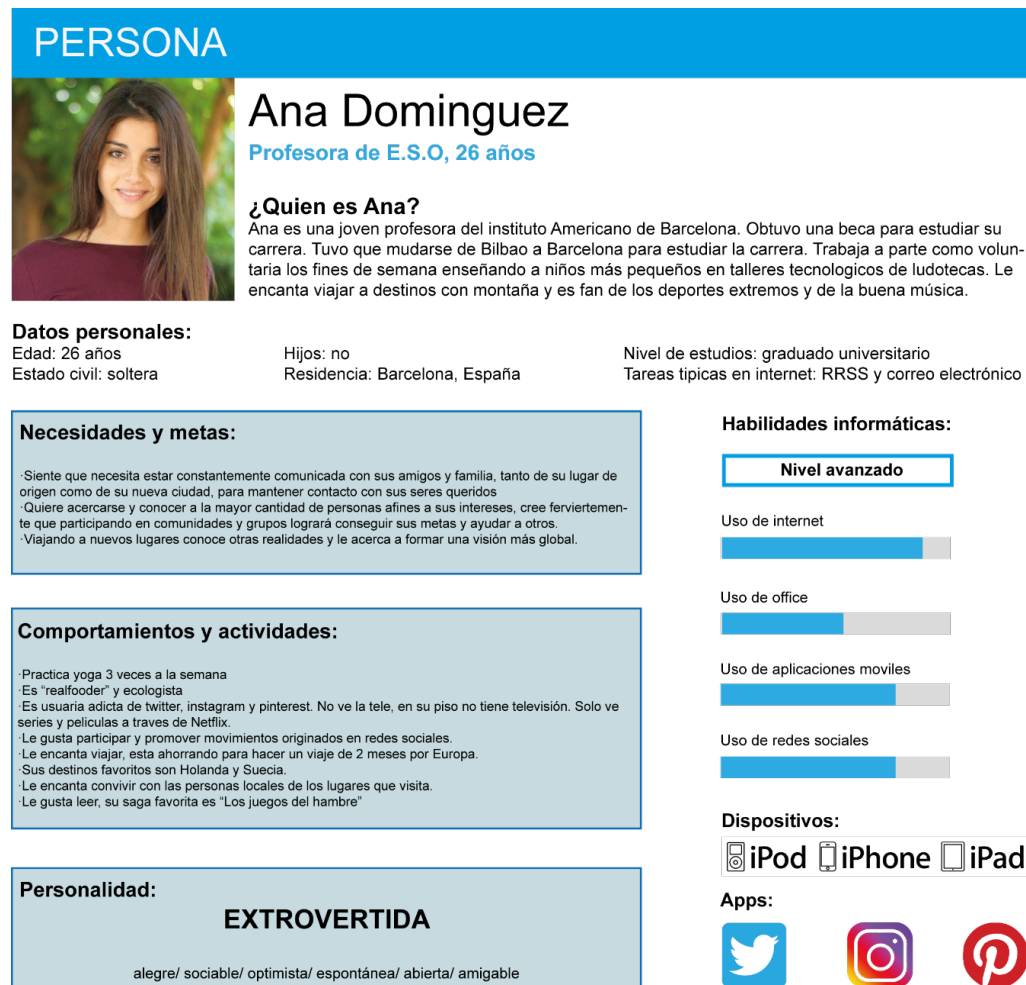


Figura 29. Arquetipo 1. Fuente: (elaboración propia)

Arquetipo 2:



Figura 30. Arquetipo 2. Fuente: (elaboración propia)

3. Briefing

Con la investigación realizada y los datos obtenidos se ha realizado un “briefing” en el cual se señalan las características y los medios que se van a seguir en el diseño y la fabricación de la bicicleta.

3.1. Tipo de bicicleta que se va a diseñar y fabricar.

Basándose en la investigación realizada se va a fabricar una bicicleta a medio camino entre una bicicleta urbana y de carretera. Este tipo de bicicleta se podría considerar una bicicleta tipo “fixie” como ya se ha mencionado. Con un tamaño de rueda 600C y 100% de carácter “open source” y “DIY”.

3.2. Componentes de la bicicleta que se van a diseñar y fabricar.

Los componentes que se van a diseñar y fabricar va a ser el cuadro/chasis de la bicicleta, teniendo en cuenta que va a ser una bicicleta rígida (sin suspensión).

3.3. Métodos de fabricación.

Como ya se ha mencionado anteriormente, los métodos de fabricación que se van a utilizar van a ser todos los disponibles en un taller certificado como FabLab. Estas tecnologías de fabricación están descritas en el punto número 1 de este documento.

3.4. Materiales.

Se van a utilizar diferentes tipos de maderas tratables con las máquinas de corte láser, los diferentes plásticos que se puedan extruir mediante la tecnología de impresión 3D y algunos metales y tornillería que se requieran para otros fines del montaje final.

3.5. Diseño.

En el diseño se busca que sea lo más práctico posible y que además sea lo más replicable posible ya que es un proyecto “open source” abierto al resto de usuarios.

3.6. Otras partes de la bicicleta.

El resto de componentes que se van a utilizar para el diseño y montaje del prototipo de la bicicleta van a ser reciclados de otras bicicletas o comprados para tal finalidad.

4. Metodología

4.1. Fase de bocetado y diseño

Para comenzar el diseño se ha cogido una bicicleta antigua de base, de la cual se han extraído las piezas recicladas para montar la bicicleta de este proyecto. Con el cuadro/chasis desmontado, se han tomado las medidas principales necesarias para diseñar el nuevo cuadro. Estas medidas son las siguientes:

- Longitud del eje de pedalier al centro del eje de la rueda trasera.
- Longitud del centro del eje de la rueda trasera al punto de unión de las vainas superiores con los tubos del chasis en la zona donde se encuentra el sillín.
- Ángulo que forma la vaina superior con el tubo horizontal del cuadro.
- Ángulo que forma la vaina inferior con el tubo inferior del cuadro.
- Longitud del tubo superior del cuadro.
- Longitud del tubo inferior del cuadro.
- Ángulo que forman el tubo superior y el inferior.
- Longitud del tubo que soporta la horquilla y la caja de dirección.
- Ángulo que este tubo forma con la horizontal y el resto de tubos.

Estas medidas se han plasmado sobre una placa de poliestireno extruido con ayuda de reglas, transportadores de ángulos y el propio cuadro desmontado. Se ha procedido de esta manera a la realización del diseño sobre el material, para tener una idea del tamaño y las formas a tamaño real y poder trabajar sobre el diseño directamente sobre un prototipo realizado en poliestireno.

De esta manera se ha ido bocetando con técnicas de prototipado y no con técnicas de dibujo, utilizando herramientas como cutter, corte con hilo caliente y lija. En la figura 31 se puede observar el primer boceto realizado sobre poliestireno expandido, este se dibujó sobre la plancha de poliestireno y se cortó. El boceto fue satisfactorio, de esta manera se continuó trabajando sobre esta forma de cuadro.

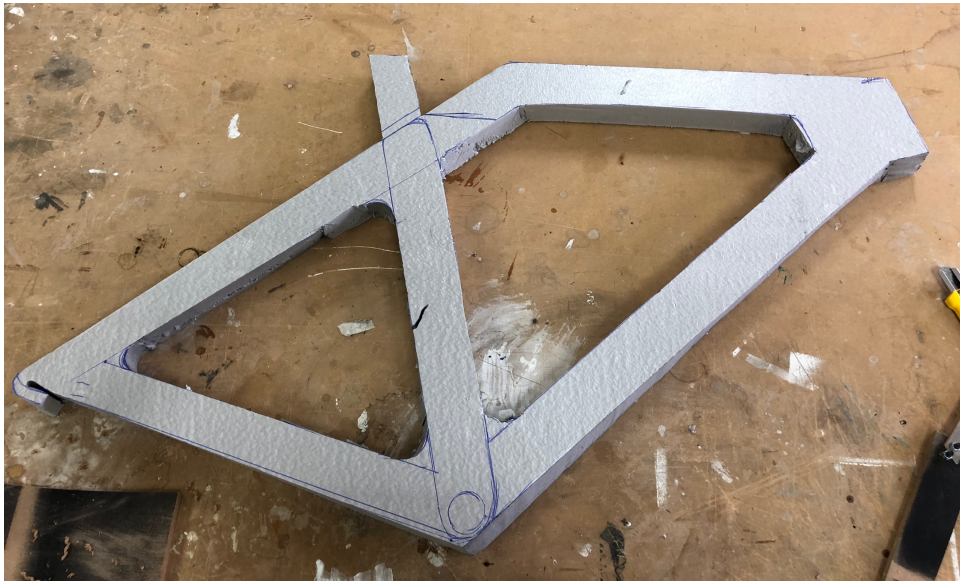


Figura 31. Diseño realizado en poliestireno extruido. Fuente: (elaboración propia)

Con el boceto del cuadro delante, se comenzó a pensar en la forma de fabricación de este. En un principio se pensó en cortar una madera con la herramienta de corte láser, que contuviese toda la estructura de este, pero esta herramienta nos limita el corte a un espesor de madera de 10 mm de madera. Esto hizo plantearse el diseño, y se pasó a realizar dos superficies paralelas de madera de 10 mm que estuviesen unidas por el centro mediante varias piezas en impresión 3D que actuaran como núcleo del sándwich y que a su vez soportasen elementos imprescindibles como la caja de dirección y horquilla, el pedalier con el sistema de pedaleo y el sillín. Entonces se bocetaron dos láminas de 10 mm unidas mediante 3 piezas de impresión 3D en los 3 puntos clave del cuadro de la bicicleta. A estas piezas se les dio el espesor necesario, para que sumándolo con el espesor de las 2 láminas diese un espesor de 68 mm que es el total que tiene la caja de pedalier de la bicicleta original y de esta manera no tener que modificar ningún eje. En la figura 32 y 33 se pueden observar los detalles de esta explicación que se realizaron sobre el prototipo de poliestireno extruido.



Figura 32. Detalle1 del diseño realizado en poliestireno extruido. Fuente: (elaboración propia)



Figura 33. Detalle 2 del diseño realizado en poliestireno extruido. Fuente: (elaboración propia)

Tras realizar esta evolución se observa que el espesor de 68 mm que tiene todo el paquete que conforma la bicicleta, no cuadra con la medida que requiere el cuadro en la parte trasera, que es de 125 mm para que entre la rueda a través de su buje. Además, las dos láminas de 10 mm de madera que conforman todo el cuadro, tienen una dimensión más grande que la cama de corte que tiene la herramienta de corte láser. Por ello se decide dividir el cuadro en 4 triángulos, dos principales que conforman el cuadro principal de la bicicleta y que entre ellos guardan una distancia de

68 mm y dos triángulos secundarios que forman las vainas traseras. De esta manera se pueden cortar todos los elementos con el corte láser. Para conseguir el ángulo y la apertura en las vainas para que se pueda introducir la rueda trasera, se crean dos cajeados en las piezas impresas en 3D para introducirlas de tal manera que el ángulo quede fijado sin necesidad de curvar la madera. Este detalle se puede observar en la figura 34. Por tanto, suman 4 piezas de forma triangular en contrachapado de madera cortadas por láser y tres piezas en PLA impresas en 3D.



Figura 34. Detalle del cajeadado y ángulo de apertura en las vainas traseras. Fuente: (elaboración propia)

Todas estas evoluciones dan como resultado el diseño definitivo de la bicicleta, el cual se puede observar en la figura 35 y 36, en las que se puede observar el diseño/boceto del cuadro en poliestireno extruido unido mediante tornillos rosca-chapa.



Figura 35. Diseño final del cuadro. Fuente: (elaboración propia)

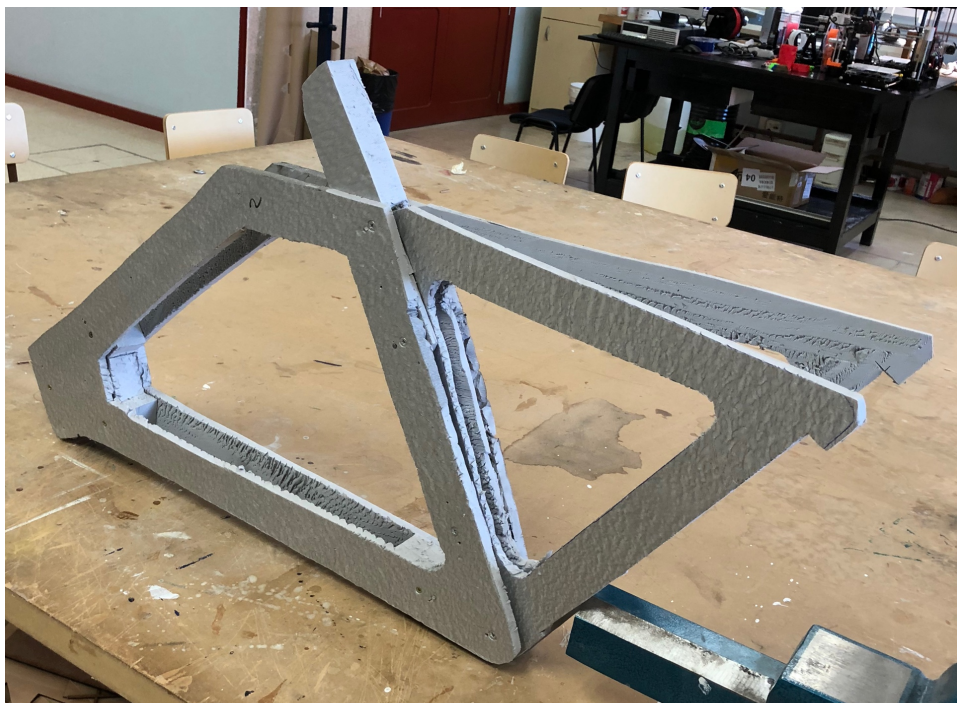


Figura 36. Diseño final del cuadro. Fuente: (elaboración propia)

Una vez decidido el diseño final y las piezas que conforman el cuadro de la bicicleta se pasa este al programa de diseño asistido por ordenador Catia V5.

4.2. Fase de modelado

Se vuelven a insertar las medidas claves antes mencionadas para el diseño y se comienza a dar forma a las diferentes partes que conforman el cuadro. Este diseño por ordenador sirve para realizar las distintas simulaciones por elementos finitos que determinaran su resistencia y además también sirve para extraer los planos para el corte láser de las láminas de madera y extraer los archivos de las piezas sólidas que van impresas en 3D. En la figura 37 se puede observar el primer diseño realizado a ordenador de la bicicleta.

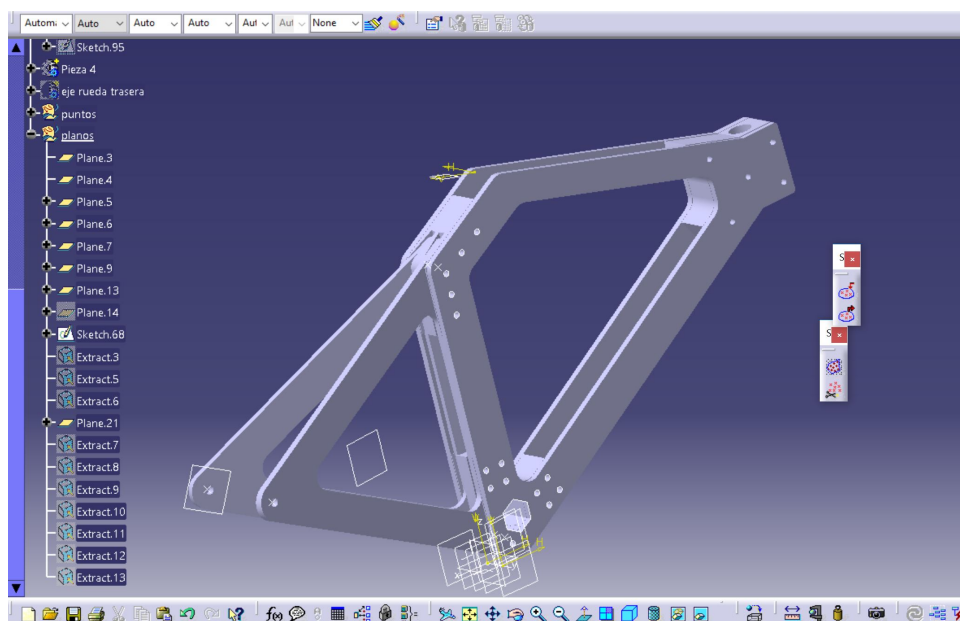


Figura 37. Imagen del diseño en el programa Catia V5. Fuente: (elaboración propia)

Con este tipo de procedimiento de diseño en este programa, se pueden conseguir los planos de corte para las láminas de madera exportando los planos de “drafting” a extensión *autocad* y también se pueden exportar las piezas a imprimir en extensión *stl* para proceder a su procesado para impresión.

4.3. Materiales y fabricación

Los materiales utilizados para el cuadro de la bicicleta han sido dos, madera y plástico. La selección de estos materiales ha estado condicionada por los procesos de fabricación que se van a utilizar para desarrollar el proyecto y por ser los más comunes en el mercado. Debido a que es un proyecto con carácter “Open Source” y replicable en cualquier Fablab, como ya se ha explicado, los dos principales métodos de fabricación son el corte láser y la fabricación aditiva o impresión 3D. Para las partes laminadas cortadas con el láser del cuadro se va a utilizar contrachapado fenólico de 10 mm., que aparece en la figura 38, este es el máximo espesor que corta la herramienta.



Figura 38. Contrachapado fenólico 10 mm. Fuente: (www.bricomart.es)

Las piezas de unión impresas en 3D se van a imprimir en PLA ya que es el plástico más común utilizado para la impresión 3D, este se observa en la figura 39. Sin embargo, hay que citar que, al ser un proyecto de código abierto, las personas que quieran replicar el proyecto lo podrán realizar con los materiales que ellos seleccionen teniendo en cuenta las capacidades de la maquinaria que vayan a utilizar. Pudiendo replicar esta

con multitud de materiales tanto en corte, como metacrilato, madera MDF, contrachapado marino, como en impresión 3D, ABS, HIPS o incluso PET.

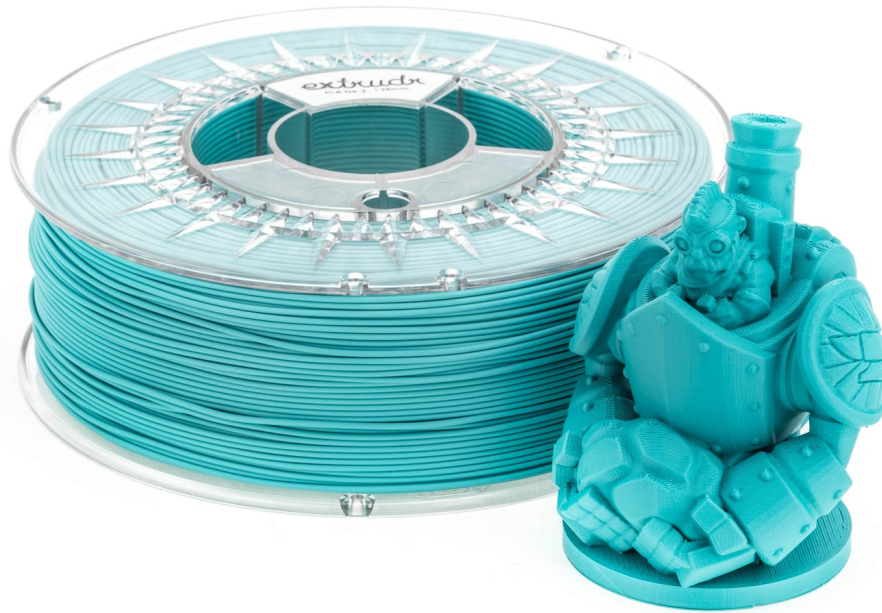


Figura 39. Material PLA para la fabricación aditiva. Fuente: (<https://www.3djake.es/extruder/pla-nx-2-turquesa>)

4.4. Análisis por elementos finitos

Para el estudio de la viabilidad estructural y el comportamiento mecánico-físico y asegurar que el diseño es resistente y soporta el peso medio de un usuario, 85 kg., se ha procedido a realizar dos ensayos estáticos de tensiones a través de una simulación por elementos finitos. El primer ensayo ha sido con el peso situado principalmente en el asiento, simulando la posición pasiva del usuario montado en la bicicleta y el segundo ensayo se ha realizado con el peso situado en la parte del eje de pedaliar simulando la posición activa del usuario cuando pedalea en la bicicleta. Para el estudio se ha utilizado el programa de cálculo por elementos finitos Ansys. En el estudio se han añadido al programa de análisis las propiedades de los materiales utilizados, se pueden observar en la tabla 1, estas propiedades se han extraído del programa de selección de materiales CES Selector. En el caso de la densidad del PLA se ha tenido que realizar una conversión, ya que esta corresponde a una pieza 100% rellena. Como las piezas utilizadas van a estar impresas al

30% la densidad se ha multiplicado por un factor de escala de 0.3. Por esto se tiene una densidad tan baja en la densidad del PLA. Si a la hora de replicar el cuadro se buscara imprimir con otro porcentaje de relleno de la pieza se requeriría repetir los ensayos modificando esta densidad multiplicándola por el factor de escala adecuado a la densidad seleccionada.

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES		
Material	PLA	Madera contrachapado
Densidad	375 Kg/m ³	680 Kg/m ³
Límite elástico	60 MPa	103 MPa
Módulo de Young	3,5 GPa	7,5 GPa
Coef. Expansión térmica	80 °C ⁻¹	5,4 °C ⁻¹

Tabla 1. Propiedades de los materiales utilizados. Fuente: (CES selector)

El modelo utilizado para los ensayos ha sido el diseño principal en el que se ha basado todo el proyecto, el compuesto por 4 láminas de contrachapado y tres piezas de unión impresas en 3D. Este modelo y sus diferentes partes se han introducido en el programa de cálculo como elementos sólidos en 3D. En la figura 40 se puede ver el explosionado del modelo en el programa de ensayos con las distintas piezas que lo componen.

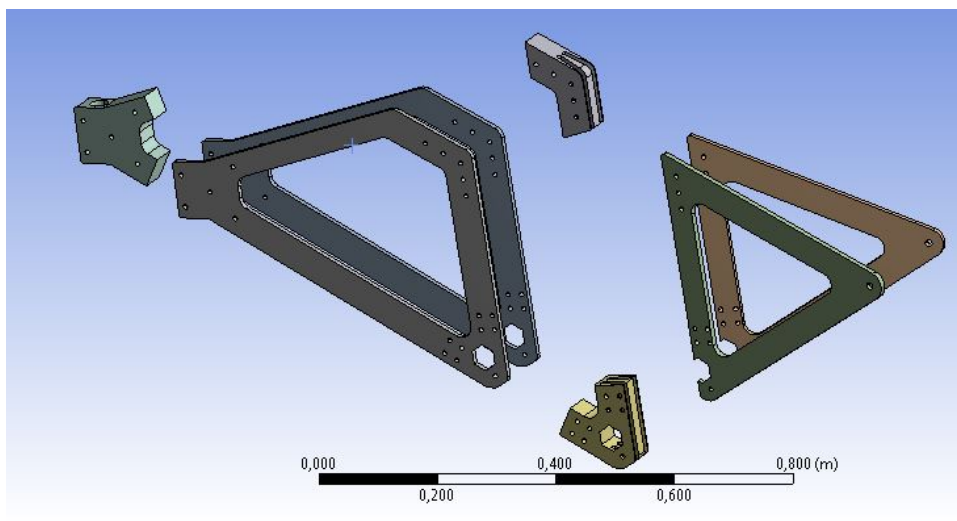


Figura 40. Explosionado del modelo ensayado por elementos finitos. Fuente: (elaboración propia)

Las piezas se han unido a través de las superficies de los tornillos. El mallado utilizado para subdividir los elementos ha sido de tipo cuadrado y con una dimensión de división de 5mm, como se puede observar en la figura 41. Las restricciones utilizadas se han centrado en la parte frontal, en el eje de la dirección, y en la parte trasera en los ejes de los agujeros donde va introducida la rueda. En estos dos puntos se han restringido los 6 grados de libertad. En la parte central, se ha restringido el eje sobre el que se apoya el pedalier, pero en este caso se han dejado libres dos grados de libertad, el eje z de traslación (vertical) y el eje x de traslación (dirección del sentido de marcha).

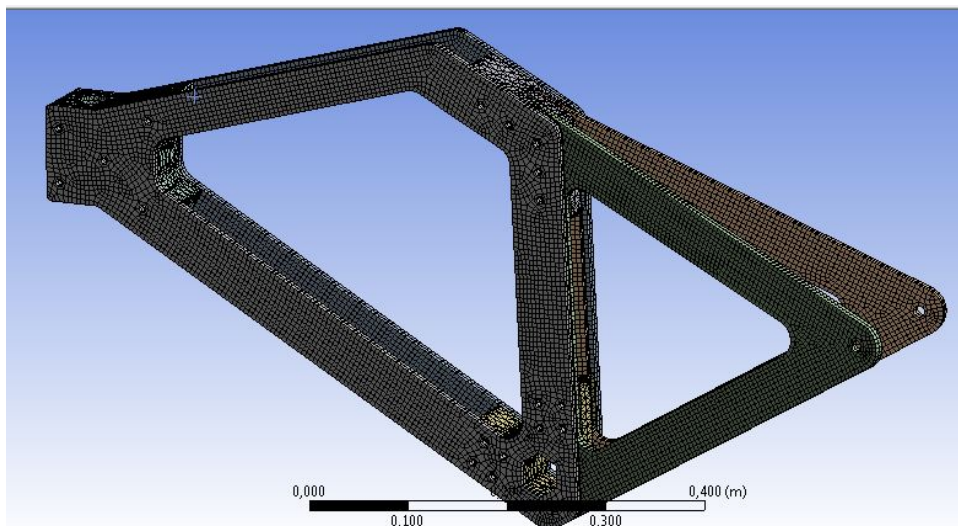


Figura 41. Modelo mallado para realizar el ensayo. Fuente: (elaboración propia)

Una vez se han restringido, se ha ordenado calcular las deformaciones y las tensiones de *Von Mises* y se han obtenido los siguientes resultados:

- Ensayo sentado: en este ensayo se ha obtenido una deformación máxima de $7,1e-5$ mm. y una tensión máxima de 3,7 MPa. La deformación en estático es insignificante y la tensión máxima se queda muy por debajo del límite elástico de ambos materiales utilizados, por lo tanto, el modelo puede darse por validado. En la figura 42 se pueden observar las zonas donde se concentran las máximas deformaciones, estas se sitúan en la zona donde se aplica la fuerza al ir sentado. En la figura 43 también se puede

observar una imagen donde se muestran las máximas tensiones y la máxima tensión, esta se localiza en los agujeros de soporte del eje de la rueda trasera.

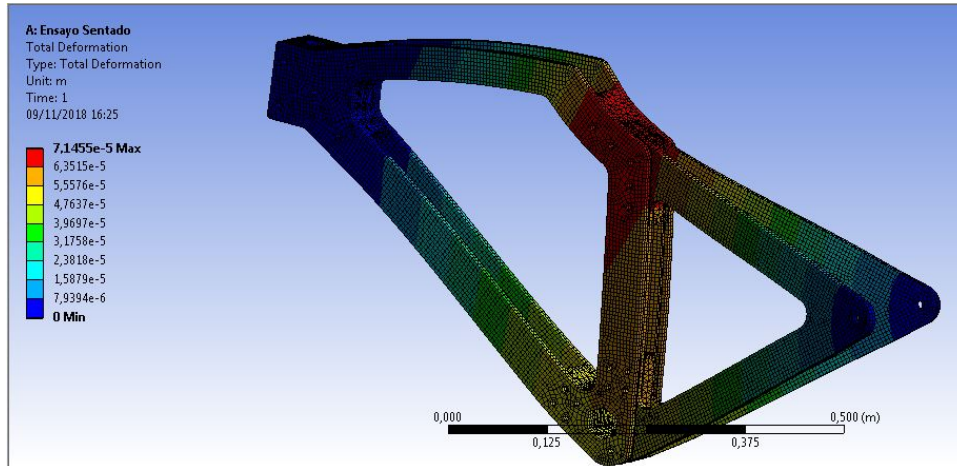


Figura 42. Imagen de las deformaciones del ensayo sentado. Fuente: (elaboración propia)

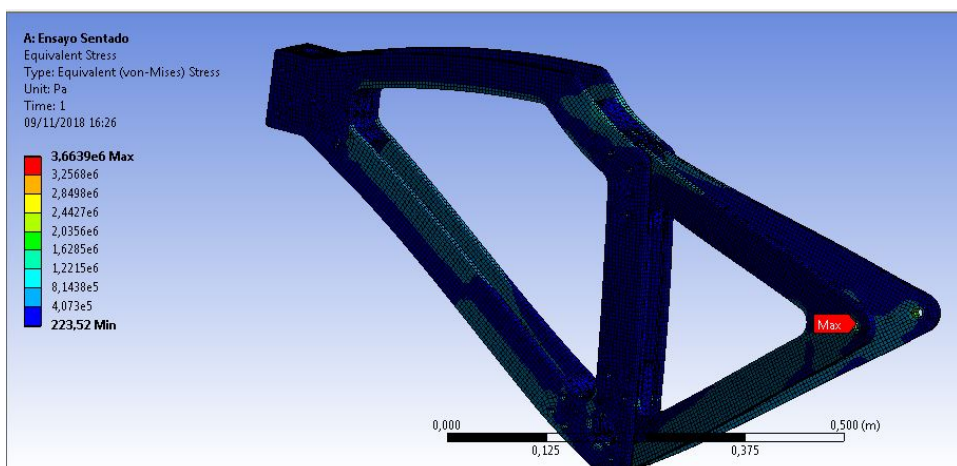


Figura 43. Imagen de las tensiones del ensayo sentado. Fuente: (elaboración propia)

- Ensayo de pie: en este ensayo se ha obtenido una deformación máxima de $6,9e-5$ mm. y una tensión máxima de 3,7 MPa. La deformación vuelve a ser insignificante y la tensión máxima es la misma que en el ensayo anterior y se queda muy por debajo del límite elástico de ambos materiales, por lo tanto, tras este ensayo se puede dar por validado el modelo en su totalidad. En la figura 44 se pueden observar las deformaciones y como las máximas se concentran en la parte central del cuadro. En la figura 45 se puede observar también una imagen con las tensiones y la tensión

máxima que está situada de nuevo en los agujeros del eje de la rueda trasera.

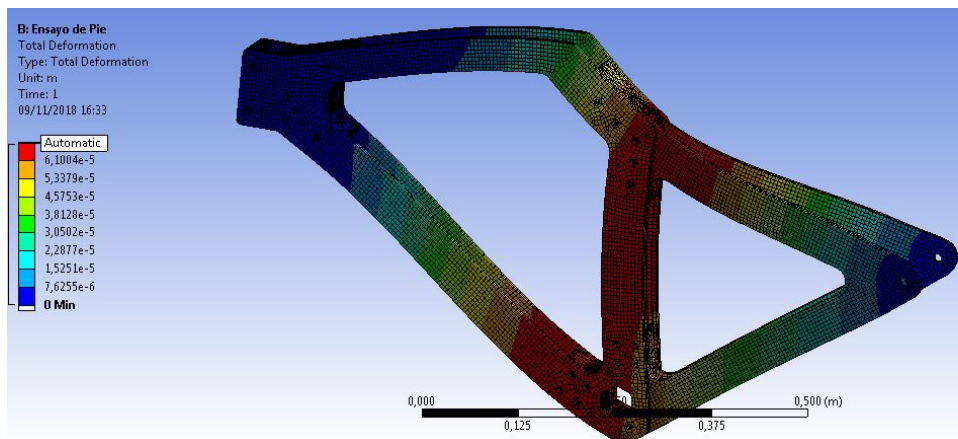


Figura 44. Imagen de las deformaciones del ensayo de pie. Fuente: (elaboración propia)

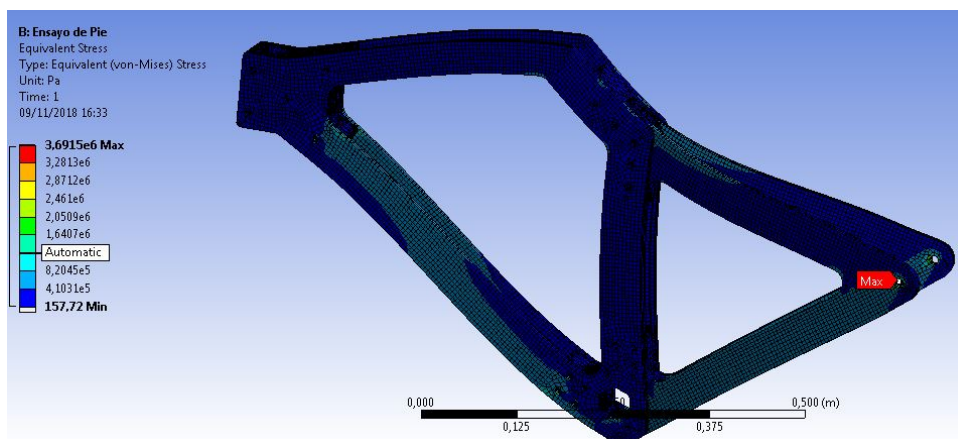


Figura 45. Imagen de las tensiones del ensayo de pie. Fuente: (elaboración propia)

Con estos dos ensayos y analizando sus resultados se puede dar por validada su viabilidad estructural y se puede confirmar que su comportamiento físico-mecánico va a ser satisfactorio. Comprobada su seguridad general se ha procedido a fabricar maquetas y prototipos de este modelo.

4.5. Fabricación de maquetas y prototipos

La evolución de maquetas y diseños se ha determinado por distintas evoluciones a partir del primer diseño. Validado este por los ensayos por elementos finitos, se ha procedido a maquetar para comprobar que todas las piezas encajen bien y no haya interferencias o ajustes deficientes entre

ellas. La escala de esta maqueta es 1: 3.33, debido a que las láminas diseñadas para el modelo final son de 10 mm. y las utilizadas para la maqueta son de 3 mm. Esta maqueta se ha fabricado con las técnicas que se van a utilizar para fabricar el modelo final, impresión 3D y corte láser, pero utilizando materiales diferentes a los que se van a emplear en el modelo final. Los materiales empleados han sido ABS para la impresión 3D y madera DM de 3 mm. para las láminas. En las figuras 46 y 47 se pueden observar las piezas principales que componen el cuadro fabricadas a escala para la primera maqueta física.

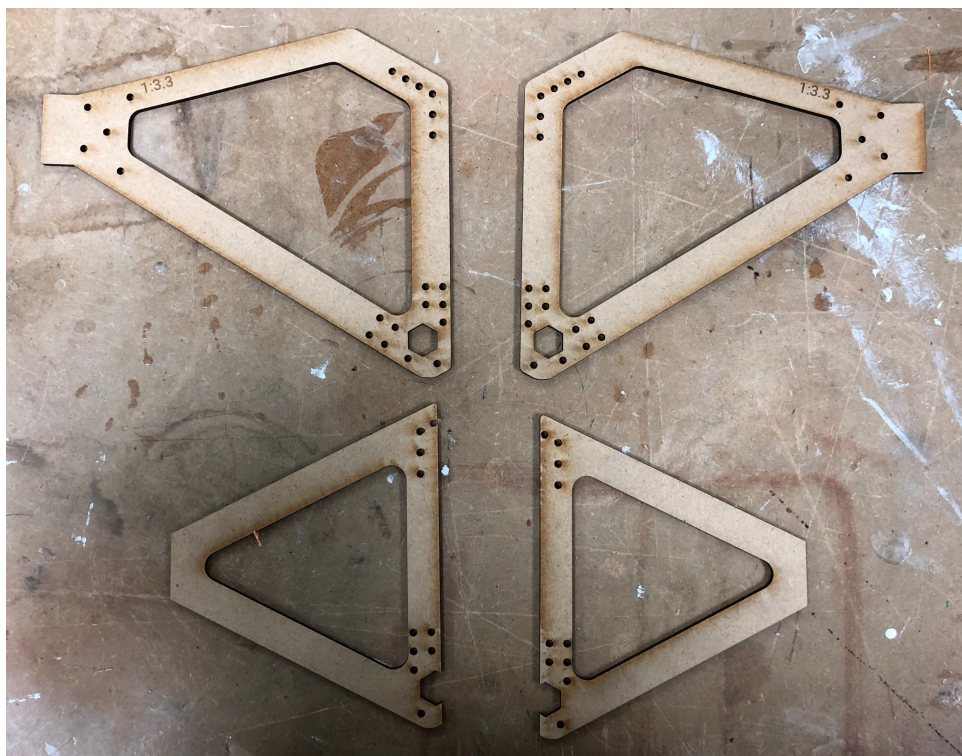


Figura 46. Láminas de DM que componen los triángulos del cuadro. Fuente: (elaboración propia)



Figura 47. Piezas impresas en 3D, material PLA, que sirven de unión de las láminas. Fuente: (elaboración propia)

En las figuras siguientes, 48 y 49 se puede observar esta maqueta montada.



Figura 48. Maqueta evo1 escala 1:3,33. Fuente: (elaboración propia)



Figura 49. Maqueta evo1 escala 1:3,33. Fuente: (elaboración propia)

Con esta primera maqueta y su análisis han surgido elementos del primer diseño que hay que evolucionar, se trata de las punteras traseras, que al ser un elemento impreso en 3D y fijado a la madera va a sufrir grandes esfuerzos a cizalla y la posición en la que se imprimen estas piezas no ayuda a la resistencia de este elemento. Estas punteras y su montaje se pueden observar en la figura 50 y además en esta misma figura, se puede observar también como partes de la pieza están fracturadas incluso en la maqueta sin soportar ningún esfuerzo, únicamente por el ajuste del montaje.



Figura 50. Punteras traseras evo1 impresas en 3D. Fuente: (elaboración propia)

Para la evolución 2 de la bicicleta, se ha mantenido un diseño de punteras apoyadas en la madera, con dos piezas en impresión 3D en cada puntera para corregir el ángulo que las láminas tienen para que de esta manera el buje y el eje de la rueda apoyen planos paralelamente a la llanta. Este detalle se puede observar en las figuras 51 y 52. Estas piezas van atornilladas a la lámina de madera mediante 4 tornillos que únicamente sirven de fijación. En esta evolución la madera va a ser la que soporte la fuerza de apoyo de la rueda y la transmitirá a todo el conjunto de la bicicleta.



Figura 51. Punteras traseras evo2 impresas en 3D. Fuente: (elaboración propia)



Figura 52. Punteras traseras evo2 impresas en 3D. Fuente: (elaboración propia)

Además, en esta evolución se ha añadido en la pieza central una extensión para probar un soporte de tija para el sillín. En la siguiente foto se puede observar una maqueta realizada a escala 1: 3.33, como la

anterior, para comprobar que las modificaciones funcionan. Esta maqueta y sus detalles se pueden observar en la figura 53.



Figura 53. Maqueta evo2 escala 1:3,33. Fuente: (elaboración propia)

Con esta segunda evolución y su validación física mediante la maqueta desarrollada, se ha procedido a fabricar el primer prototipo a escala real para comenzar a probarlo. Se ha fabricado con contrachapado fenólico de 10 mm. de espesor para las láminas cortadas con láser, estas se pueden observar en la figura 54. También se ha utilizado PLA para las impresiones 3D. En las piezas impresas en 3D se ha utilizado un relleno de un 10% y una estructura interna triangular.



Figura 54. Láminas de contrachapado evo2 prototipo escala real. Fuente: (elaboración propia)

En el empaquetado total de las piezas se han utilizado tornillos M6, un total de 19. Para la unión de las piezas traseras de las punteras se han utilizado 8 tornillos M5, 4 por cada lado, de esta manera se ha conformado todo el cuadro. En las figuras 55, 56, 57, 58, 59, 60 y 61 que a continuación se muestran, se puede observar cada pieza, el montaje y el ajuste que tienen entre ellas.



Figura 55. Prototipo evo2 escala real. Fuente: (elaboración propia)



Figura 56. Prototipo evo2 escala real. Fuente: (elaboración propia)

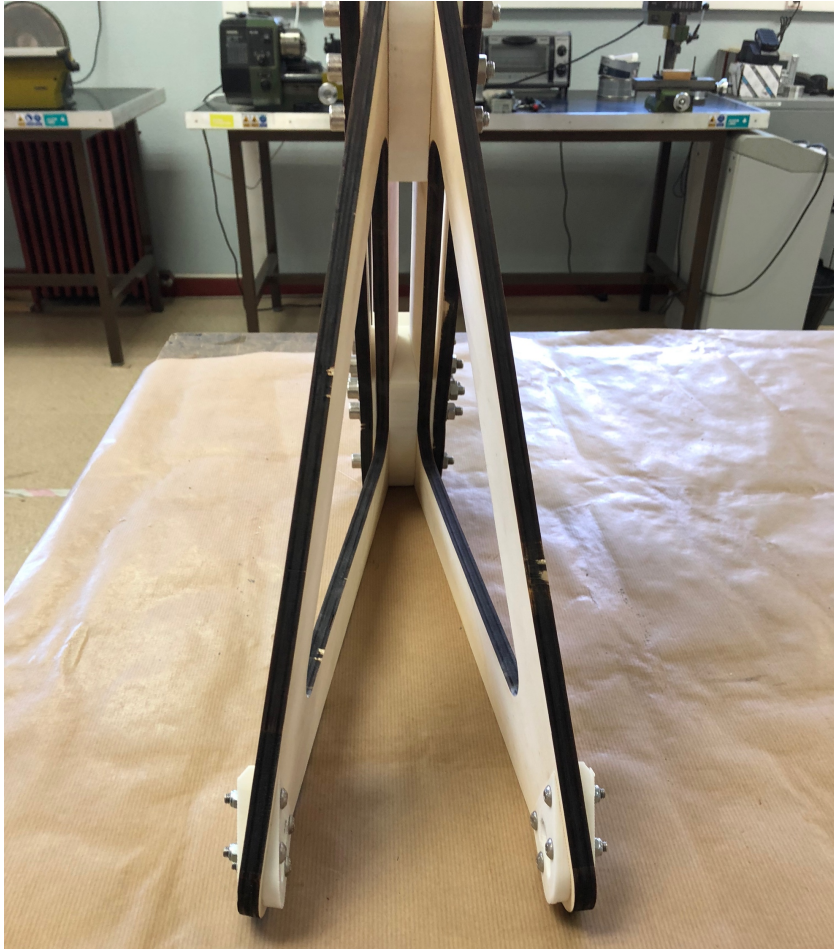


Figura 57. Prototipo evo2 escala real. Fuente: (elaboración propia)



Figura 58. Prototipo evo2 escala real. Fuente: (elaboración propia)



Figura 59. Prototipo evo2 escala real. Fuente: (elaboración propia)



Figura 60. Prototipo evo2 escala real. Fuente: (elaboración propia)



Figura 61. Prototipo evo2 escala real. Fuente: (elaboración propia)

Con el primer prototipo montado se ha procedido a realizar una primera prueba. Para ello se ha montado la dirección en la pieza delantera con su horquilla y con la rueda delantera. Al montar la dirección, el ajuste que tenía con la pieza era excesivo y la pieza ha sufrido un par de fracturas en torno al orificio de soporte de la dirección. Estas fracturas están maximizadas por el hecho de que la pieza este impresa con un porcentaje de relleno interno del 10%, que hacen que sea muy frágil. En las figuras 62 y 63 se pueden observar estas fracturas.



Figura 62. Fractura en la pieza delantera impresa en 3D. Fuente: (elaboración propia)

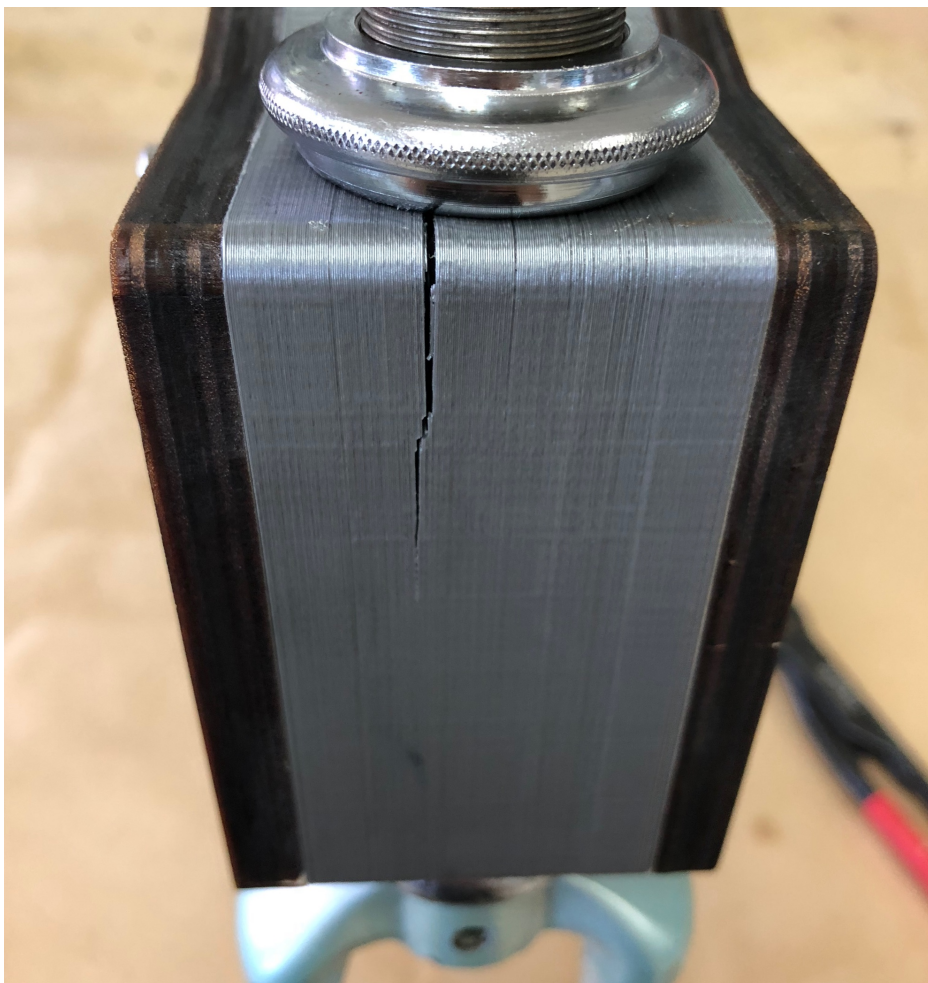


Figura 63. Fractura en la pieza delantera impresa en 3D. Fuente: (elaboración propia)

Una vez montados estos componentes se ha procedido a probar la resistencia de la bicicleta en estático con la ayuda de un soporte trasero haciendo de rueda trasera, véase en la figura 64. Al subirse a la bicicleta esta ha soportado un par de movimientos, pero al tercero, la pieza delantera ha partido hacia delante por las grietas que ya habían aparecido anteriormente. Esta fractura se puede observar en las figuras 65 y 66.



Figura 64. Prueba en estático del prototipo evo2. Fuente: (elaboración propia)



Figura 65. Fractura de la pieza delantera durante la prueba en estático. Fuente: (elaboración propia)



Figura 66. Fractura de la pieza delantera durante la prueba en estático. Fuente: (elaboración propia)

Este ensayo con su consecuente rotura da como resultado un análisis en el que se observa que el porcentaje de relleno es muy bajo para la fuerza que debe soportar la pieza, el ajuste del orificio de la dirección con esta misma debe ser menor y también que la posición de los tornillos que conforman el empaquetado de esta parte del chasis está concentrada en la parte trasera del orificio pasante de la dirección. Por tanto, con este análisis se rediseña esta parte y se pasa a la tercera evolución de la bicicleta, en la cual se aumenta el porcentaje de la pieza delantera, se cambia la posición de los tornillos y se modifica el diámetro del orificio de la dirección. En la figura 67 se pueden observar las modificaciones

realizadas para esta evo3, además en este prototipo se montan ambas ruedas y se realiza una prueba dinámica con un resultado satisfactorio, ya que la bicicleta muestra la resistencia buscada para el peso que se le añade, ya que se prueba con unos 105 kilogramos.



Figura 67. Modificaciones realizadas en el prototipo de la evo3. Fuente: (elaboración propia)

Sin embargo, en las pruebas dinámicas de la bicicleta, esta muestra un comportamiento extraño en las curvas. Esto se debe a que los dos triángulos traseros que forman las vainas y que soportan la rueda trasera tienden a flectar en el sentido contrario al giro y por lo tanto desestabilizan e impiden en cierta manera el giro.

Para intentar solucionar este efecto, se ha pasado a la evo4 del cuadro y se han añadido unos refuerzos en las piezas impresas en 3D donde van las vainas para intentar que tengan más superficie de apoyo sobre estas, estos refuerzos se pueden ver en las figuras 68 y 69.



Figura 68. Refuerzo en la pieza central en el prototipo evo4. Fuente: (elaboración propia)



Figura 69. Refuerzo en la pieza inferior en el prototipo evo4. Fuente: (elaboración propia)

Además, se han añadido unos nervios en las vainas traseras para reforzar su rigidez, estos nervios se han unido a las vainas con unos machihembrados y con cola para que queden unidos de manera sólida. Estos nervios, en la parte donde interfieren con los refuerzos de las partes impresas, atraviesan hasta estas para dar un refuerzo extra. En la figura 70 se pueden observar estos nervios.



Figura 70. Nervios de refuerzo en las vainas en el prototipo evo4. Fuente: (elaboración propia)

Aprovechando que hay que imprimir piezas nuevas para la parte central e inferior del pedalier, se ha optado por imprimirlas al 30% de densidad, como la pieza delantera, ya que estas estaban al 10% de la evo1. Esta medida se ha tomado en base a los precedentes ocurridos con la pieza delantera y en base a los cálculos realizados.

Para conseguir un mayor apoyo de la rueda trasera sobre las piezas de acople del cuadro se han ajustado sus diámetros y se han impreso piezas nuevas, estas se pueden observar en las figuras 71 y 72.



Figura 71. Pieza de acople modificada de la rueda trasera en el prototipo evo4. Fuente: (elaboración propia)



Figura 72. Pieza de acople modificada de la rueda trasera en el prototipo evo4. Fuente: (elaboración propia)

Esta evo4 se ha testeado y se nota la mejora en la rigidez y la disminución del pandeo de la parte trasera de la bicicleta. Con esta evolución validada se ha pasado al desarrollo de la evo5 del cuadro en la que se incluye la introducción del soporte del sillín y el casquillo en el que va roscado el eje de pedalier.

El soporte del sillín ha sido una de las tareas más complicadas de realizar en el diseño, ya que supone una de las partes principales tanto mecánicas como ergonómicas del conjunto. Este soporte se ha incluido como una parte más de los 2 triángulos principales del cuadro sacando un apéndice de estos dos como se observa en la figura 73. Entre ellos se ha diseñado una pieza con forma de abrazadera que soportará la tija del sillín y a través de un tornillo que agrupa las piezas también se podrá regular la altura.



Figura 73. Diseño y soporte para el sillín impreso en 3D. Fuente: (elaboración propia)

El eje de pedalier tiene la complicación del roscado de sus piezas en el cuadro. Las tecnologías seleccionadas para la fabricación del modelo no permiten conseguir una calidad adecuada para estas roscas. Por ello se ha tenido que buscar una alternativa a los procesos de fabricación digitales y se ha tenido que recurrir al torneado de un casquillo hexagonal que se compacta con el resto de elementos en la parte inferior del cuadro y que permite el montaje de los pedales, las bielas y el eje de pedalier, como se puede observar en la figura 74.

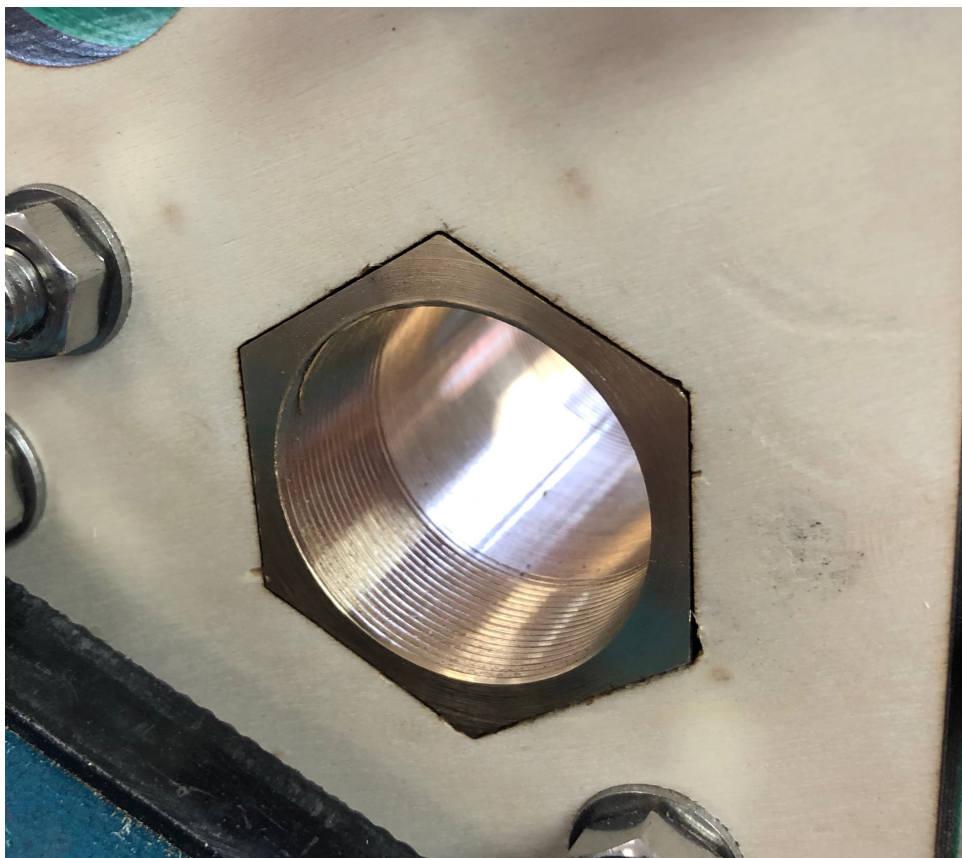


Figura 74. Casquillo hexagonal para alojar el eje de pedalier. Fuente: (elaboración propia)

En la figura 75 se puede observar la imagen de la bicicleta montada con el cuadro evolución5.



Figura 75. Imagen del prototipo evo5. Fuente: (elaboración propia)

La prueba en dinámico de la evo5 muestra un comportamiento de pandeo, similar al de la evo4, en la parte delantera de la bicicleta. Esto puede ser debido al hecho de reforzar la parte trasera, que consigue que la parte delantera se muestre más blanda.

Para evitar este efecto, que hace que la bicicleta sea imposible de conducir, se han realizado rediseños en el modelo y se ha fabricado la evo6. En este último modelo se han añadido dos refuerzos estructurales entre las dos láminas principales, unidos mediante machihembrados a estas, que evitan el pandeo. Estos refuerzos estructurales se pueden observar en las figuras 76 y 77. Además, se ha añadido el tercer triángulo entre el triángulo principal del cuadro y el apéndice para el sillín, de esta manera se transmite de manera más equitativa el peso apoyado en el sillín (figura 76).



Figura 76. Refuerzos estructurales y tercer triángulo prototipo evo6. Fuente: (elaboración propia)



Figura 77. Refuerzo estructural inferior prototipo evo6. Fuente: (elaboración propia)

En la pieza impresa en 3D que soporta el sillín se ha añadido un tornillo más, sumando dos en total. A más, esta pieza se ha rediseñado y se ha hecho más larga y a la hora de fabricarla se ha impreso con un 50% de relleno interno.

Esta última evolución es la utilizada para realizar el prototipo final.

Para finalizar se muestra en la tabla 2 como resumen, las distintas modificaciones que han ido actualizando las distintas evoluciones del cuadro de la bicicleta.

Evolución del prototipo	Modificaciones
EVO1	Maqueta fabricada a escala 1:3.33 para validar el diseño inicial
EVO2	Modificación de las punteras traseras de las vainas. Incorporación de soporte para el sillín en la pieza central. Modificación del nº de tornillos del conjunto. Maqueta fabricada a escala 1:3.33 Prototipo fabricado a escala real
EVO3	Rediseño de la pieza delantera. Aumento del % de relleno de las piezas impresas en 3D. Ajuste del diámetro del alojamiento de la dirección. Modificación de la posición de los tornillos en la pieza de la dirección.
EVO4	Refuerzos en las piezas impresas en 3D que soportan las vainas traseras. Nervios añadidos a las vainas traseras machiembrados y encolados. Ajuste de los diámetros de alojamiento de la rueda trasera
EVO5	Sustitución del soporte del sillín de la EVO2 por una pieza más, impresa en 3D y soportada por dos apéndices de los triángulos principales. Introducción del casquillo para el eje de pedalier.
EVO6	Refuerzos estructurales entre las dos láminas principales.

	<p>Rediseño del tercer triángulo entre el apéndice del sillín y el triángulo principal.</p> <p>Rediseño y reimpresión al 50% de la pieza que soporta el sillín.</p> <p>Montaje final.</p>
--	---

Tabla 2. Resumen de la fase de prototipado del cuadro de la bicicleta. Fuente: (elaboración propia)

4.6. Relación contextual usuario-producto

La relación que se busca entre el usuario y el producto es la combinación entre que el producto sea usable y que además genere una gran experiencia de usuario.

La primera parte, la usabilidad del producto, esta lograda gracias al trabajo y al estudio realizado sobre el proyecto para que la bicicleta se viable estructuralmente y validada mecánicamente.

La segunda parte del tándem perfecto esta conseguida ya que supone una interactividad previa a su uso, en la fabricación, en la que interviene la creatividad del propio usuario al evolucionar el modelo y el aprendizaje con nuevas técnicas de fabricación como las existentes en un Fablab.

De esta manera se logra una combinación perfecta para el usuario al que está enfocado este producto.

5. Resultados

5.1. Descripción del prototipo final

La descripción del prototipo final de la bicicleta comienza con el nombre que se le ha otorgado a esta y mostrando su logotipo. Se le ha bautizado como FabBike y el logotipo es el siguiente que se muestra en la figura 78:

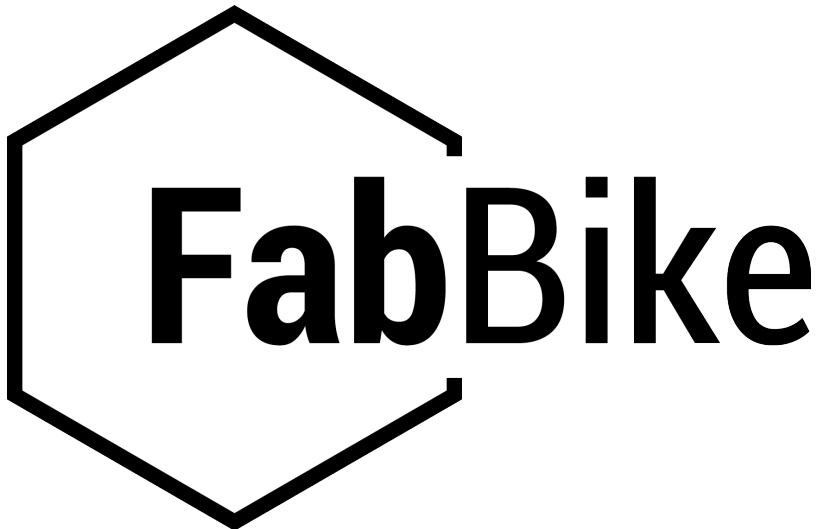


Figura 78. Nombre y logotipo del prototipo final. Fuente: (elaboración propia)

Tras conocer su nombre se procede a mostrar en las figuras siguientes los detalles finales del prototipo, estos corresponden a la evolución 5 de la bicicleta.

En la figura 79 se muestra la parte frontal de la bicicleta, con 5 tornillos de métrica 8 que abrazan los dos triángulos principales de la bicicleta a través de una pieza impresa en 3D la cual también sirve de soporte para la dirección. Estos 5 tornillos abrazan por la parte delantera y trasera la horquilla de la dirección para reforzar y evitar que la pieza sufra roturas.



Figura 79. Parte frontal de la bicicleta. Fuente: (elaboración propia)

A continuación, se muestra en la figura 80 la pieza central de la bicicleta, impresa en 3D, en la cual se unen los dos triángulos de las vainas traseras con los dos triángulos principales por medio de 5 tornillos de métrica 8. Además, esta pieza tiene un refuerzo añadido para evitar el pandeo de los triángulos traseros y unos machihembrados para conectarse con los nervios añadidos a estos triángulos para el mismo fin.



Figura 80. Pieza central de la bicicleta impresa en 3D con refuerzos añadidos. Fuente: (elaboración propia)

En la misma zona aparecen de los dos triángulos centrales dos apéndices que sirven de soporte para la tija del sillín, como se puede ver en la figura 81. Esta se ajusta mediante una pieza impresa en 3D que va sujeta a estos dos apéndices y a la tija del sillín mediante dos tornillos de métrica 5 también. Esta última modificación se ha añadido al final ya que la pieza se balanceaba al añadirle peso.



Figura 81. Soporte para la tija del sillín. Fuente: (elaboración propia)

En la zona del pedalier, figura 82, se puede observar el casquillo de bronce torneado que atraviesa la pieza de impresión 3D, reforzada y machihembrada igual que la superior, que une en la parte inferior los dos triángulos principales con los dos triángulos de las vainas traseras. Esta parte está unida mediante 9 tornillos métrica 8 que compacta todo el conjunto. En el casquillo se puede ver roscado el eje, y en este eje las bielas con sus pedales.



Figura 82. Parte inferior central de la bicicleta. Fuente: (elaboración propia)

Las vainas traseras que aparecen en la figura 83, están reforzadas con dos nervios cada una para evitar la flexión de las mismas en las curvas. Estos triángulos que forman las vainas también tienen los orificios donde se va a montar la rueda trasera. Este agujero tiene forma de coliso para el ajuste de la tensión de la cadena. Para conseguir que la rueda apoye totalmente plana en estos triángulos, se han diseñado 4 piezas que corrigen el ángulo de apertura que tienen los triángulos, se pueden observar en la figura 84.



Figura 83. Vainas reforzadas con nervios de refuerzo. Fuente: (elaboración propia)



Figura 84. Piezas para el centrado del buje trasero. Fuente: (elaboración propia)

En la figura 85 se puede observar el cuadro de la bicicleta en su totalidad montado con las piezas recicladas de una bicicleta antigua.



Figura 85. Prototipo final completo. Fuente: (elaboración propia)

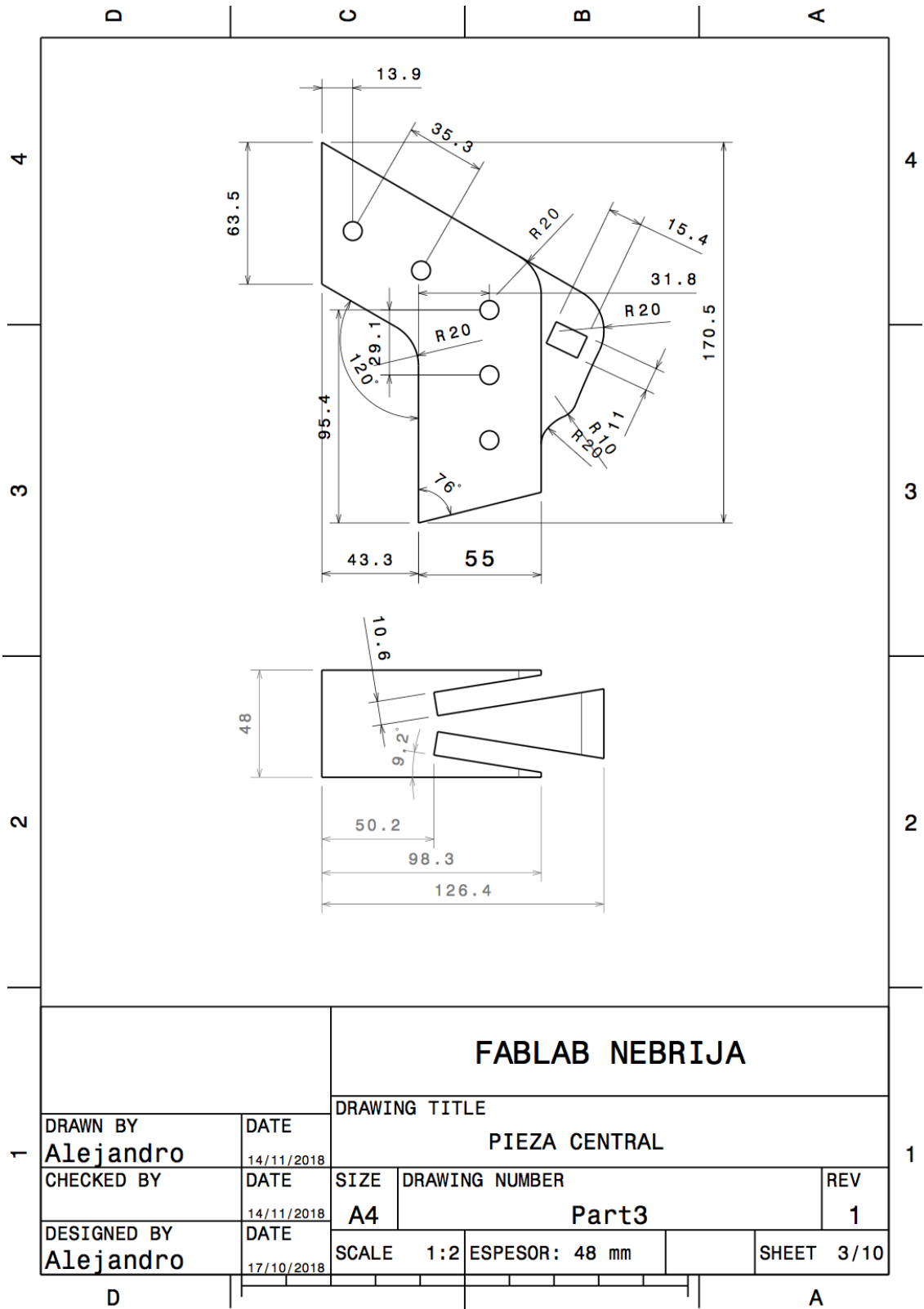


Figura 88. Plano de la pieza central que empaqueta el cuadro. Fuente: (elaboración propia)

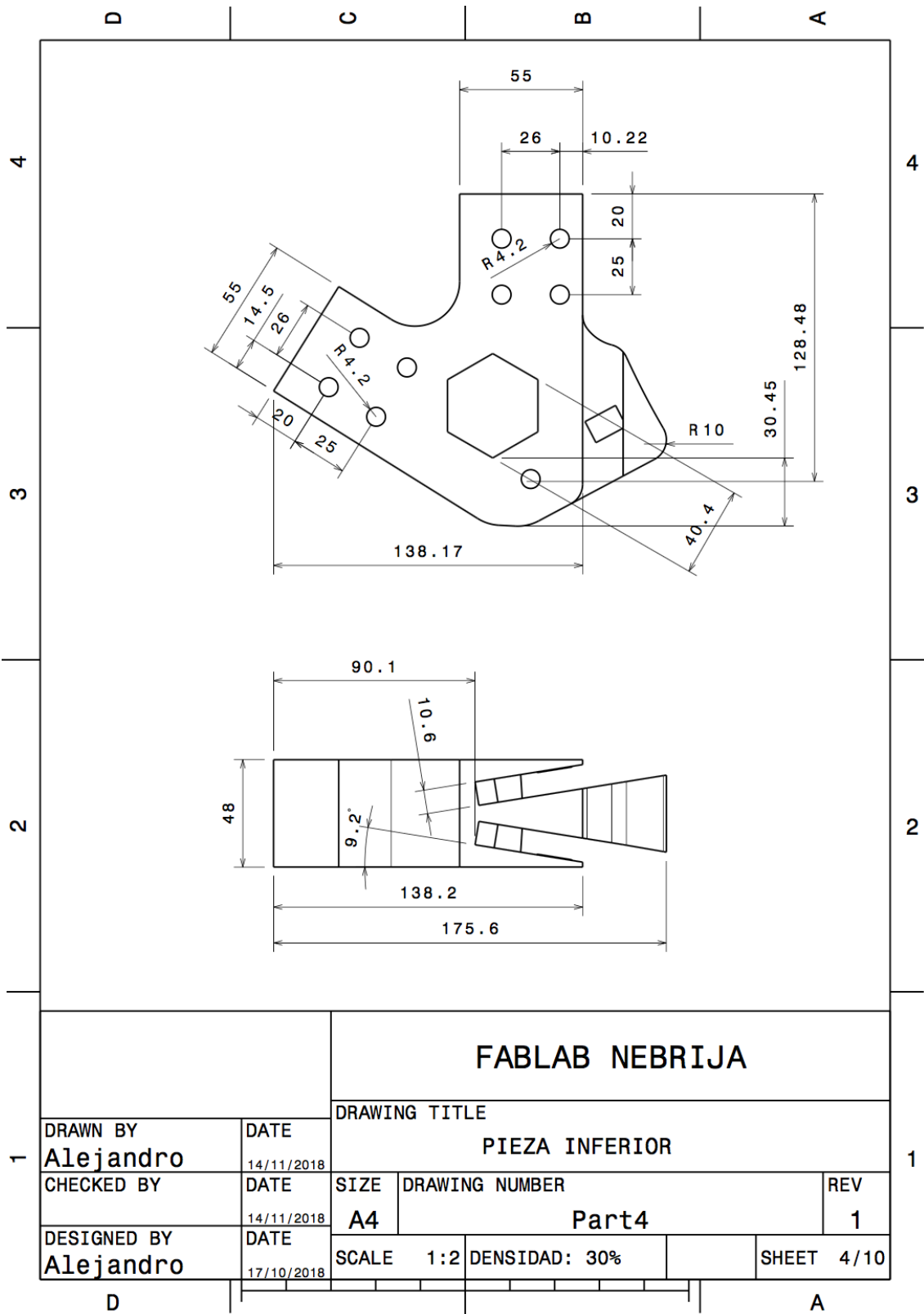


Figura 89. Plano de la pieza inferior que empaqueta el cuadro. Fuente: (elaboración propia)

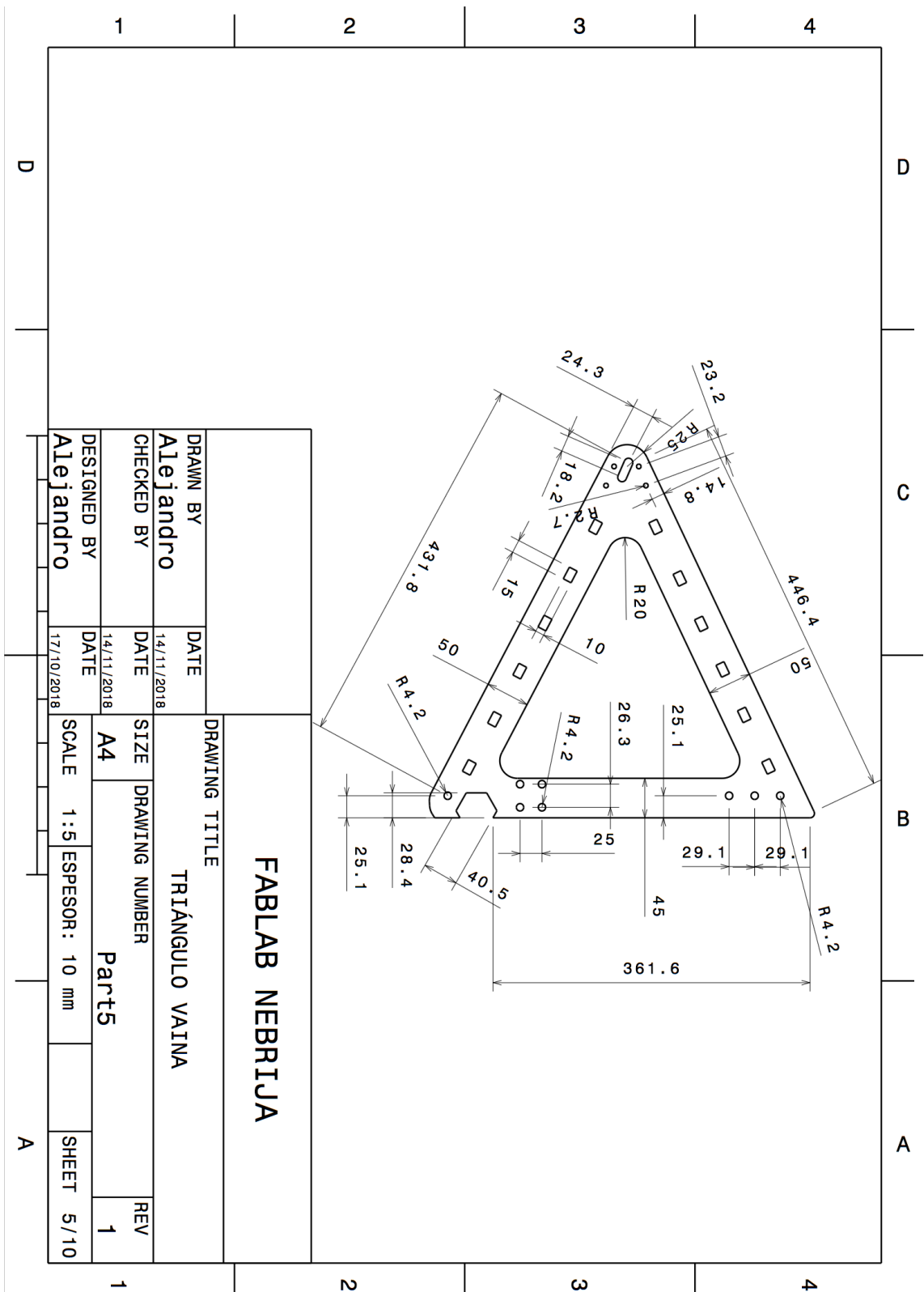


Figura 90. Plano del triángulo que forma la vaina trasera. Fuente: (elaboración propia)

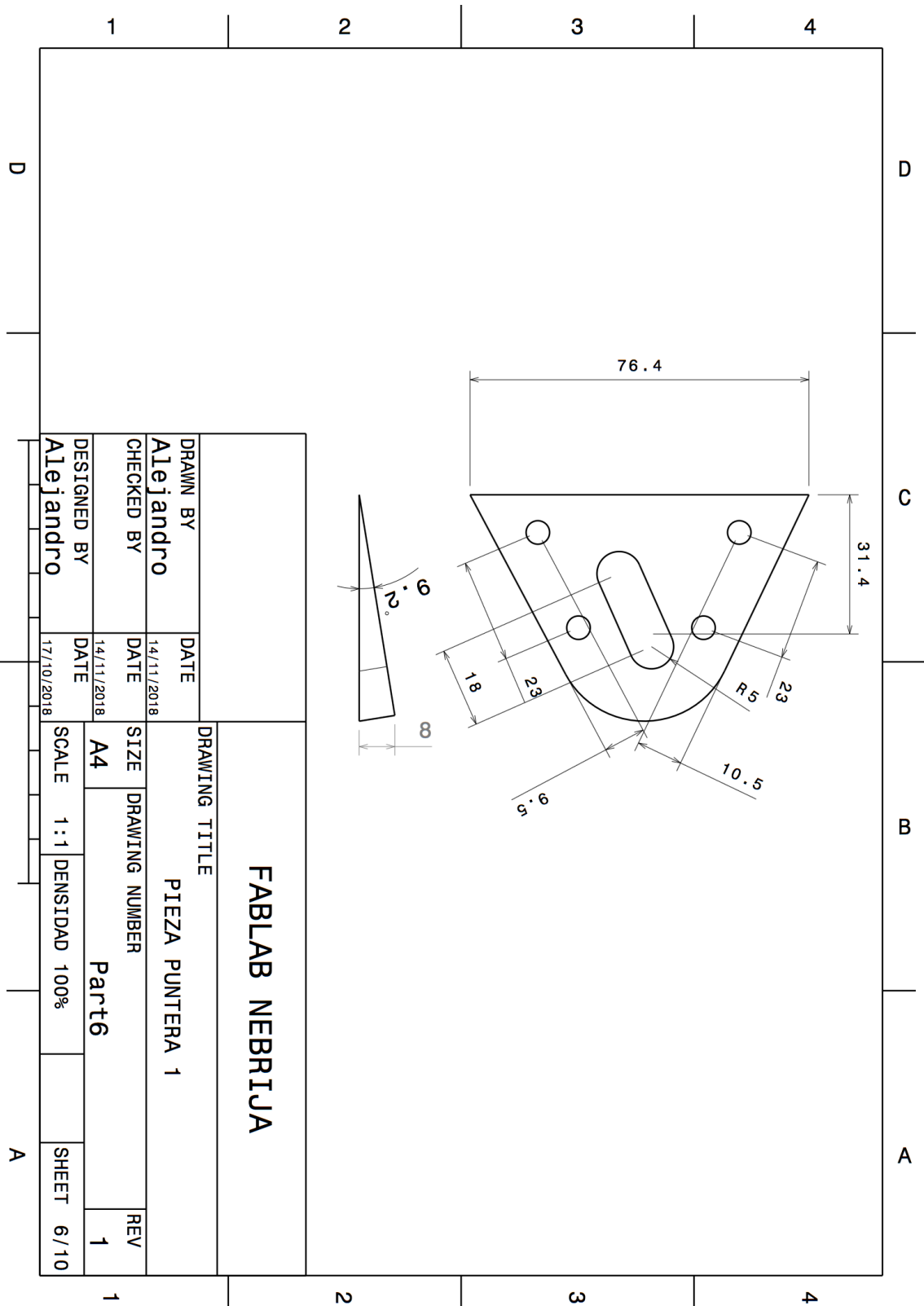


Figura 91. Plano de la puntera 1 donde apoya la rueda. Fuente: (elaboración propia)

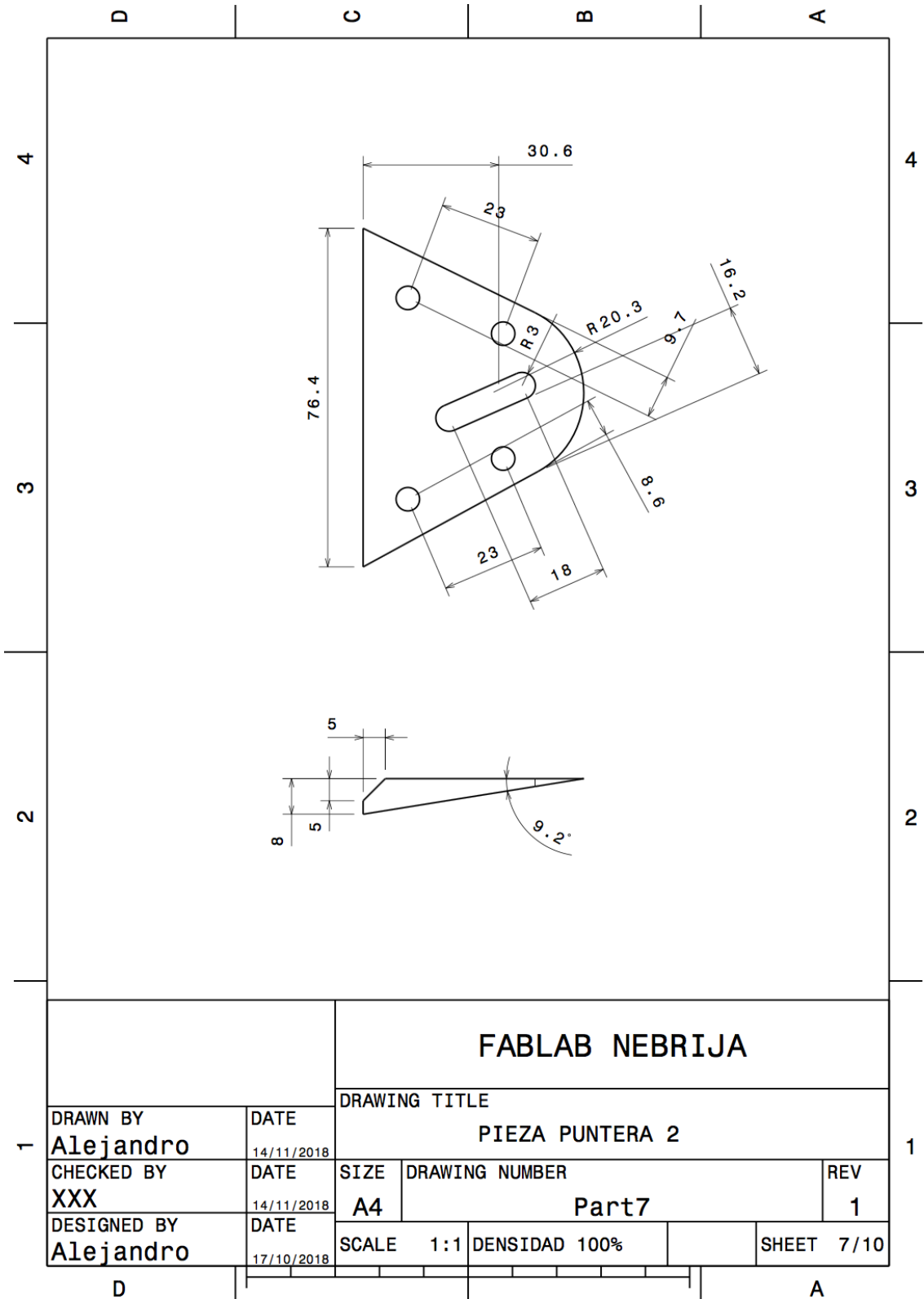


Figura 92. Plano de la puntera 2 donde apoya el eje de la rueda. Fuente: (elaboración propia)

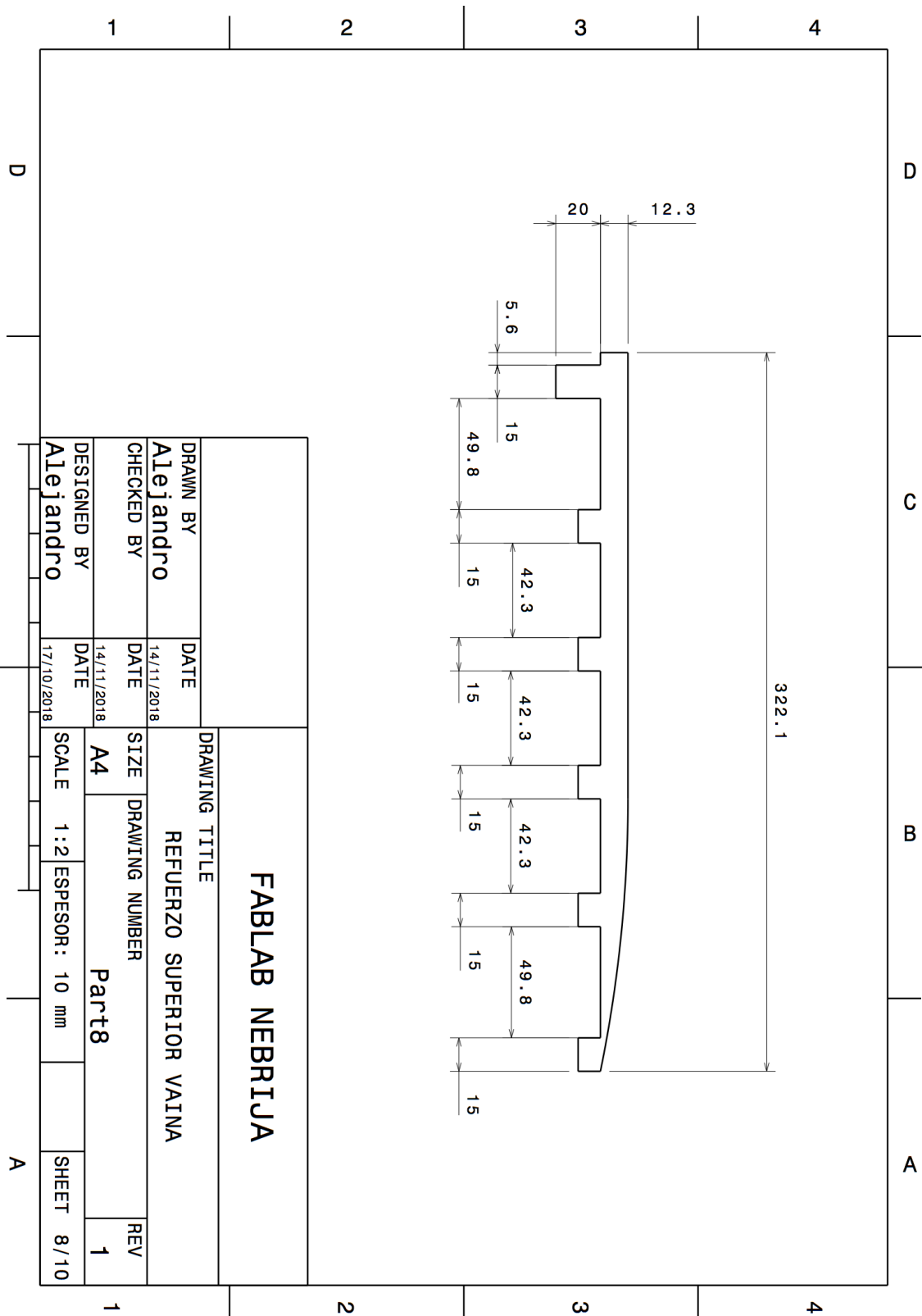


Figura 93. Plano del refuerzo superior de la vaina. Fuente: (elaboración propia)

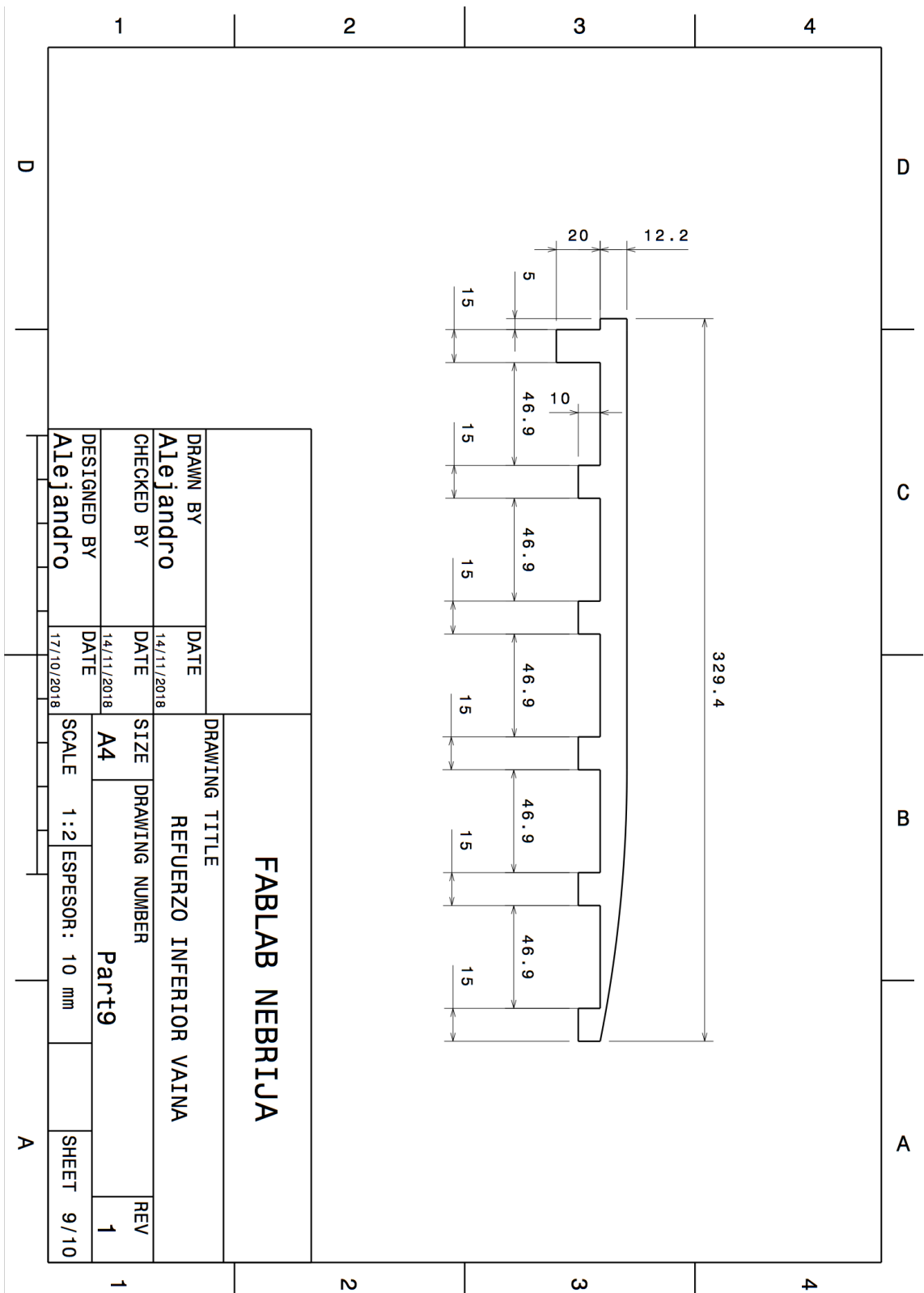


Figura 94. Plano del refuerzo inferior de la vaina. Fuente: (elaboración propia)

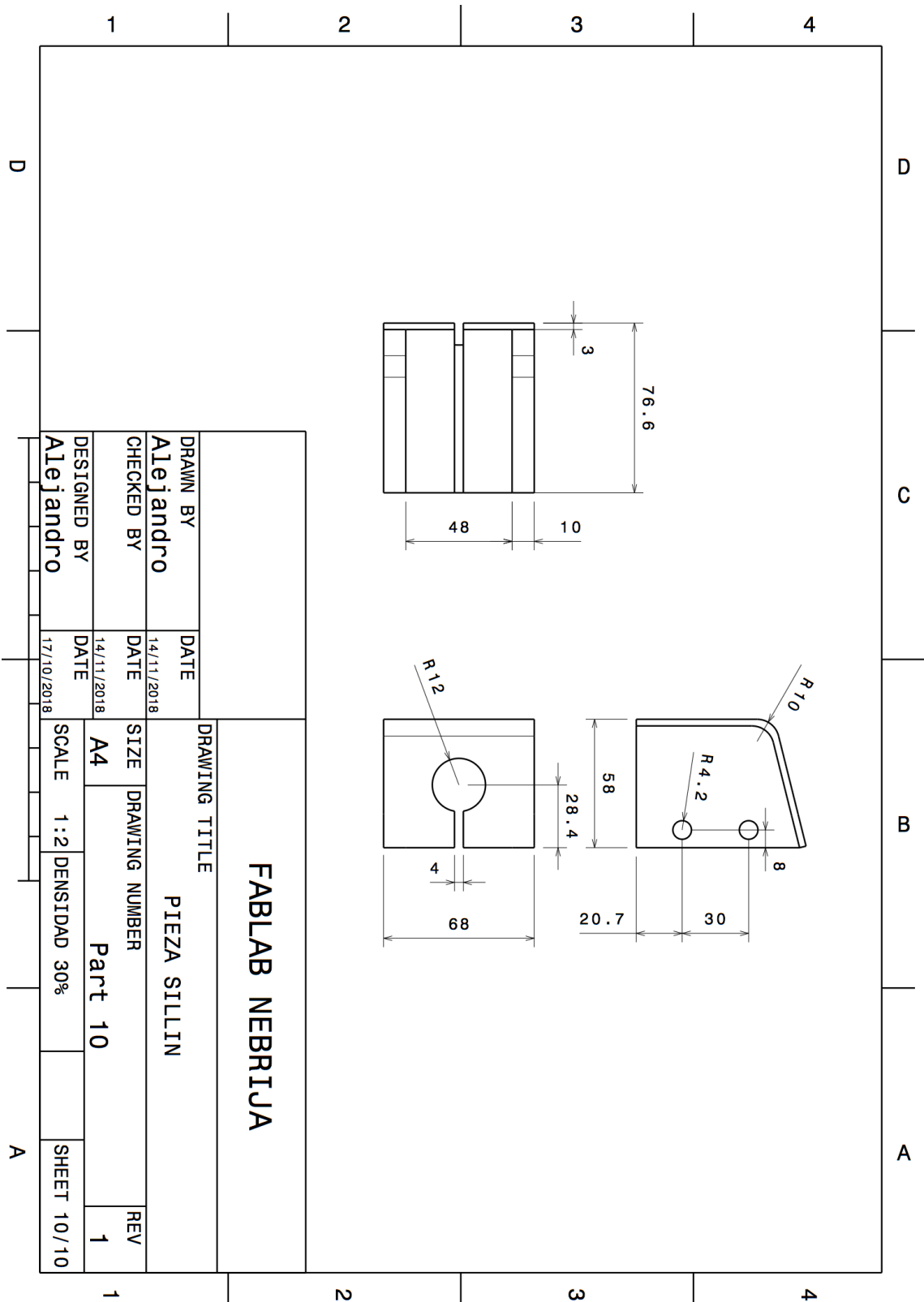


Figura 95. Plano de la pieza donde se inserta la tija del sillín. Fuente: (elaboración propia)

5.3. Presupuesto

En este punto se ha añadido el presupuesto empleado para la realización del proyecto, contando con la investigación y las pruebas de prototipo que conlleva. La mayor parte del presupuesto empleado ha sido en materiales ya que los componentes empleados como ruedas, manillar etc se ha reciclado de una bicicleta antigua. El lugar de fabricación en este caso ha sido el propio Fablab Nebrija, por lo que no conlleva ninguna cuota de suscripción.

Los materiales empleados y el precio de estos han sido:

PRESUPUESTO PROYECTO		
Material	Dimensiones	Precio
Madera MDF	1200x600x3 mm	2,29 €
Tablero contrachapado	1200x600x10 mm (4 unidades)	32,4 €
Plástico PLA (impresión 3D)	1 kg (2 unidades)	32,9 €
Casquillo hexagonal bronce	40x200 mm	22 €
Bote de barniz/ tapa poros	0,75 l	4,3 €
Brocha		1,4 €
Caja de lijas	Grano 240	2,95 €
Tornillos + tuercas	M6x60 (20 unidades)	15 €
TOTAL		113,24 €

Tabla 3. Presupuesto general del proyecto. Fuente: (elaboración propia)

El siguiente presupuesto que se muestra en la tabla 4, sería un presupuesto para la realización de este mismo proyecto sin la necesidad de realizar la investigación. Estos presupuestos pueden variar en función del material que se use para las piezas de impresión 3D, en función del material que se utilice para el corte láser y también en función del acabado que se le quiera dar al conjunto. Además, en este presupuesto también se incluye una cuota mensual de inscripción al Makespace Madrid, que se

trata de una asociación con infraestructura suficiente para llevar a cabo el proyecto de forma libre.

PRESUPUESTO PROYECTO		
Material	Dimensiones	Precio
Cuota Makespace Madrid	1 mensualidad	30 €
Tablero contrachapado	1200x600x10 mm (2 unidades)	16,2 €
Plástico PLA (impresión 3D)	1 kg	16,45 €
Casquillo hexagonal bronce	40x70 mm	7,33 €
Bote de barniz/ tapa poros	0,75 l	4,3 €
Brocha		1,4 €
Caja de lijas	Grano 240	2,95 €
Tornillos + tuercas	M6x60 (20 unidades)	15 €
TOTAL		93,63 €

Tabla 4. Presupuesto para un proyecto sin investigación y prototipos. Fuente: elaboración propia

5.4. Licencia y protección del proyecto

La protección del proyecto se basa en una licencia de tipo Creative Commons basada en la premisa tradicional de “todos los derechos reservados” que las leyes de propiedad intelectual establecen. Esta licencia proporciona herramientas, que de una forma simple y estandarizada otorga permisos legales a esta obra creativa. Dentro de este tipo de licencias hay una amplia variedad.

Para el proyecto que se ha llevado a cabo se ha seleccionado una licencia de tipo: CC BY-NC-SA. Esta licencia se trata de una licencia reconocimiento-No comercial- Compartir igual, que reconoce la autoría del proyecto, permite a otros entremezclar, ajustar y construir a partir de su obra con fines no comerciales, siempre y cuando reconozcan la

autoría y sus nuevas creaciones estén bajo una licencia con los mismos términos que esta.

El logotipo que detalla el tipo de licencia sobre el que se soporta todo el proyecto para su protección es el que aparece en la figura 96.



Figura 96. Logotipo de la licencia CC BY-NC-SA. Fuente: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Tanto en esta memoria del proyecto como en el cuadro de la bicicleta podemos observar este logo identificativo que señala la licencia de protección de todo el conjunto.

6. Conclusiones

Como se indica al comienzo del trabajo, el objetivo inicial del proyecto es diseñar una bicicleta con tecnología Fablab y con carácter de código abierto para su ilimitada reproducción a través de medios digitales. A lo largo del trabajo se observa un denominador común, la iteración y puesta a prueba del diseño. Al principio el diseño se conceptualizó desde el punto de vista más estético y se observa como el prototipo evoluciona hacia una versión cuyas propiedades mecánicas predominan sobre la apariencia exterior. Aun así, no se pierde de vista el objetivo inicial indicado con anterioridad.

Hay que tener en cuenta que las tecnologías aplicadas están en pleno desarrollo e investigación lo que implica la mínima existencia de recursos para la fabricación de este tipo de productos como son las bicicletas. Por tanto, la investigación también se ha utilizado en los métodos de fabricación.

La investigación se basó en realizar las primeras evoluciones del diseño en maquetas a pequeña escala para asegurar tanto las proporciones como el ajuste entre las piezas. Los resultados se aplicaron a escala real lo que no significó la resolución del prototipo final ya que la mayor parte de las piezas tuvieron que ser evolucionadas.

Las principales dificultades encontradas han sido: la incorporación del soporte del sillín en el cuadro, teniendo que buscar la zona idónea de unión con el resto del cuadro, así como la pieza de sujeción del mismo debido al ajuste que su función requiere. El ajuste de la dirección ya que este requiere un ajuste perfecto con las piezas y la impresión 3D complica la precisión necesaria para este ajuste en la fabricación de las piezas. El montaje del pedalier en el cuadro supone el roscado de casquillos en el mismo, por tanto, se encuentra una gran dificultad a la hora de imprimir con precisión estas roscas en el plástico, por eso se recurre a la inserción

de un casquillo torneado para este fin y este hecho supone la dificultad de utilizar una herramienta externa a la fabricación digital.

En resumen, como conclusión final, la mayor dificultad está en el uso de las herramientas digitales para la completa fabricación de este producto y la adaptación del diseño de un producto de fabricación convencional a fabricación con herramientas digitales. También cabe resaltar que los arquetipos descritos con anterioridad serían unos claros usuarios potenciales de este proyecto en su vida y aceptarían el reto de llevar a cabo este proyecto si tuviesen acceso a un Fablab con las herramientas que se han descrito para la fabricación de este.

7. Líneas futuras

Como principal línea futura de trabajo se va a generar un archivo completo del proyecto y se va a poner en abierto a través del Fablab de la Universidad Antonio de Nebrija para que todo el mundo tenga acceso a él y puedan contribuir en su evolución.

Este archivo también va a servir para que los usuarios que tengan acceso al proyecto puedan fabricarse su propio modelo de bicicleta y puedan modificarlo y evolucionarlo animándoles a que se centren en perfeccionar el cálculo por elementos finitos para introducir las uniones mediante tornillos para calcular las cortantes y también calcular las tensiones perpendiculares que pueden afectar a las piezas impresas en 3D ya que pueden delaminarse si se quisiera optimizar esta impresión.

También se va a seguir trabajando en este proyecto para presentarlo al proyecto creado por DIMAD, Producto Fresco, para la edición 2019. De esta manera se buscará presentar al público el Fablab Nebrija a través de este vistoso producto.

Con esta presentación también se buscará ganar usuarios que desarrollen el proyecto como ya se ha explicado.

8. Bibliografía

1. Bramston, D. (2010). *De la idea al producto. [Texto impreso]*. Barcelona: Parramón Ediciones, 2010.
2. Callister, W. D. (1940-), & Rethwisch, D. G. (2016). *Ciencia e ingeniería de los materiales. [Texto impreso]*. Barcelona: Reverté, 2016.
3. Chaves, N. (1942-). (2001). *El Oficio de diseñar. [Texto impreso]: propuestas a la conciencia crítica de los que comienzan.* Barcelona; Naucalpán (México): Gustavo Gili, D.L. 2001.
4. Falzon, P. (2009). *Manual de ergonomía. [Texto impreso]*. Madrid: Modus Laborandi, 2009.
5. Félez Midán, J. (1996). *Fundamentos de ingeniería gráfica. [Texto impreso]*. Madrid: Síntesis, DL 1996.
6. Félez Midán, J., & Martínez Muneta, M. L. (1999). *Dibujo industrial. [Texto impreso]*. Madrid: Síntesis, 1999.
7. Lambas Pérez, J. (2006). *Diseño gráfico con CATIA. [Texto impreso]: curso práctico con módulos Sketcher y Part Design.* Madrid: Ra-Ma, 2006.
8. Martell Pérez, J., Ramón Moliner, P., & Rodríguez de Torres, A. (1976). *Elementos de máquinas. [Texto impreso]*. Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia, 1976.
9. Norman, D. A. (2002). *The design of everyday things. [Texto impreso]*. [New York] : Basic Books , 2002.

10. Shackelford, J. F. (2010). *Introducción a la ciencia de los materiales para ingenieros*. [Texto impreso]. London [etc.]: Prentice Hall, 2010.
11. Smith, W. F. (1931-), & Hashemi, J. (1961-). (2014). *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales*. [Recurso electrónico]. México [etc.]: McGraw-Hill, cop. 2014.
12. Torrecilla Insagurbe, E. (2012). *El gran libro de Catia*. [Texto impreso]. Barcelona: Marcombo, 2012.