



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

Diseño y fabricación de prototipo en SLS de soporte y tubo  
de dirección de ángulo graduable para bicicletas

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería del Diseño

AUTOR/A: Graterol Barragan, Guillermo Andres

Tutor/a: Songel González, Gabriel

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023

**DISEÑO Y FABRICACIÓN DE PROTOTIPO EN SLS DE SOPORTE Y TUBO DE  
DIRECCIÓN DE ÁNGULO GRADUABLE PARA BICICLETAS**

**Autor. Guillermo Andrés Graterol Barragan.**

**Tutor académico. Gabriel Songel, PhD.**

**Universitat Politècnica de València**

**Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Diseño**

**Máster en Ingeniería del Diseño**

**Curso académico 2022-2023**

**Valencia, 17 de julio de 2023**

## DISEÑO Y FABRICACIÓN DE PROTOTIPO EN SLS DE SOPORTE Y TUBO DE DIRECCIÓN DE ÁNGULO GRADUABLE PARA BICICLETAS

**Autor:** Guillermo A. Graterol B.

**Tutor académico:** Gabriel Songel, PhD

Trabajo final de máster, Escuela técnica superior de ingeniería de diseño (ETSID), Valencia,  
Julio de 2023

**Palabras clave:** Bicicleta, tubo de dirección, ángulo graduable, diseño, impresión 3D, impresión SLS, prototipado

**Resumen:** El trabajo de investigación se enfoca en el diseño y fabricación de un prototipo que proporciona un ajuste de ángulo graduable al tubo de dirección de una bicicleta, con el objetivo de ofrecer versatilidad al ciclista. El enfoque principal radica en desarrollar una solución que permita a los ciclistas ajustar el ángulo de dirección de su bicicleta según sus preferencias, tipo de terreno y necesidades. El proceso de diseño se basó en un análisis de los componentes existentes en el mercado y las limitaciones que estos componentes convencionales presentan. Se propuso una solución que incorpora un mecanismo de ajuste eficiente y seguro, permitiendo al ciclista adaptar el manejo de la bicicleta a diferentes terrenos y estilos de conducción. La fabricación del prototipo se llevó a cabo utilizando impresión 3D, aprovechando las ventajas de la fabricación aditiva para lograr una mayor personalización y rapidez en la producción. Se seleccionaron materiales adecuados que brindan resistencia y durabilidad, asegurando la integridad del prototipo en condiciones de uso exigentes. Se realizó el montaje y pruebas de manejo para evaluar el rendimiento y la funcionalidad del prototipo. Se llevaron a cabo pruebas de resistencia, rigidez y durabilidad, así como pruebas de ajuste y maniobrabilidad del ángulo de dirección. Los resultados obtenidos demostraron que el prototipo cumple con los requisitos establecidos y ofrece un rendimiento satisfactorio. Se espera que este trabajo sienta las bases para futuras investigaciones en el campo del diseño de bicicletas con mayor flexibilidad y adaptabilidad a las necesidades individuales de los ciclistas.

## Índice general

<b>Introducción .....</b>	<b>10</b>
<b>1. Capítulo I: Fundamentos de la Investigación .....</b>	<b>12</b>
1.1. Justificación del tema .....	12
1.2. Objetivo General .....	13
1.2.1 <i>Objetivos específicos</i> .....	13
1.3. Planteamiento del problema .....	14
1.4. Antecedentes .....	15
1.5. Alcance y limitaciones .....	16
<b>2. Capítulo II: Marco Teórico .....</b>	<b>17</b>
2.1. Anatomía de una bicicleta .....	17
2.2. Geometría interna .....	18
2.2.1 <i>Altura del cuadro</i> .....	18
2.2.2 <i>Alcance del cuadro</i> .....	19
2.2.3 <i>Angulo del tubo de sillín</i> .....	19
2.3. Geometría Externa .....	20
2.3.1 <i>Angulo de tubo de dirección</i> .....	20
2.3.2 <i>Inclinación/desviación de la horquilla</i> .....	21
2.3.3 <i>Rastro o Trail</i> .....	22
2.3.4 <i>Distancia entre ejes</i> .....	24
2.3.5 <i>Elevación del eje de pedalier</i> .....	24
2.4. Longitud efectiva de tubo superior.....	25
2.5. Longitud de tubo de dirección.....	26
2.6. Longitud de tubo de sillín.....	27
2.7. Longitud de vaina .....	27
2.8. Las bicicletas de carretera.....	28
2.8.1 <i>Bicicletas escaladoras</i> .....	29
2.8.2 <i>Bicicletas aero</i> .....	29
2.8.3 <i>Bicicletas gran fondo o “endurance”</i> .....	29
2.8.4 <i>Bicicletas triatlón</i> .....	29
2.9. Bicicletas de montaña o “MTB” .....	30
2.9.1 <i>Bicicletas rally XC</i> .....	30
2.9.2 <i>Bicicletas XC maratón</i> .....	30
2.9.3 <i>Bicicletas enduro</i> .....	30



2.9.4	<i>Bicicletas downhill</i> .....	31
2.10.	La impresión 3D .....	31
	<i>La impresión SLS</i> .....	31
2.10.1	<i>Beneficios de la impresión SLS:</i> .....	32
2.10.2	<i>Desventajas de la impresión SLS:</i> .....	32
2.11.	Método de elementos finitos.....	33
<b>3.</b>	<b>Capítulo III: Metodología</b> .....	<b>34</b>
3.1.	Metodología de investigación .....	34
3.2.	Metodología de diseño .....	35
<b>4.</b>	<b>Capítulo IV: Desarrollo de prototipos</b> .....	<b>37</b>
4.1.	Investigación inicial (Descubrir).....	37
4.2.	Parámetros de diseño (Definir).....	42
4.3.	Desarrollo e iteración (Desarrollar).....	45
4.3.1	<i>Comparación de productos similares en el mercado</i> .....	45
4.3.2	<i>Análisis de patentes relacionadas con el proyecto</i> .....	48
4.3.3	<i>Bocetos iniciales</i> .....	50
4.3.4	<i>Revisión de boceto #01</i> .....	52
4.3.4.1	Descripción.....	52
4.3.4.2	Desventajas.....	53
4.3.4.3	Recomendaciones de mejora .....	53
4.3.5	<i>Revisión de boceto #02</i> .....	54
4.3.5.1	Descripción.....	54
4.3.5.2	Desventajas.....	55
4.3.5.3	Recomendaciones de mejora .....	55
4.3.6	<i>Revisión de boceto #03</i> .....	56
4.3.6.1	Descripción.....	56
4.3.6.2	Desventajas.....	56
4.3.6.3	Recomendaciones de mejora .....	57
4.3.7	<i>Prototipos v1 y v2</i> .....	57
4.3.7.1	Prototipo v1 .....	58
4.3.7.2	Prototipo v2 .....	59
4.3.8	<i>Prototipos v3 y v4</i> .....	59
4.3.8.1	Prototipo v3 .....	60
4.3.8.2	Prototipo v4 .....	62
4.3.9	<i>Prototipo v5</i> .....	65

4.3.10	<i>Prototipo v6</i> .....	71
4.3.11	<i>Prototipo v7</i> .....	77
<b>5.</b>	<b>Capítulo V: Resultados</b> .....	<b>85</b>
5.1.	Geometría con ángulo de inclinación a 73 grados. ....	85
5.2.	Geometría con ángulo de inclinación a 68 grados. ....	86
5.3.	Geometría con ángulo de inclinación a 63 grados. ....	87
5.4.	Simulación de esfuerzos sobre tubo de dirección y base. ....	88
5.4.1	<i>Escenario #01: Impacto sobre rueda frontal.</i> ....	89
5.4.2	<i>Escenario #02: Transferencia de fuerzas sobre tubo de dirección.</i> ....	94
5.4.3	<i>Escenario #03: Escalando sobre asiento.</i> ....	97
<b>6.</b>	<b>Capítulo VI: Conclusión</b> .....	<b>102</b>
<b>7.</b>	<b>Capítulo VII: Recomendaciones</b> .....	<b>104</b>
	<b>Bibliografía</b> .....	<b>105</b>
	<b>Anexo</b> .....	<b>108</b>

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b>	Comparación de geometría de bicicletas de diferentes especialidades.....	41
<b>Tabla 2.</b>	Comparación de diferencia de medidas de geometrías.....	42
<b>Tabla 3.</b>	Comparación de geometría entre bicicletas de carretera y montaña.....	43
<b>Tabla 4.</b>	Comparativa de productos modulares en el mercado. ....	46

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Anatomía de una bicicleta. ....	17
<b>Figura 2.</b> Altura “Stack” del cuadro. ....	18
<b>Figura 3.</b> Alcance “Reach” del cuadro. ....	19
<b>Figura 4.</b> Angulo de tubo de sillín. ....	20
<b>Figura 5.</b> Angulo de tubo de dirección. ....	21
<b>Figura 6.</b> Inclinación de la horquilla. ....	22
<b>Figura 7.</b> Rastro o Trail de una bicicleta. ....	22
<b>Figura 8.</b> Variación en el rastro según combinación de ángulo de dirección e inclinación. ....	23
<b>Figura 9.</b> Distancia entre ejes de una bicicleta. ....	24
<b>Figura 10.</b> Elevación del eje de pedalier. ....	25
<b>Figura 11.</b> Longitud efectiva de tubo superior. ....	26
<b>Figura 12.</b> Longitud de tubo de dirección. ....	26
<b>Figura 13.</b> Longitud de tubo de sillín. ....	27
<b>Figura 14.</b> Longitud de vaina. ....	28
<b>Figura 15.</b> Método de diseño doble diamante. ....	36
<b>Figura 16.</b> Numero de bicicletas vendidas en UE desde 2018 a 2021 por país (en volumen de 1000 unidades). ....	37
<b>Figura 17.</b> Radar de compañías de la industria de bicicletas. ....	39
<b>Figura 18.</b> Potencia ajustable Shimano. ....	47
<b>Figura 19.</b> Sistema mino link de Trek. ....	48
<b>Figura 20.</b> Dasson y col. (2007). Adjustable frame bicycle. ....	49
<b>Figura 21.</b> Chao, H. (2013). Bicycle frame structure capable of adjusting length and angle. ....	49
<b>Figura 22.</b> Bocetos iniciales. ....	50
<b>Figura 23.</b> Bocetos iniciales 2. ....	50
<b>Figura 24.</b> Bocetos iniciales 3. ....	51
<b>Figura 25.</b> Bocetos iniciales 4. ....	51
<b>Figura 26.</b> Bocetos iniciales 5. ....	51
<b>Figura 27.</b> Revisión de bocetos #01. ....	52
<b>Figura 28.</b> Revisión de boceto #02. ....	54
<b>Figura 29.</b> Revisión de boceto #03. ....	56
<b>Figura 30.</b> Modelo de cartón por fricción (Quick reléase). ....	58
<b>Figura 31.</b> Modelo de cartón con uniones dentadas (tornillo y tuerca mariposa). ....	59

<b>Figura 32.</b> Prototipo v3 modelo 3D. ....	60
<b>Figura 33.</b> Prototipo v3 modelo impreso en PLA. ....	61
<b>Figura 34.</b> Prototipo v4 modelo 3D. ....	62
<b>Figura 35.</b> Prototipo v4 modelo impreso en PLA. ....	63
<b>Figura 36.</b> Bicicleta base para modelado de piezas.....	64
<b>Figura 37.</b> Medidas de referencia tubo superior e inferior.....	65
<b>Figura 38.</b> Medidas de referencia tubo de dirección. ....	66
<b>Figura 39.</b> Modelo 3D prototipo v5. ....	67
<b>Figura 40.</b> Pasador prototipo v5. ....	68
<b>Figura 41.</b> Base prototipo v5. ....	68
<b>Figura 42.</b> Tubo de dirección prototipo v5.....	69
<b>Figura 43.</b> Diagrama de encaje de base y tubos extensores. ....	70
<b>Figura 44.</b> Boceto de base de prototipo v6.....	71
<b>Figura 45.</b> Boceto de tubo de dirección prototipo v6.....	72
<b>Figura 46.</b> Modelo 3D prototipo v6. ....	73
<b>Figura 47.</b> Pasador prototipo v6. ....	74
<b>Figura 48.</b> Base prototipo v6. ....	74
<b>Figura 49.</b> Tubos soporte v6.....	75
<b>Figura 50.</b> Tubo de dirección prototipo v6.....	76
<b>Figura 51.</b> División de base prototipo v6.....	76
<b>Figura 52.</b> Acople de base prototipo v7. ....	78
<b>Figura 53.</b> División de pieza base prototipo v7. ....	79
<b>Figura 54.</b> Pasador prototipo v7. ....	80
<b>Figura 55.</b> Tubo de dirección prototipo v7.....	80
<b>Figura 56.</b> Tapas de ajuste prototipo v7.....	81
<b>Figura 57.</b> Ensamble prototipo v7.....	82
<b>Figura 58.</b> Partes impresas en nylon. ....	82
<b>Figura 59.</b> Instalación de prototipo v7.....	83
<b>Figura 60.</b> Geometría con ángulo de dirección a 73 grados. ....	85
<b>Figura 61.</b> Geometría con ángulo de dirección a 68 grados. ....	86
<b>Figura 62.</b> Geometría con ángulo de dirección a 63 grados. ....	87
<b>Figura 63.</b> DCL para escenario #01.....	89
<b>Figura 64.</b> Sistema de coordenadas.....	90
<b>Figura 65.</b> Restricciones de movimiento.....	90
<b>Figura 66.</b> Simulación escenario 1 a 73 grados (aluminio vs. nylon). ....	91
<b>Figura 67.</b> Puntos de esfuerzo critico (nylon).....	92
<b>Figura 68.</b> Simulación escenario 1 a 63 grados (aluminio vs. nylon). ....	93

<b>Figura 69.</b> Comparación de esfuerzo sobre dirección a 73 grados (escenario #01 vs #02; aluminio).....	94
<b>Figura 70.</b> Comparación de esfuerzo sobre dirección a 63 grados (escenario #01 vs #02; aluminio).....	95
<b>Figura 71.</b> Comparación de esfuerzo sobre dirección (73 vs 63 grados; nylon).....	96
<b>Figura 72.</b> DCL para escenario #03.....	97
<b>Figura 73.</b> Simulación escenario 3, inclinación a 73 grados (aluminio).....	98
<b>Figura 74.</b> Simulación escenario 3, inclinación a 63 grados (aluminio).....	99
<b>Figura 75.</b> Escenario #3, 73 grados (nylon).....	100
<b>Figura 76.</b> Escenario #3, 63 grados (nylon).....	100

## Introducción

En la actualidad, el mundo de las bicicletas ha experimentado un crecimiento significativo, tanto en popularidad como en avances tecnológicos. Cada vez más personas optan por utilizar bicicletas como medio de transporte, ya sea para desplazarse por la ciudad, practicar deporte o simplemente disfrutar de un paseo al aire libre. Este panorama ha generado una creciente demanda de mejoras en el diseño y fabricación de componentes para bicicletas, con el objetivo de ofrecer una experiencia más segura, cómoda y eficiente para los ciclistas.

El uso de bicicletas conlleva numerosos beneficios tanto a nivel individual como a nivel social. El ciclismo contribuye a mejorar la salud cardiovascular, reducir el estrés, fortalecer los músculos y aumentar la resistencia física. Además, el uso de bicicletas como medio de transporte alternativo puede ayudar a reducir los costos asociados a la movilidad, como el combustible y el mantenimiento de los automóviles. Por esta razón, cada vez más países están promoviendo el uso de bicicletas como principal medio de transporte, fomentando un estilo de vida más activo y saludable, beneficiando tanto a los ciclistas como al medio ambiente.

Sin embargo, el aumento en la popularidad de las bicicletas también ha generado un impacto ambiental debido a los desechos generados por las bicicletas convencionales (*BICYCLE-GUIDER, 2022*) creando la necesidad de desarrollar componentes personalizables que se adapten a las preferencias y necesidades individuales de los ciclistas. Actualmente, muchas bicicletas en el mercado ofrecen un conjunto estándar de componentes que pueden no satisfacer plenamente los requerimientos específicos de cada usuario. La personalización de componentes en las bicicletas permite a los ciclistas ajustar aspectos como la geometría, el ángulo de dirección, la altura del sillín y la posición del manillar, entre otros. Esta capacidad de personalización no solo mejora la comodidad y el rendimiento del ciclista, sino que también brinda la oportunidad de crear una experiencia de ciclismo única y adaptada a cada individuo. Con componentes personalizables, los ciclistas

pueden maximizar su disfrute y desempeño en diferentes modalidades de ciclismo, ya sea en rutas de larga distancia, ciclismo de montaña o en el entorno urbano.

En este contexto, el presente trabajo de investigación se enfoca en el diseño y prototipado de un soporte y tubo de dirección con ángulo graduable para una bicicleta, utilizando la tecnología de impresión 3D SLS con polvo de nylon. El objetivo principal es demostrar la viabilidad de crear componentes ajustables y personalizables en el campo del diseño de bicicletas. Para lograrlo, se llevó a cabo una investigación sobre el diseño de bicicletas y componentes ajustables, se realizó el diseño de los componentes mencionados, se fabricó el prototipo utilizando la tecnología de impresión 3D SLS y se evaluó la versatilidad del diseño mediante pruebas de ajuste y personalización según estándares del mercado actual.

El presente trabajo de investigación tiene como finalidad explorar el problema de la falta de opciones versátiles que permitan satisfacer múltiples necesidades de los usuarios, ya sean ciclistas amateurs, usuarios de bicicletas como medio de transporte o aquellos que buscan versatilidad en su bicicleta. Se buscó desarrollar una solución que ofrezca ajustes y componentes adaptables, permitiendo a los ciclistas disfrutar de una experiencia más completa y mejorar su rendimiento en diferentes situaciones.

La metodología empleada en este trabajo es de carácter exploratorio, basada en una revisión de la literatura existente sobre diseño de bicicletas y componentes ajustables.

Entre las limitaciones que surgieron para finalizar este proyecto académico se encuentra el uso exclusivo de polvo de nylon para la fabricación de los prototipos, debido a su disponibilidad y características adecuadas para el alcance de la tesis. Además, se excluyó el uso de materiales de mayor calidad como aluminio, titanio o fibra de carbono debido a su costo y la tecnología necesaria para su procesamiento. El enfoque de la tesis se centra en la versatilidad y funcionamiento de las piezas diseñadas, y no en evaluar las características del material como producto final.



## 1. Capítulo I: Fundamentos de la Investigación

### 1.1. Justificación del tema

El uso de bicicletas como medio principal de transporte ha mantenido un crecimiento constante a través de los años, llegando a un récord de adopción en el 2019 durante la pandemia del Covid-19 (*STATISTA, 2022*), desde entonces se ha experimentado un aumento significativo, tanto en áreas urbanas como rurales. Las bicicletas son una alternativa de transporte sostenible y saludable, que promueve la actividad física, reduce la congestión del tráfico y disminuye la emisión de gases de efecto invernadero. Dado el creciente interés por la movilidad sostenible, es fundamental desarrollar soluciones innovadoras que mejoren la experiencia de los ciclistas y promuevan su adopción a gran escala.

Su uso conlleva numerosos beneficios tanto para los individuos como para la sociedad en general. El ciclismo contribuye a mejorar la salud cardiovascular, reducir el estrés, fortalecer los músculos y mejorar la resistencia física. Además, el uso de bicicletas como medio de transporte alternativo puede ayudar a reducir los costos asociados con la movilidad, como el combustible y el mantenimiento del automóvil, razón por la cual más y más países están promoviendo el uso de bicicletas como medio principal de transporte. Al promover el ciclismo, se fomenta un estilo de vida más activo y saludable, beneficiando tanto a los ciclistas como al medio ambiente.

El promover el ciclismo además de generar un aumento en la producción de bicicletas también refleja un impacto ambiental por desechos generados por las bicicletas convencionales, el cual es un problema importante por considerar. A medida que la popularidad de las bicicletas aumenta, también aumenta la cantidad de bicicletas obsoletas o dañadas que se desechan, estimando que alrededor de 15 millones de bicicletas son desechadas por sus usuarios anualmente, de las cuales la gran mayoría termina en vertederos (*BICYCLE-GUIDER, 2022*). Estos desechos contribuyen a la acumulación de

residuos sólidos y pueden tener un impacto negativo en el medio ambiente si no se gestionan adecuadamente. Por lo tanto, es esencial explorar soluciones que promuevan la reutilización y la prolongación de la vida útil de las bicicletas, como el diseño y fabricación de componentes ajustables y personalizables y siguiendo los objetivos de desarrollo sostenible como lo es la *ODS 12, Producción y consumo responsable*. Esto no solo reducirá la generación de residuos, sino que también contribuirá a una economía circular y sostenible.

## **1.2. Objetivo General**

Diseñar y Prototipar por medio de la impresión SLS con polvo de nylon el soporte y tubo de dirección de ángulo graduable para una bicicleta, con el fin de demostrar la viabilidad en la creación de componentes ajustables y personalizables en el campo del diseño de bicicletas.

### **1.2.1 Objetivos específicos**

- Investigar y analizar la literatura existente sobre diseño de bicicletas y componentes ajustables, con el fin de comprender los fundamentos teóricos y el estado del arte en el campo de estudio.
- Diseñar el soporte y el tubo de dirección de ángulo graduable, considerando aspectos como la geometría y comparando los cambios con bicicletas actualmente en el mercado.
- Fabricar el prototipo utilizando la tecnología de impresión 3D SLS, siguiendo los parámetros de impresión adecuados y garantizando la calidad y precisión requeridas en las piezas.
- Evaluar la versatilidad del diseño del prototipo, realizando pruebas de ajuste y personalización para comprobar los cambios en la geometría según preferencias individuales de los ciclistas.

### **1.3. Planteamiento del problema**

Para los usuarios que utilizan bicicletas como medio de transporte, los amateurs del ciclismo y aquellos que buscan versatilidad para su bicicleta, el problema radica en la falta de opciones que permitan resolver múltiples necesidades con un solo producto.

Actualmente, la producción de bicicletas se enfoca en solucionar problemas para necesidades generales de diferentes disciplinas del ciclismo, lo que obliga a los usuarios a adquirir diferentes productos para satisfacer diferentes requerimientos.

Este problema afecta a los ciclistas que desean desempeñarse en varios ámbitos, como rutas de larga distancia, ciclismo de montaña y modalidades urbanas. Estos ciclistas se ven limitados por la falta de versatilidad en las bicicletas disponibles en el mercado, lo que compromete su experiencia y rendimiento en diferentes situaciones.

La importancia de resolver esta problemática radica en el crecimiento en la adopción de bicicletas como medio de transporte y el aumento en la generación de desechos que esto genera. Al utilizar piezas que permitan una mayor versatilidad en el diseño de las bicicletas, se fomenta una economía más circular al reducir la necesidad de desechar y adquirir constantemente nuevos productos. Además, permitirá a los ciclistas aprovechar al máximo su bicicleta en diversos ámbitos deportivos y de transporte, mejorando su experiencia y rendimiento.

Se puede lograr mediante un enfoque de diseño que permita a las futuras bicicletas cumplir múltiples funciones y hacerlas más versátiles para diferentes ámbitos del deporte. Esto implica desarrollar soluciones que ofrezcan ajustes y componentes adaptables, lo que permitirá a los ciclistas disfrutar de una experiencia más completa con su bicicleta.

#### 1.4. Antecedentes

Para realizar este estudio se hizo una revisión bibliográfica que aportó información importante a este proyecto; se mencionan a continuación entre ellos los de mayor utilidad.

Arango, A. (2019, Enero). Cómo Entender la Geometría de tu Bicicleta. ARANGO, A.. <https://www.ARANGO, A..com.co/blog/guia-geometria-de-bicicletas>

Artículo web que explica las diferentes medidas que conforman una bicicleta, especificando el uso de cada una de ellas.

*Dasson-Neville, S., Tarrin, G. & Dekneuve, Y. (2006, Octubre). Adjustable Frame Bicycle [archivo PDF]. Recuperado de <https://worldwide.espacenet.com/>*

Patente sobre el desarrollo de un marco de bicicleta ajustable incluyendo planos descriptivos del funcionamiento.

*Chao, H. (2013, Julio). Bicycle Frame Structure Capable of Adjusting Frame Length and Angle [archivo PDF]. Recuperado de <https://worldwide.espacenet.com/>*

Patente sobre el desarrollo de un sistema de tubo inferior y dirección ajustable con planos descriptivos.

*Covill, D., Allard, P., Drouet, JM. & Emerson, N. (2016, Diciembre). An Assessment of Bicycle Frame Behaviour under Various Load Conditions Using Numerical Simulations. Procedia Engineering, pp. pp.3-5.*

Covill y col. Realizaron un estudio exhaustivo sobre varios escenarios sometiendo el marco de una bicicleta a varias condiciones de esfuerzos basado en un usuario de aproximadamente 75 kg y diferentes condiciones de terreno.

### **1.5. Alcance y limitaciones**

Este trabajo de investigación abarca la ideación, diseño y fabricación de prototipo de un soporte y tubo de dirección con ángulo regulable para una bicicleta de ruta convencional, se utilizará el proceso de impresión 3D FDM y SLS para la fabricación de prototipos ya que esta tecnología aporta la rapidez y versatilidad buscada para el trabajo. La investigación, bocetos, modelos 3D y prototipos serán mostrados como parte del alcance de este trabajo.

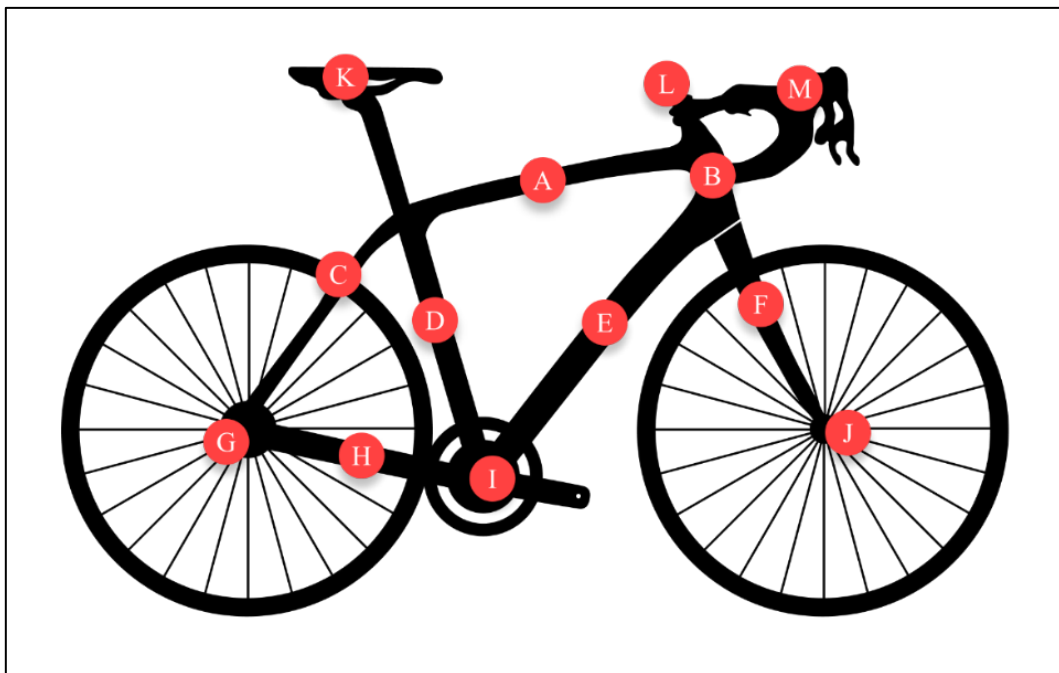
Se utilizará polvo de nylon para el desarrollo del prototipo debido a su disponibilidad. Se excluye el uso de material de mayor calidad como lo son el aluminio, titanio, o fibra de carbono (materiales más comunes para la fabricación de marcos de bicicleta) debido al costo del material y la tecnología necesaria para sus procesos de formado. El enfoque de la tesis no es evaluar las características del material como producto final sino la versatilidad y funcionamiento de la pieza diseñada, por lo que el polvo de nylon ofrece las características necesarias para cumplir con el alcance.

## 2. Capítulo II: Marco Teórico

Para abordar el marco teórico, primero se debe entender qué conforma una bicicleta; tanto su anatomía como la geometría interna y externa y que componentes son los más críticos para enfocar el diseño. Esto implica analizar y comprender los diferentes tipos de bicicleta que actualmente se encuentran en el mercado, así como los diferentes terrenos y estilos de conducción a los que se enfrentan los usuarios. A partir de esta información, se desarrollan sistemas de ajuste eficientes y seguros que permitan a los ciclistas adaptar su bicicleta según sus requerimientos. Este enfoque de diseño centrado en la versatilidad proporcionaría a los ciclistas una mayor flexibilidad y adaptabilidad en su experiencia de conducción, mejorando así su comodidad y rendimiento.

### 2.1. Anatomía de una bicicleta

Es llamada “la anatomía de una bicicleta” a las partes que la conforman sin tomar en cuenta como estas partes interactúan entre sí.



**Figura 1.** Anatomía de una bicicleta.

Referencia: <https://www.bikeexchange.com>.

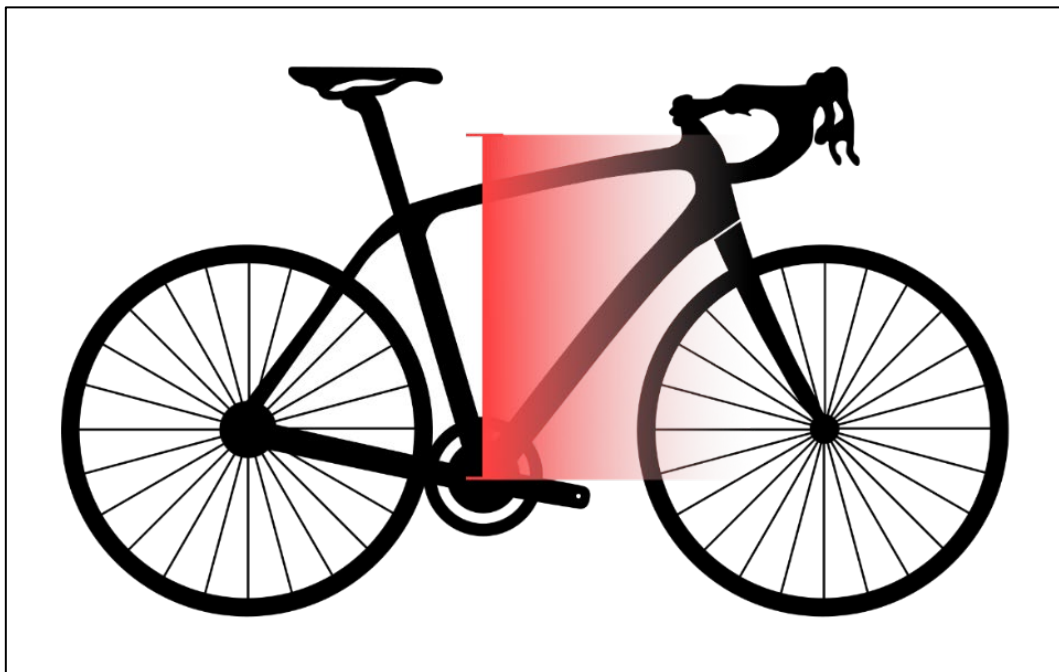
Como se muestra en la **Figura 1** una bicicleta común está compuesta de: (A) Tubo superior (también llamado tubo horizontal), (B) Tubo de direccional, (C) Tirante, (D) Tubo de asiento o de sillín, (E) Tubo diagonal, (F) Horquilla o tenedor, (G) Horquilla de enganche trasera, (H) Vaina, (I) Centro de caja de pedalier, (J) Horquilla de enganche delantera (en eje), (K) Asiento o sillín, (L) Potencia y finalmente (M) Manillar.

## 2.2. Geometría interna

La geometría interna es aquella que influye más en la posición del usuario y no tanto en el desempeño de la bicicleta, está conformada por la altura del cuadro o “Stack”, alcance del cuadro o “Reach” y el ángulo del tubo del sillín (*BLOG FORUMSPORT, 2020*).

### 2.2.1 Altura del cuadro

También conocido como Stack es la medida que se toma desde el fondo de la caja del pedalier hasta la punta del tubo de dirección como se muestra en la **Figura 2**, cuanto más altura tenga el cuadro más erguido irá el ciclista (*ARANGO, A., 2019*).

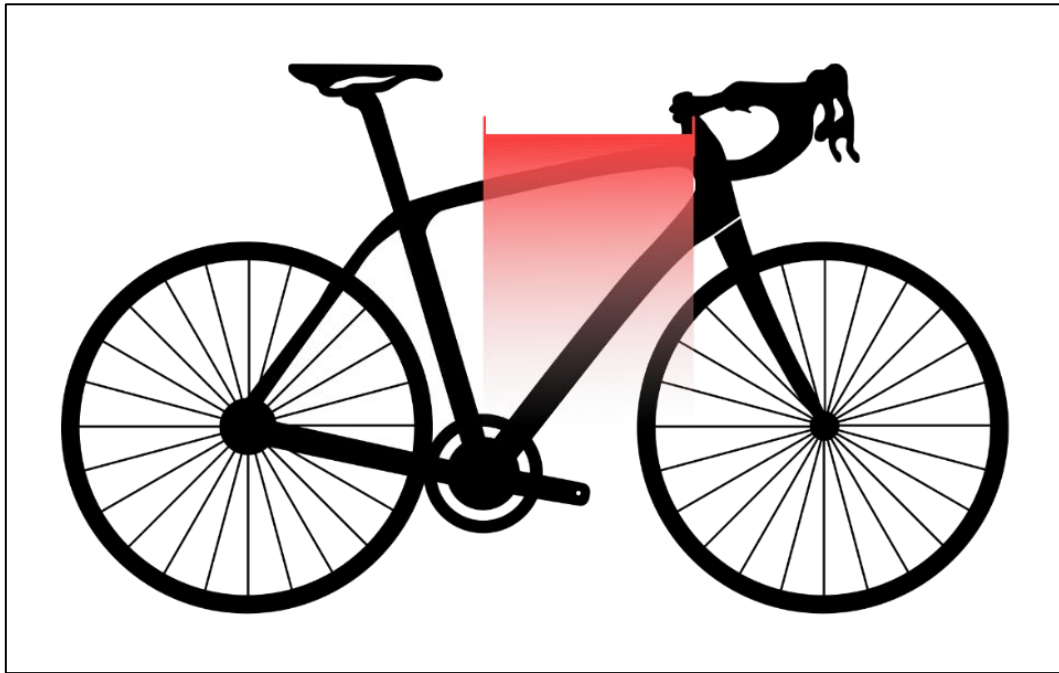


**Figura 2.** Altura “Stack” del cuadro.

Referencia <https://www.bikeexchange.com>.

### 2.2.2 Alcance del cuadro

También conocido como “Reach”, el alcance es la medida horizontal tomada desde el centro de la caja de pedalier hasta el centro del punto del tubo de dirección (ARANGO, A., 2019), como se muestra en la **Figura 3**, cuanto más alcance tenga el cuadro más estirado ira el ciclista sobre la bicicleta.



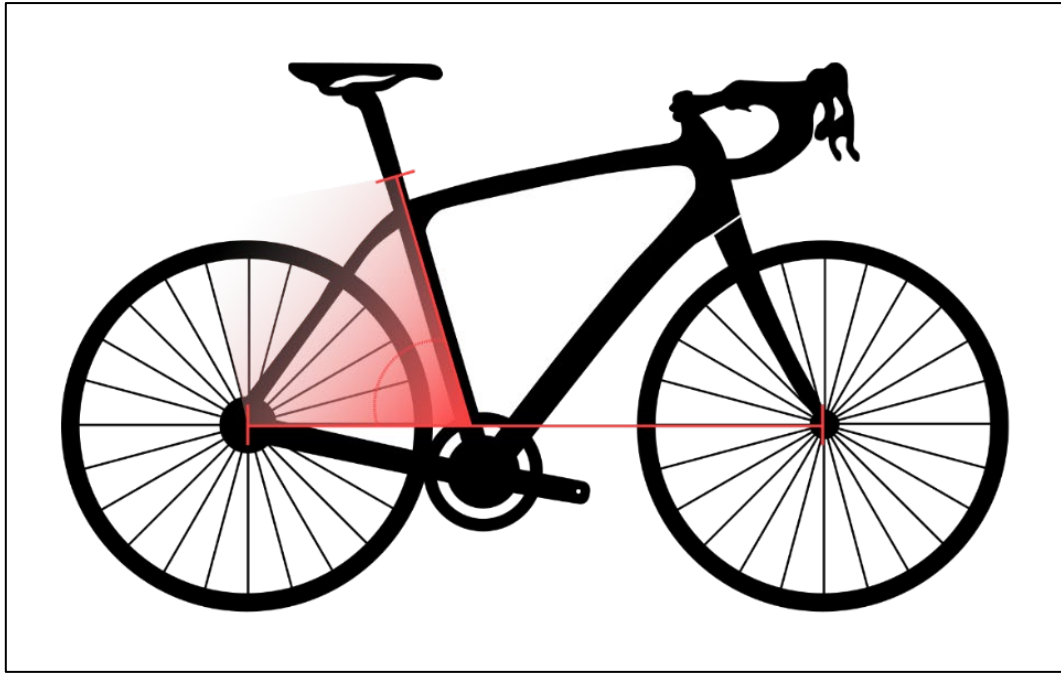
**Figura 3.** Alcance “Reach” del cuadro.

Referencia <https://www.bikeexchange.com>.

### 2.2.3 Angulo del tubo de sillín

Este ángulo se mide con respecto al suelo o tomando una línea horizontal pasando por los ejes de las ruedas, el ángulo generalmente esta entre 71-75 grados de inclinación y determina la posición del ciclista con respecto al eje de pedalier (ARANGO, A., 2019) como se ha mostrado en la **Figura 4**, esta posición se puede modificar también con el uso de una tija desviada.





**Figura 4.** *Ángulo de tubo de sillín.*

Referencia <https://www.bikeexchange.com>.

### 2.3. Geometría Externa

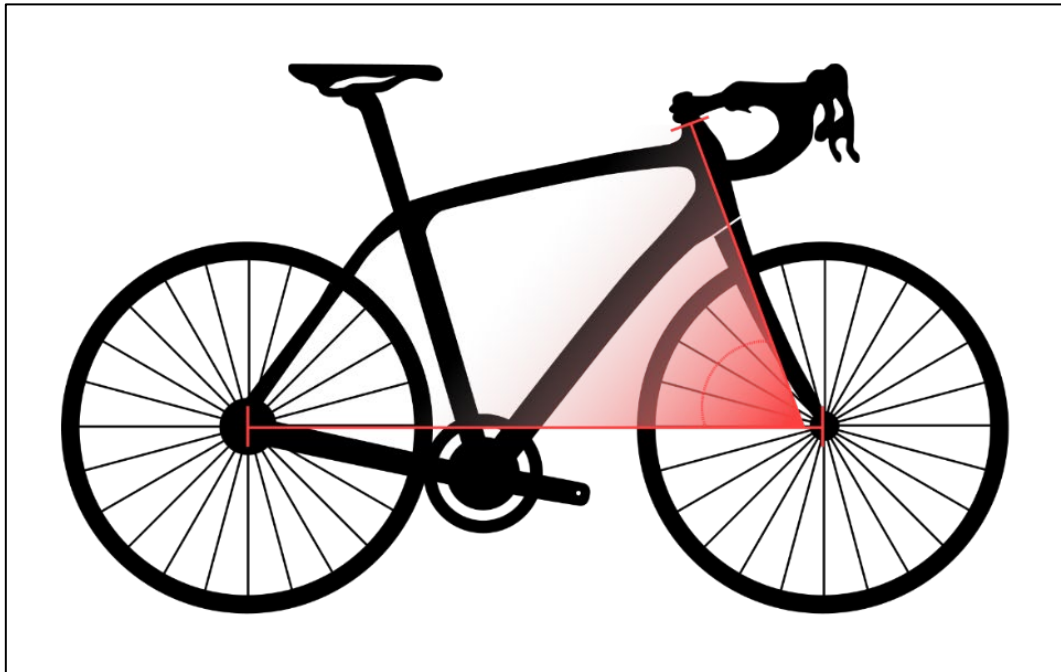
Estas geometrías son las que definen el comportamiento dinámico de la bicicleta, cada una de las cotas modifica estabilidad, manejo, desempeño y maniobrabilidad de la bicicleta. Esta geometría está conformada por ángulo de tubo de dirección, inclinación/desviación, rastros, distancia entre ejes y altura de pedalier. Los elementos que conforman esta geometría son el enfoque principal del trabajo, buscando que la pieza a diseñar pueda modificar todos estos elementos (*BLOG FORUMSPORT, 2020*).

#### 2.3.1 *Ángulo de tubo de dirección*

Esta medida se refiere a la inclinación que tiene el tubo de dirección con respecto al suelo (ver **Figura 5**). Dependiendo de la inclinación del tubo, este será más inclinado o erguido y cada configuración tiene sus ventajas y desventajas.

Un tubo más inclinado hará que la bicicleta sea más estable a mayor velocidad, pero disminuye su maniobrabilidad.

Un tubo más erguido es menos estable, pero compensa con ser más fácil de dirigir por lo que es más común en bicicletas de downhill (ARANGO, A., 2019).



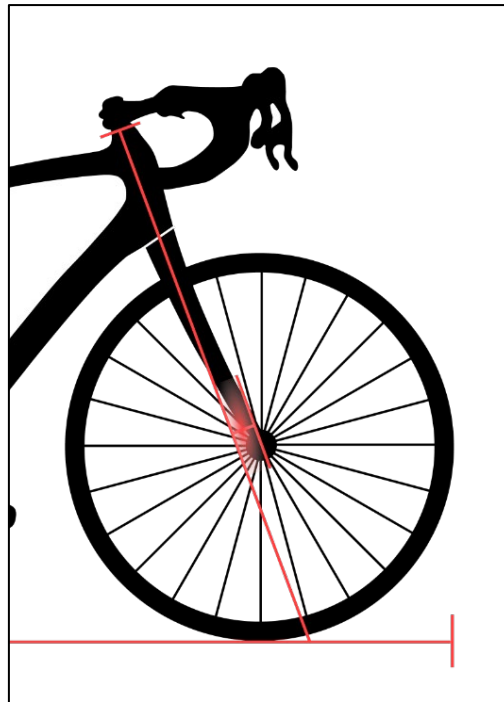
**Figura 5.** *Ángulo de tubo de dirección.*

Referencia <https://www.bikeexchange.com>.

### **2.3.2 Inclinación/desviación de la horquilla**

Esta medida está muy ligada al ángulo del tubo de dirección, se le dice inclinación a la proyección del eje delantero con respecto al ángulo del tubo de dirección. Se le conoce como inclinación o “Rake” para bicicletas de ruta y desviación o “Offset” para bicicletas de montaña o “MTB” (ARANGO, A., 2019).

Para entenderlo mejor, la inclinación se puede observar trazando una línea desde el tubo de dirección hasta el piso y luego midiendo la distancia con una línea paralela que pasa por el eje como se muestra en la **Figura 6**, en otras palabras, mide el avance de la horquilla.

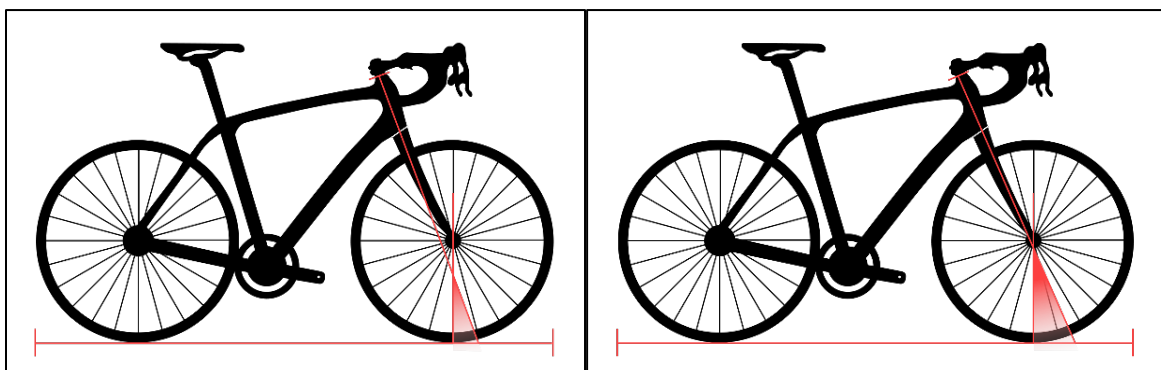


**Figura 6.** *Inclinación de la horquilla.*

Referencia <https://www.bikeexchange.com>.

### 2.3.3 Rastro o Trail

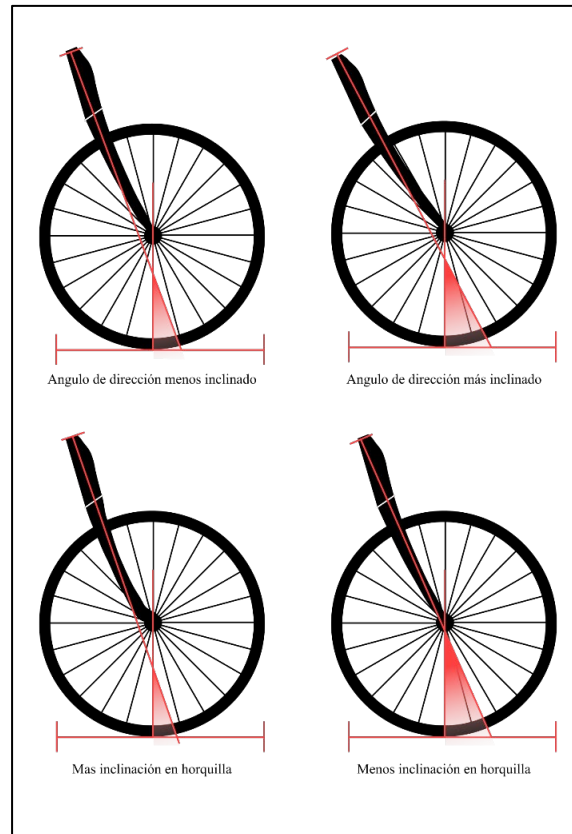
El rastro o "Trail" es una de las medidas más abstractas en la geometría de una bicicleta, se encuentra al combinar el ángulo del tubo de dirección con la inclinación de la horquilla, de esa forma se determina el área de contacto de la rueda con el suelo (ver **Figura 7**).



**Figura 7.** *Rastro o Trail de una bicicleta.*

Referencia <https://www.bikeexchange.com>.

El ángulo de dirección, la inclinación y el rastro son los 3 elementos con los que se puede jugar para ajustar la estabilidad y maniobrabilidad de la bicicleta (ARANGO, A., 2019).



**Figura 8.** Variación en el rastro según combinación de ángulo de dirección e inclinación.

Referencia <https://www.momentumplanet.ca/>.

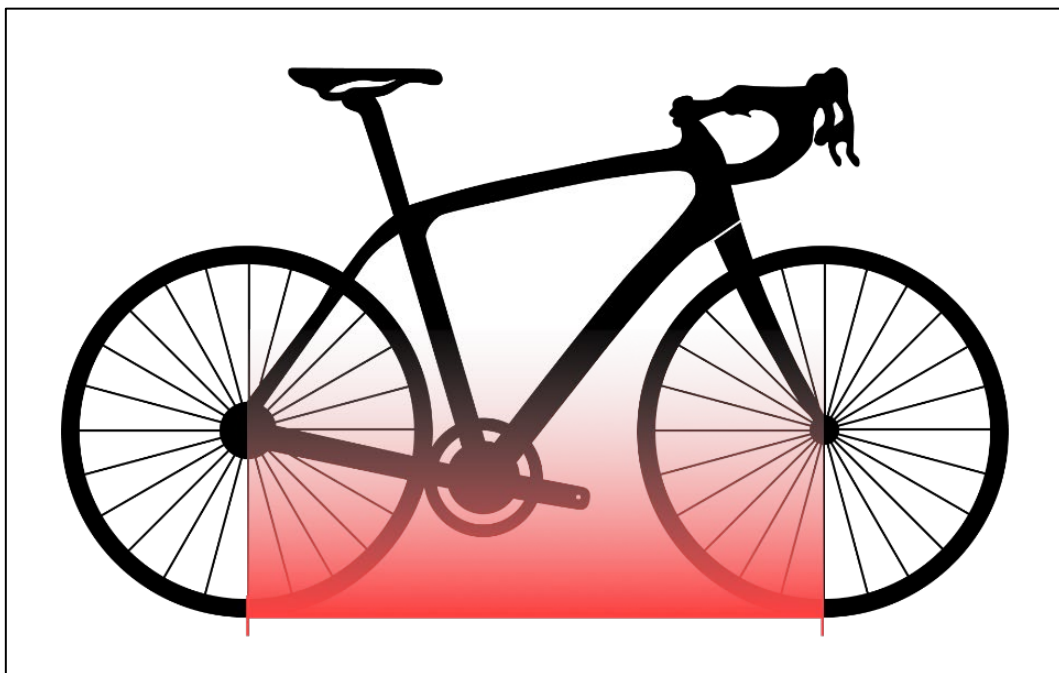
Se puede observar en la **Figura 8** que, según la combinación, el rastro puede aumentar o disminuir, como se explica a continuación:

- Mayor inclinación de horquilla = menos rastro = menos estabilidad, pero mejor manejo en terrenos complejos.
- Menos inclinación de horquilla = mayor rastro = más estabilidad a mayores velocidades (BLOG FORUMSPORT, 2020).

### 2.3.4 *Distancia entre ejes*

Es aquella distancia entre los ejes delantero y trasero de la bicicleta, el ángulo de dirección, la inclinación de la horquilla y la longitud de vainas. Estas son las medidas claves que conforman la distancia entre ejes (ver **Figura 9**).

Como referencia las bicicletas con ejes más distantes son más cómodas para el ciclista y más estables, mientras que las de ejes más cercanos son más fluidas al momento de manejarlas (ARANGO, A., 2019).

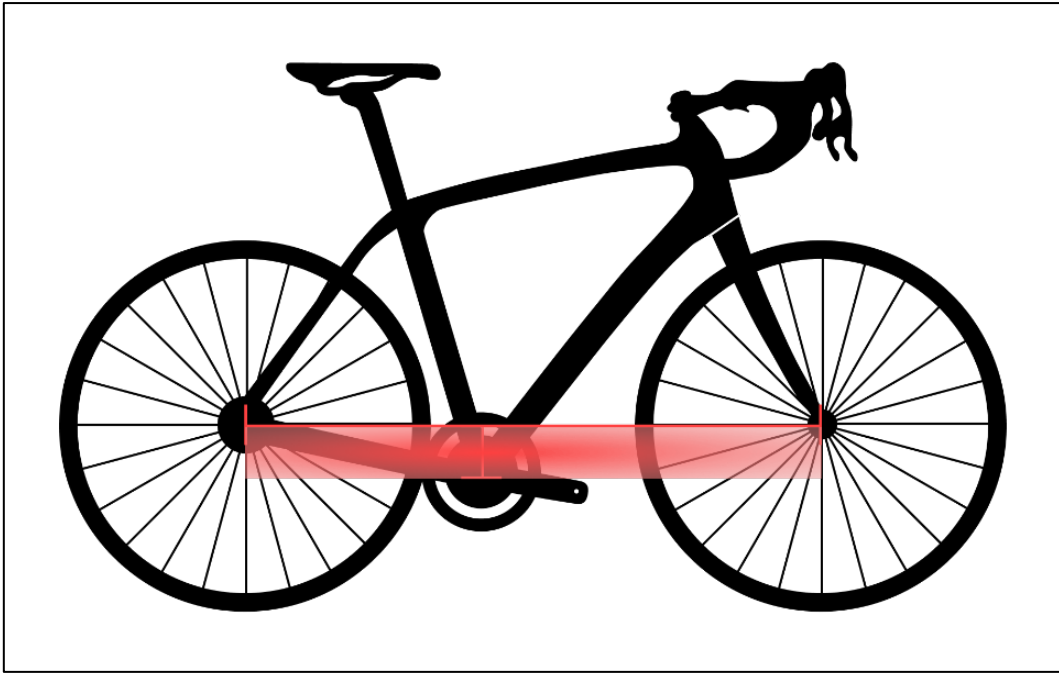


**Figura 9.** *Distancia entre ejes de una bicicleta.*

Referencia <https://www.bikeexchange.com>.

### 2.3.5 *Elevación del eje de pedalier*

Es la distancia vertical entre el centro de la caja del pedalier hasta los ejes de las ruedas como se muestra en la **Figura 10**, es una medida importante a considerar ya que mientras más bajo esté el eje de pedalier más estable será la bicicleta debido a que su centro de gravedad está más bajo, pero de igual manera se debe considerar el terreno a conducir ya que de estar muy bajo puede golpear con rocas o imperfecciones en el terreno (ARANGO, A., 2019).



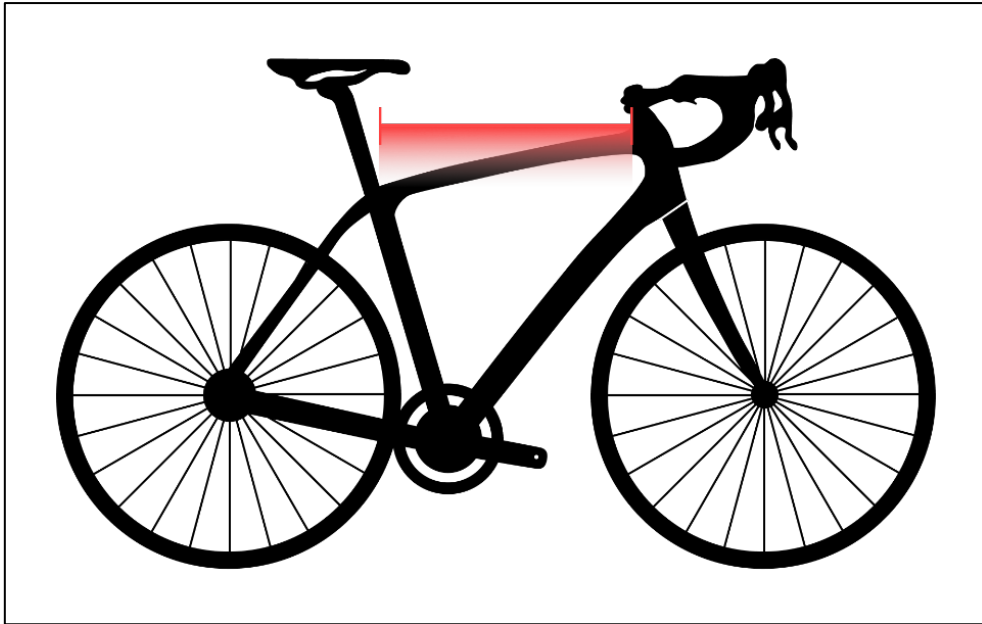
**Figura 10.** Elevación del eje de pedalier.

Referencia <https://www.bikeexchange.com>.

Una vez definidas las geometrías internas y externas de una bicicleta existen otros conceptos que a pesar de que influyen en la geometría de una bicicleta, su influencia no afecta directamente el alcance del proyecto desarrollado.

#### **2.4. Longitud efectiva de tubo superior**

Es la medida que se toma horizontalmente desde la punta del tubo de dirección hasta el tubo del asiento como se muestra en la **Figura 11**, esta es una manera confiable de medir tu bicicleta a pesar de que tenga el tubo inclinado (ARANGO, A., 2019). Es una manera sencilla de poder comparar tallas entre diferentes fabricantes.

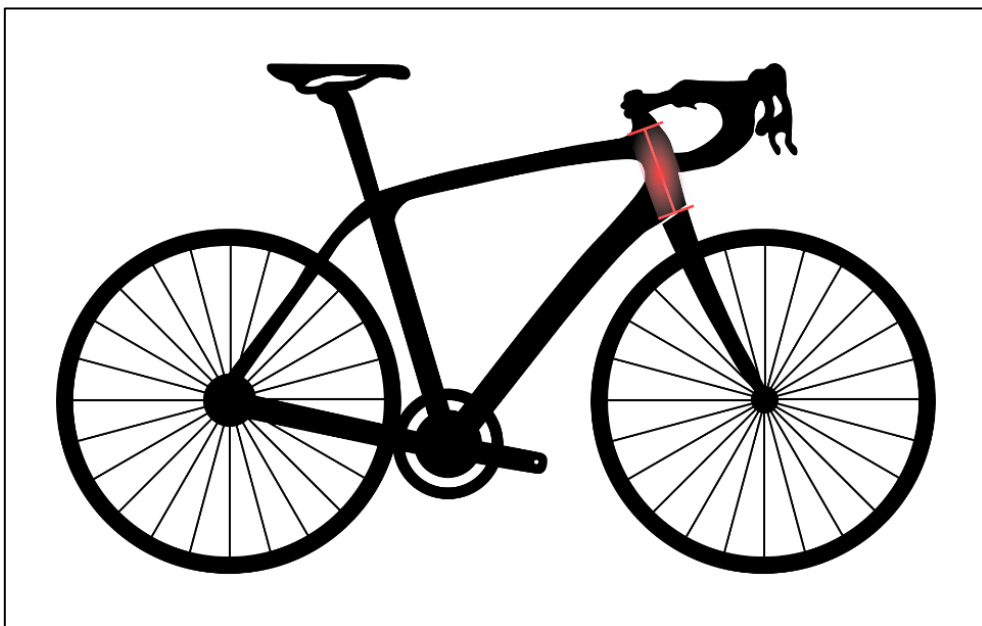


**Figura 11.** Longitud efectiva de tubo superior.

Referencia <https://www.bikeexchange.com>.

## 2.5. Longitud de tubo de dirección

Se mide desde donde termina el manubrio hasta donde comienza la horquilla (ver **Figura 12**), un tubo de dirección más largo hace que el ciclista vaya más erguido y uno más corto coloca al ciclista en una posición más aerodinámica (ARANGO, A., 2019).



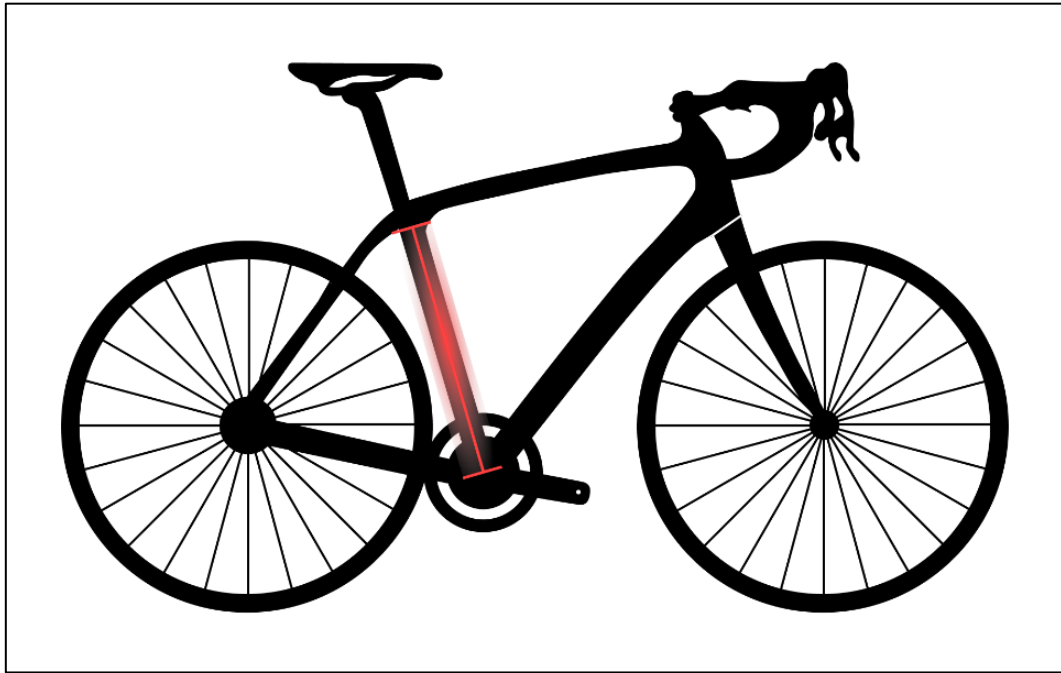
**Figura 12.** Longitud de tubo de dirección.

Referencia <https://www.bikeexchange.com>.

## 2.6. Longitud de tubo de sillín

Se mide desde el centro de la caja de pedalier hasta el punto de encuentro con el tubo superior (ARANGO, A., 2019).

También se debe considerar la longitud efectiva del tubo del sillín, comenzando desde el centro de la caja de pedalier hasta la altura del manillar (ver **Figura 13**).



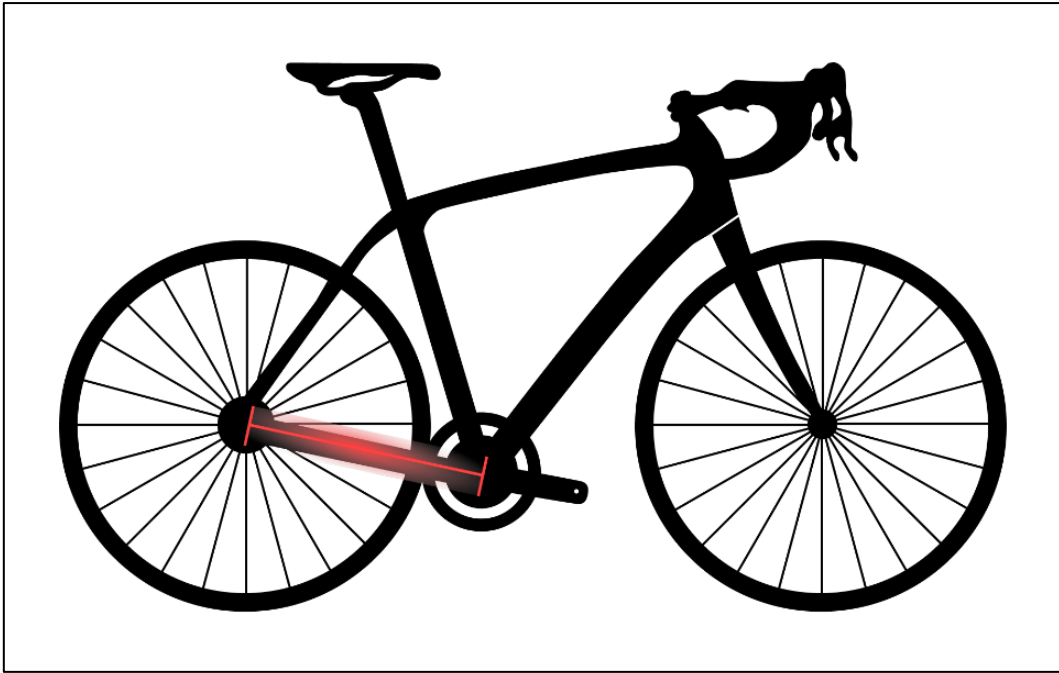
**Figura 13.** Longitud de tubo de sillín.

Referencia <https://www.bikeexchange.com>.

## 2.7. Longitud de vaina

Es la medida entre la caja de pedalier y el eje de la rueda trasera, esta una de las medidas que afecta la distancia entre los ejes de las ruedas como se ha mencionado anteriormente (ver **Figura 14**) (ARANGO, A., 2019).





**Figura 14.** Longitud de vaina.

Referencia <https://www.bikeexchange.com>.

Ya definidos todos los aspectos de la geometría de una bicicleta, exploramos los diferentes tipos de bicicletas para cada tipo de disciplina y cómo las geometrías ya mencionadas se aplican a dichas bicicletas.

Empezaremos dividiendo las bicicletas en dos tipos, de carretera y de montaña, estos dos tipos de bicicleta se subdividen para cada especialidad. Por el momento nos centraremos en solo aquellas disciplinas que mejor representen las diferentes configuraciones que se le pueden aportar a las bicicletas, comenzando por las bicicletas de carretera.

## **2.8. Las bicicletas de carretera**

Son aquellas donde la geometría está optimizada para la velocidad. Usualmente se utilizan en carreteras como el nombre indica, rectas y terrenos planos. Dependiendo de la disciplina, pueden variar ciertas características para adaptarse a subidas, bajadas o terrenos con algunas imperfecciones.

Entre los modelos más populares se encuentran las bicicletas escaladoras, de gran fondo, Aero y de triatlón.

### **2.8.1 Bicicletas escaladoras**

Es la denominación actualizada para la clásica bicicleta de carretera, que ha experimentado cambios a lo largo de los años. Estas bicicletas son altamente versátiles y disfrutan de una gran popularidad en el mercado internacional. En términos de comparación, las bicicletas escaladoras se destacan por ser las más livianas del mercado y, en la mayoría de los casos, también las más rígidas. Su diseño geométrico es altamente versátil (SERRA, A., 2018).

### **2.8.2 Bicicletas aero**

La bicicleta de ruta más radical y agresiva. Estas versiones han sido específicamente diseñadas para alcanzar altas velocidades en terrenos planos y descensos. Los tubos de la bicicleta tienen una forma plana para mejorar la eficiencia aerodinámica, mientras que los acabados y detalles presentan un enfoque extremadamente agresivo (SERRA, A., 2018).

### **2.8.3 Bicicletas gran fondo o “endurance”**

Como su nombre indica, están diseñadas para abordar largas distancias y jornadas de resistencia deportiva. Estas bicicletas se caracterizan por su diseño y geometría, que se enfocan en brindar la máxima comodidad posible al ciclista. Las bicicletas de resistencia suelen presentar una posición de conducción más erguida, con una dirección y pipa más elevadas, tubos de forma redonda y una inclinación menos pronunciada del cuadro (SERRA, A., 2018).

### **2.8.4 Bicicletas triatlón**

Son fácilmente distinguibles del resto debido a su diseño característico. Estas bicicletas se utilizan tanto en competencias contrarreloj como en triatlones de larga distancia. Están diseñadas específicamente para maximizar el rendimiento en terrenos

planos y favorables. Su principal característica es su gran capacidad aerodinámica, lo que influye significativamente en su geometría y, en consecuencia, en su comodidad (SERRA, A., 2018).

## **2.9. Bicicletas de montaña o “MTB”**

Son aquellas donde la geometría está optimizada para maniobrar en terrenos accidentados y fuera de la carretera. Estas bicicletas están equipadas con características que les permiten enfrentar senderos empinados, terrenos irregulares y obstáculos naturales, con mayor facilidad.

Entre los modelos más populares se encuentran las Rally XC, XC maratón, enduro y downhill.

### **2.9.1 Bicicletas rally XC**

Se enfoca en tramos mayormente planos o con ascensos, donde los ciclistas deben superar obstáculos como rocas, rampas, terrenos embarrados y pistas técnicamente desafiantes. Estos modelos de bicicletas están diseñados con geometrías altamente reactivas que aprovechan cada pedalada (ROMERO, N., 2022).

### **2.9.2 Bicicletas XC maratón**

Se utilizan en pruebas de larga distancia o en recorridos más técnicos. Estas bicicletas están construidas con materiales extremadamente ligeros como la fibra de carbono, para reducir el peso total, permitir una pedalada más rápida y lograr una mayor velocidad. Aunque son ágiles y rápidas, ofrecen una mayor comodidad gracias a la presencia de amortiguación central o trasera (ROMERO, N., 2022).

### **2.9.3 Bicicletas enduro**

Se desempeñan en una modalidad competitiva que combina la técnica del downhill con la resistencia del trail, es decir, que son bicicletas pensadas para subidas y bajadas, estas bicicletas buscan un mayor disfrute en recorridos que combinan desniveles y descensos con desafíos técnicos como rocas, giros cerrados y saltos (ROMERO, N., 2022).

#### **2.9.4 Bicicletas downhill**

Están diseñadas específicamente para el descenso a alta velocidad en colinas, pistas o tramos urbanos, y se utilizan en competiciones de Downhill. Lo más común es que cuenten con doble suspensión y una amplia capacidad de amortiguación en la horquilla. Una característica distintiva de estas bicicletas es su extrema rigidez, ya que están construidas para resistir golpes y caídas a gran velocidad (ROMERO, N., 2022).

A medida que exploramos la geometría de las bicicletas y sus características, no podemos dejar de lado los métodos y conceptos implicados en el prototipado de la pieza, enfoque de este trabajo. En esta etapa, vamos a indagar en el método de fabricación, los materiales utilizados y los procesos que permiten crear este prototipo.

#### **2.10. La impresión 3D**

También conocida como fabricación aditiva, es un proceso que permite la creación de objetos tridimensionales a partir de modelos digitales. A diferencia de los métodos tradicionales de fabricación que implican la sustracción de material, como el corte o el moldeado, la impresión 3D construye los objetos agregando material capa por capa.

El proceso de impresión 3D comienza con la creación o la importación de un modelo digital en un software de diseño asistido por ordenador (CAD). Hay diferentes tecnologías de impresión 3D, como la deposición de material fundido (FDM), la estereolitografía (SLA), la sinterización selectiva por láser (SLS) y muchas otras, cada una con sus propias características y aplicaciones específicas.

**La impresión SLS**, o sinterización láser selectiva, es un método de impresión 3D que utiliza un láser para unir capas de polvo y crear una pieza final. Mediante el trazado del patrón de cada sección transversal de un diseño 3D en una capa de polvo, el láser funde selectivamente el material y construye gradualmente la pieza.

### **2.10.1 Beneficios de la impresión SLS:**

- No requiere soportes: La tecnología SLS permite la fabricación de objetos complejos sin necesidad de estructuras de soporte, lo que facilita la impresión de diseños intrincados.
- Amplia gama de materiales: La impresión SLS es compatible con una variedad de materiales, incluyendo plásticos, cerámicas y metales, lo que brinda flexibilidad en la elección del material para el objeto impreso.
- Resistencia y durabilidad: Los objetos impresos con SLS tienen una alta resistencia y durabilidad, lo que los hace ideales para aplicaciones funcionales y prototipado.
- Mayor libertad de diseño: La tecnología SLS permite la creación de geometrías complejas y formas orgánicas, lo que permite una mayor libertad de diseño en comparación con otros métodos de fabricación.

### **2.10.2 Desventajas de la impresión SLS:**

- Costo: La tecnología SLS suele ser más costosa en comparación con otros métodos de impresión 3D, debido a la maquinaria especializada y los materiales utilizados.
- Acabado superficial: Los objetos impresos mediante SLS pueden tener un acabado superficial rugoso debido al proceso de fusión del polvo, lo que puede requerir post-procesamiento adicional para obtener una superficie suave.

La impresión SLS requiere de una máquina específica, que consta de una cámara de impresión calentada, un láser de alta potencia, un sistema de control de movimiento y un sistema de distribución y recuperación de polvo. Estas máquinas son generalmente más grandes y complejas que las impresoras 3D convencionales y están diseñadas específicamente para el proceso de sinterización láser selectiva.

### 2.11. Método de elementos finitos

Es un software, el cual permite obtener soluciones para diversos problemas de ingeniería. Este método divide la geometría de la pieza en elementos más pequeños, representando el dominio continuo del problema, lo que facilita el cálculo computacional al descomponer el problema complejo en problemas más simples. Se sustituye un número infinito de variables desconocidas por un número limitado de elementos con comportamiento definido, como triángulos o cuadriláteros, según el tipo y tamaño del problema. La denominación "elementos finitos" surge debido a que el número de elementos utilizados es finito (*MIRLISENNA, G., 2016*).

Para finalizar, hemos explorado la importancia de la geometría interna y externa en el diseño de bicicletas, entendiendo cómo influye en el rendimiento y la comodidad del ciclista. Además, hemos examinado los diferentes tipos de bicicletas, desde las de montaña hasta las de carretera, destacando las características distintivas de cada una. Luego, hemos explorado el potencial de la impresión 3D, en específico de la impresión SLS en la fabricación de piezas prototipo para bicicletas, subrayando su capacidad para agilizar el proceso de diseño y desarrollo, permitiendo la personalización y la creación de prototipos funcionales de manera rápida y eficiente y por último, el método de simulación por elementos finitos para evaluar la pieza bajo diferentes escenarios de esfuerzos y observar su comportamiento en busca de mejoras para futuros prototipos.

### 3. Capítulo III: Metodología

#### 3.1. Metodología de investigación

Según *Ernesto Rodríguez Monguel*, en su libro *“Metodología de la investigación”* (2005), la investigación experimental se refiere a una investigación prospectiva. Se presenta mediante la manipulación de una variable experimental en condiciones controladas, con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produce una situación o acontecimiento particular.

Según *Mohammad Namakforoosh* en su libro *“Metodología de la investigación”* (2000), la investigación exploratoria se basa en captar una perspectiva general del problema. Es útil para incrementar el grado de conocimiento del investigador respecto al problema y dividir un problema muy grande para llegar a unos subproblemas, más precisos hasta expresar una hipótesis.

Para este trabajo se implementa una combinación de ambas metodologías, siendo una investigación experimental exploratoria, esta permite una manipulación controlada de variables clave en el diseño y fabricación del prototipo. Al aplicar el enfoque experimental, se pueden realizar pruebas sistemáticas y comparativas para evaluar cómo diferentes acoples graduables en el tubo de dirección afectan la estabilidad de la bicicleta. Esto ayudaría a establecer una relación causa-efecto entre las variables manipuladas y los resultados observados.

Además, al tratarse de un tema de investigación poco explorado, la investigación exploratoria permite generar nuevas ideas, conceptos y enfoques en el diseño y fabricación de componentes para bicicletas. A través del análisis de datos existentes, se pueden identificar tendencias, desafíos técnicos y posibles soluciones. Esta exploración inicial es fundamental para nuevos enfoques en la investigación.

Otro aspecto importante es que la investigación experimental exploratoria brinda flexibilidad en la adaptación del diseño del prototipo a medida que se obtienen nuevos hallazgos y conocimientos. Este enfoque iterativo permite ajustes en el diseño y la fabricación a medida que se avanza en la investigación, de tal manera que haya una mayor optimización y perfeccionamiento del prototipo.

### 3.2. Metodología de diseño

Como metodología de diseño se utilizó la metodología de **doble diamante** la cual proporciona una estructura clara y sistemática para abordar el problema de diseño y fabricación de prototipos. Según Design Council (2015) la metodología de doble diamante se divide en 4 fases (ver **Figura 15**):

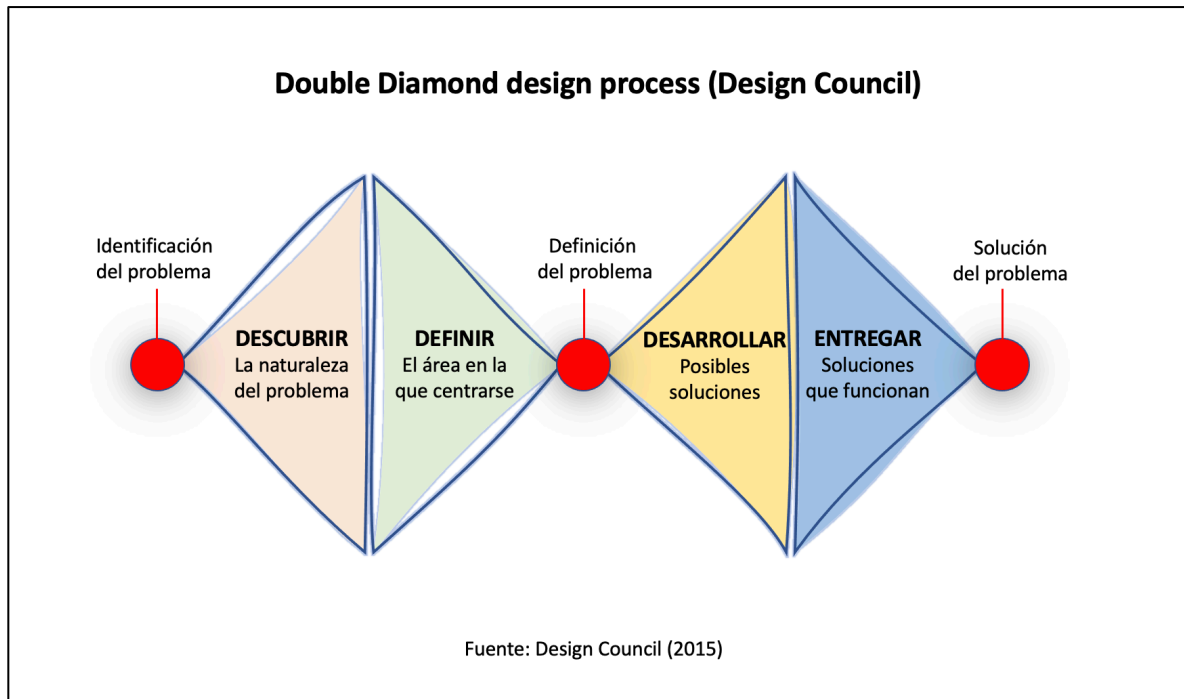
**Descubrir.** El primer diamante ayuda a las personas a comprender, en lugar de simplemente suponer, cuál es el problema. Implica hablar y pasar tiempo con las personas afectadas por los problemas.

**Definir.** La información recopilada en la fase de descubrimiento puede ayudarlo a definir el desafío de una manera diferente.

**Desarrollar.** El segundo diamante alienta a las personas a dar respuestas diferentes al problema claramente definido, buscando inspiración en otros lugares y co-diseñando con una variedad de personas diferentes.

**Entregar.** La entrega implica probar diferentes soluciones a pequeña escala, rechazar las que no funcionarán y mejorar las que sí lo harán.





**Figura 15.** Método de diseño doble diamante.

Fuente: Garcia Manjon, J. PhD. (2021), <https://jvmanjon.com/2021/05/23/el-doble-diamante-como-metodologia-de-innovacion/>

El alcance se define en base a la tecnología y los materiales disponibles al momento de realizar el trabajo, en este caso siendo la impresión 3D FDM para los primero prototipos e Impresión SLS para el prototipo final.

## 4. Capítulo IV: Desarrollo de prototipos

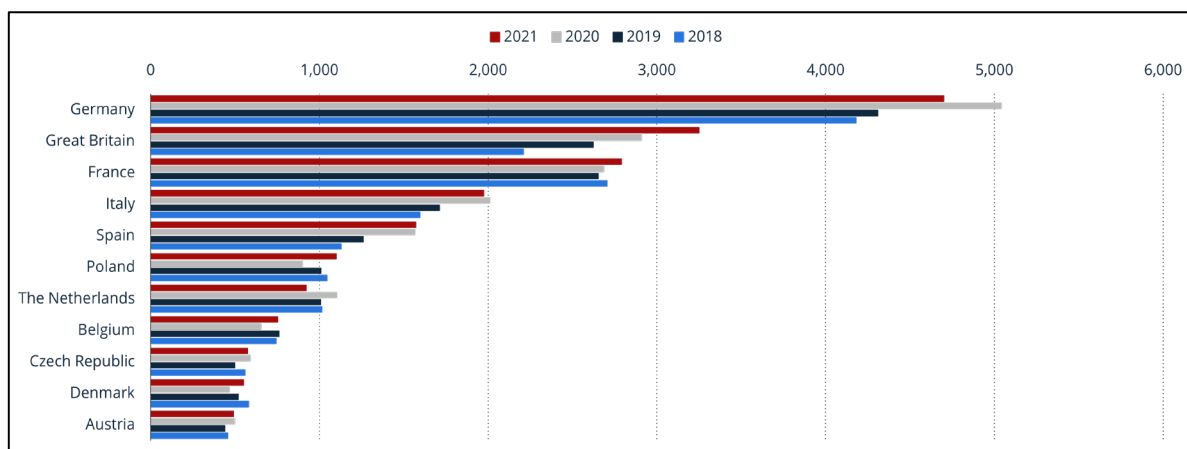
### 4.1. Investigación inicial (Descubrir)

Como primer paso en el proceso se realizó una investigación inicial acerca del mercado de las bicicletas, planteando como guía buscar respuestas a las preguntas.

- ¿Como se ve el mercado de las bicicletas hoy en día?
- ¿Quiénes son los principales actores en el mercado?
- ¿Cuál es el enfoque principal cuando se diseña una bicicleta?

El mercado de las bicicletas ha experimentado un crecimiento significativo en los últimos años. En la actualidad, se producen diariamente 364,000 bicicletas en todo el mundo (*BICYCLE-GUIDER, 2022*), lo que demuestra la demanda continua de este medio de transporte sostenible y saludable. De hecho, cada dos segundos se vende una bicicleta, lo que destaca la popularidad y la preferencia de las personas por este medio de movilidad.

A pesar de la creciente popularidad de las bicicletas, también hay un desafío importante: el manejo de las bicicletas descartadas. Aproximadamente 15 millones de bicicletas son abandonadas por sus propietarios cada año (*BICYCLEGUIDER, 2022*). Este problema plantea la necesidad de una gestión adecuada de residuos y el fomento de la reutilización o el reciclaje de componentes para reducir el impacto ambiental.



**Figura 16.** Numero de bicicletas vendidas en UE desde 2018 a 2021 por país (en volumen de 1000 unidades).

Fuente: <https://www.statista.com/statistics/393948/bicycle-sales-volume-in-the-european-union-eu-by-country/>

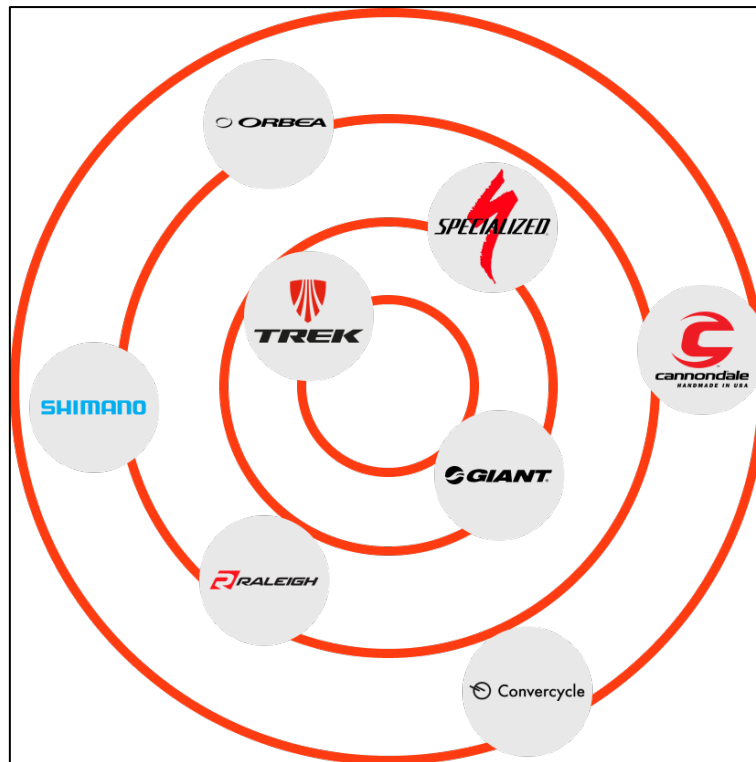
Se puede observar en la **Figura 16** que Alemania supera por un margen considerable al resto de los países europeos con un pico de ventas durante el 2020 en el auge de la pandemia de covid-19, proporcionalmente este pico de ventas también se puede observar reflejado en el resto de los países alcanzando un máximo en el 2020 respecto a años anteriores y a pesar de que en el 2021 las ventas bajaron se puede observar que las ventas siguen siendo superiores en comparación al 2018 y 2019. Esto significa que la tendencia sigue en alza.

A pesar de que Alemania tiene la mayor cantidad de ventas son países como Dinamarca y los Países Bajos que tienen mayor densidad de bicicletas por habitante, según *Athlyn Cathcart-Keays para TheGuardian.com, en 2016*, Copenhague anunció que por primera vez en la historia hay más bicicletas que autos en la calle, esto debido a que se toma como prioridad hacer la ciudad más amigable para el manejo de bicicletas.

Algunas de las ciudades europeas con más densidad de bicicletas son Copenhague (49%), Ámsterdam (35%), Helsinki (14%), Liubliana (13%), y Berlín (13%) (*BICYCLEGUIDER, 2022*).

Esto nos lleva a preguntarnos, ¿quiénes son los principales fabricantes de bicicletas en el mundo? ¿Y qué tipo de productos ofrecen?

Para esto se realizó un radar de las empresas más importantes en la industria de las bicicletas (ver **Figura 17**), donde resaltan 3 de ellas, Trek, Specialized y Giant.



**Figura 17.** Radar de compañías de la industria de bicicletas.

Estas tres marcas se destacan porque ofrecen una gran gama de productos para distintas disciplinas, según *Diego Macaya (2023) para Tuvalum.com* una de las páginas principales para ventas de bicicletas en Europa estas marcas se posicionan en el top 4 de marcas con mayor venta de bicicletas en Europa en el 2022.

Una investigación más profunda de los productos ofrecidos hace resaltar que la estrategia de estas empresas es innovar a través de la venta de bicicletas especializadas para cada disciplina y su estructura les permite una producción en masa para su distribución a nivel mundial, cada producto innovador desarrollado es implementado para hacer más específico el uso de un tipo de bicicleta dentro de una disciplina determinada.

Siendo uno de los enfoques de este proyecto hacer una bicicleta más versátil es difícil ignorar el hecho de que estas compañías van en un sentido contrario, entonces, surge la pregunta, ¿cómo podemos adaptarnos a un mercado existente y crear una bicicleta más versátil?

Para eso se realizó una tabla comparativa con los diversos tipos de bicicletas ofrecidas por estas compañías para cada disciplina y se determinó qué puntos de la geometría enfocarnos para crear un mayor impacto con nuestro producto (ver **Tabla 1** en siguiente página).

**Tabla 1.** Comparación de geometría de bicicletas de diferentes especialidades.

*Nota: información sobre geometría extraída de páginas oficiales de [Trek](http://trekbikes.com), [specialized.com](http://specialized.com) y [giant-bicycles.com](http://giant-bicycles.com).*

Carretera	Tipo	Nombre	Angulo de tubo dirección (deg)	Distancia entre ejes (mm)	Rastro/Trail (mm)	Caída de pedalier (mm)	Alcance de cuadro (mm)	Altura de cuadro (mm)
<b>Carretera</b>								
Trek	Escaladora	Émonda SLR 9 AXS	73.5	983	58	70	391	563
	Gran fondo	Domane SLR 9 AXS Gen 4	71.9	1008	61	78	377	591
	Aero	Madone SLR 9 AXS Gen 7	73.5	983	58	70	391	563
	Triatlón	Speed Concept SLR 9	72.5	1020	60	80	426	541
Specialized	Gran fondo	S-Works Tarmac SL7	73.5	991	55	72	398	555
	Gravel	Diverge Expert Carbon	71.75	1042	57	80	392	610
	Cyclocross	S-Works Crux	72	1033	64	72	397	578
	Triatlón	S-Works Shiv Disc	72	1001	62	72	401	514
Giant	Escaladora	Tcr advanced sl disc 0	73	980	59.2	70	388	545
	Gran fondo	Defy advanced pro 1	72.5	998	58.2	75	377	567
	Aero	Propel advanced sl 0	73	980	59.2	68	388	545
	Triatlón	Trinity advanced pro 2	73	1003	61	65	417	539
<b>Montaña</b>								
Trek	Rally XC	Supercaliber 9.9 XX1 AXS	69	1121	96	53	440	594
	Trail	Slash 9.9 XX1 Flight Attendant	64.1	1243	134	29	469	626
	Enduro	Slash 9.9 XX1 Flight Attendant	64.1	1243	134	29	469	626
	Downhill	Session 9	63	1277	136	21	465	639
Specialized	Rally XC	Epic Pro	67.5	1148	106	48	445	591
	Trail	Stumpjumper Alloy	65-65.5	1237-1241	122-126	35-42	475-480	627-631
	Downhill	Demo Expert	62.8	1264	130	25	446	632
Giant	Rally XC	Anthem advanced pro 29 1	67.5	1159	109	42	450	593
	Trail	Trance advanced pro 29 2	65.5-66.2	1194-1195	120-126	35-45	447-456	613-619
	Enduro	Reign advanced pro 0	63.5	1246	140	35	456	632
	Downhill	Glory advanced	61.6	1293	146.2	13.3	461.2	634.9

En la **Tabla 1** comparamos algunas de las medidas que afectan la geometría de la bicicleta, separamos las bicicletas de carretera de las de montaña ya que son disciplinas muy diferentes.

Para descubrir la diferencia entre la mayor y la menor medida de cada categoría se restan entre sí en la **Tabla 2**.

**Tabla 2.** Comparación de diferencia de medidas de geometrías.

Geometría	Menor	Mayor	Diferencia
Angulo de tubo de dirección	61.6	73.5	11.9
Distancia entre ejes	980	1293	313
Rastro/Trail	55	146.2	91.2
Caída de pedaliar	13.3	80	66.7
Alcance de cuadro	377	469	92
Altura de cuadro	514	634.9	120.9

De inmediato notamos que el ángulo del tubo de dirección es la geometría que menos diferencia tiene entre su mayor medida siendo 73.5 grados para bicicletas de carretera y su menor siendo 61.6 grados en bicicletas de montaña.

Si consideramos cómo el cambio del ángulo de tubo de dirección afecta directamente a la distancia entre ejes, Rastro, inclinación de horquilla y caída de pedaliar, entonces diseñar la pieza en base al tubo de dirección es la elección correcta.

#### 4.2. Parámetros de diseño (Definir)

Entramos en la fase de definición donde nos enfocamos en las cualidades del diseño, aquí definimos que queremos que proporcione el diseño, como funciona y como queremos que luzca, buscando respuestas a las preguntas.

¿Idealmente como se ve y cómo funciona?

¿Como se mueve, en que rango?

¿Qué beneficios trae al usuario?

¿Qué tipo de herramientas debo usar para su instalación?

El prototipo ideal se vería como un soporte integrado al marco de la bicicleta y un tubo de dirección independiente que permita el rango de movimiento. El funcionamiento se basaría en un mecanismo de bloqueo y liberación controlado, permitiendo cambios de ángulo suaves y seguros durante el uso.

Sería ajustable en términos de ángulo de inclinación, los límites del movimiento son definidos por el estándar del mercado como se mostró en la **Tabla 2**, pero ¿Es realmente esta pequeña muestra representativa del estándar del mercado?

Para responder a esta pregunta enfocamos la **Tabla 3** donde comparamos algunos estándares de geometrías de bicicletas, en base a una muestra más representativa.

**Tabla 3.** Comparación de geometría entre bicicletas de carretera y montaña.

*Nota: todas las medidas y ángulos presentados están basados en promedios de la industria para cada especialidad, fuente: Blog Mammoth Bikes (2019).*

Tipo	Angulo tubo de sillín (deg)	Angulo tubo de dirección (deg)	Distancia entre ejes (mm)	Longitud tubo horizontal (mm)	Longitud de vainas (mm)
Carretera		≤ 73°			
Escaladora	74°	73°	973	540	405
Aero	73.5°	72.75°	980	547	408
Gran fondo	74°	72.8°	987	545	415
Triatlón	77° (excepción)	73°	1003	541	405
Montaña		≥ 63°			
Rally XC	74°	69.8°	1099	595	430
Maratón	75°	69°	1123	593	435
Enduro	72.5°	64.5°	1213	637	435
Downhill	72.4°	63°	1221	591.5	436

Se notan leves diferencias, se encuentra que la diferencia entre la mayor y menor medida es de 10 grados, es decir, 2 grados de diferencia en comparación a la **Tabla 2**, esto se debe a que utilizar una muestra más grande hace que las excepciones a la regla influyan menos en el resultado.



En base a los resultados de la **Tabla 3**, entonces se define que el rango de movimiento de la pieza será de 10 grados completos, entre 63 y 73 grados con respecto a la horizontal y el soporte deberá proporcionar limitadores en los ángulos máximos y mínimos donde el tubo de dirección descansa.

Modificar el ángulo del tubo de dirección trae como consecuencia que la distancia entre ejes, el rastro y la caída de la caja de pedalier también se vean alterados, algunos de los beneficios que el usuario puede sacar dependiendo del ajuste pueden ser:

- Mayor estabilidad en altas velocidades.
- Mayor maniobrabilidad en terrenos con más obstáculos.
- Una posición más ergonómica.
- Pedaleo más eficiente en subidas o bajadas.

La instalación del tubo de dirección requeriría el uso de herramientas específicas, como llaves Allen, destornilladores y posiblemente llaves de torsión, dependiendo del diseño y los sistemas de sujeción utilizados. Sin embargo, para facilitar el armado y desarmado, se puede buscar una estrategia de diseño que limite el número de piezas involucradas.

Una posible solución es utilizar elementos de ensamblaje integrados, como sistemas de bloqueo rápido o acoples que permitan una conexión segura y confiable con un número mínimo de componentes. Al reducir la cantidad de piezas y elementos de fijación, se simplificaría el proceso de instalación y se minimizarían las posibilidades de error durante el montaje.

Además, se pueden explorar diseños que optimicen la modularidad, es decir, dividir el prototipo en módulos o subconjuntos que se puedan ensamblar y desmontar de forma independiente. Esto permitiría un acceso más fácil a las partes internas y simplificaría la instalación y el mantenimiento.

En resumen, se busca diseñar una pieza con las siguientes especificaciones:

- Que ofrezca un rango de movimiento entre 63 y 73 grados.
- Que posea un mecanismo de bloqueo y liberación controlado que permita cambios suaves.
- Utilizar la menor cantidad de herramientas para su ensamblado.
- Limitar el número de piezas del componente.

Todo esto bajo las limitaciones que presenta el material a utilizar de polvo de nylon y el método de fabricación de impresión SLS

#### **4.3. Desarrollo e iteración (Desarrollar)**





##### ***4.3.1 Comparación de productos similares en el mercado***

Una vez definidos los parámetros principales de la pieza, realizamos una segunda investigación enfocando la búsqueda en productos que ofrezcan un grado de customización y que actualmente se encuentren en el mercado, buscando características similares que podamos aprovechar o referenciar en el diseño de la pieza.

Luego de esto realizamos una tabla comparativa haciendo una breve descripción del producto junto con sus ventajas y desventajas se muestra en la **Tabla 4**.

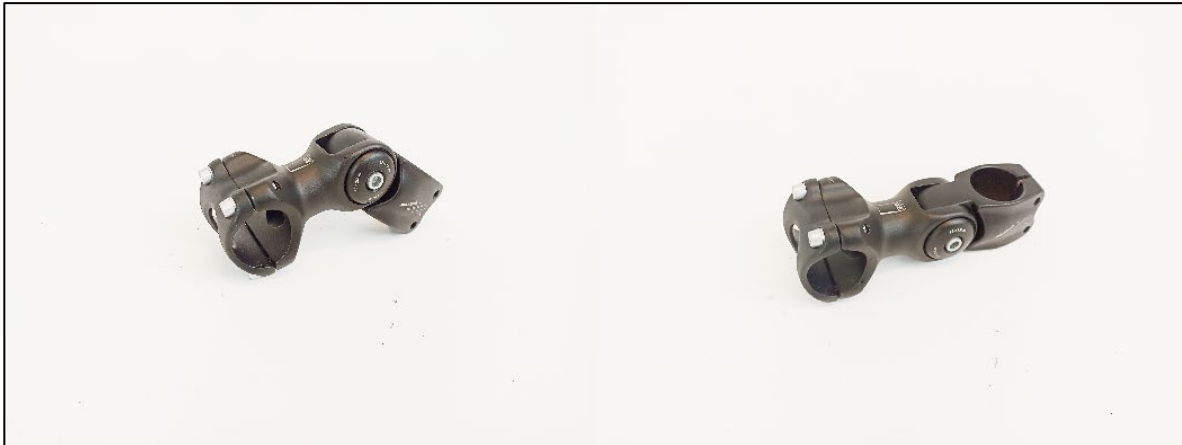
**Tabla 4.** Comparativa de productos modulares en el mercado.

*Nota: información extraída de páginas oficiales de Cyclicbikes.com, Bike.shimano.com, Infento.com y Trekbikes.com.*

Servicio/Producto	Ventajas	Desventajas
	<p>Bicicletas urbanas con un sistema modular de fabricación a mano de cuadros de fibra de carbono. Fabrican bicicletas a medida del usuario y le ofrecen la oportunidad de personalizar sus componentes más básicos.</p>	<p>Permite modificar la bicicleta para que se adapte al cuerpo del usuario, las juntas parecen resistir altos esfuerzos.</p> <p>Una vez adaptada la bicicleta, esta no permite ningún otro tipo de modificación durante recorridos al usuario.</p>
	<p>Componentes (CARRETERA, AVENTURA, MTB, E.BIKE, URBANO, TREKKING, BMX) Gear (CONCEPTO, CALZADO, PEDAL, ROPA y GAFAS) Tecnologías (Componentes, Gear) Servicios y Componentes de actualización</p>	<p>Las piezas se adaptan a muchos tipos de bicicleta, los mecanismos son versátiles. las potencias regulables ofrecen un movimiento parecido al buscado, controlando el ángulo del manubrio a través de piezas simples como un pasador con tornillos y dos tapas con muescas para ajuste.</p> <p>Las fuerzas experimentadas por los componentes son mucho menores por lo que no se sabe si se traslada bien a un componente que sufra mas esfuerzo.</p>
	<p>Kit para familias que permite construir vehículos de tamaño real. Solo se necesita un Kit y una llave hexagonal para crear rides sin parar durante toda la niñez.</p>	<p>Es un sistema de productos que tiene alto nivel de customización, permite al usuario modificar el vehículo a cualquier nivel</p> <p>el producto está enfocado para niños, las juntas no estan diseñadas para soportar altos esfuerzos.</p>
	<p>Mino Link de Trek, un sistema de geometría ajustable que permite realizar pequeños ajustes para adaptar la bicicleta a diferentes estilos o terrenos.</p>	<p>Tornillo y ajuste que permite a bicicletas de doble suspensión modificar la caída de la caja de pedaliar y ángulo de ataque de la bicicleta.</p> <p>Solo disponible para bicicletas de doble suspensión ya que es un componente extra de esta y el nivel de ajuste es solo 0.5 grados.</p>

De la **Tabla 4** dos productos resaltan por encima de los demás, la potencia ajustable de Shimano y el ajuste minolink de Trek.

La potencia ajustable de Shimano por su parte contiene un sistema de ajuste que permite graduar el ángulo del manillar. Una potencia ajustable se compone generalmente de dos partes: una parte inferior que se conecta al tubo de dirección de la bicicleta y una parte superior que se conecta al manillar (ver **Figura 18**). Estas partes pueden ajustarse mediante un mecanismo rotatorio, un mecanismo de perno o una abrazadera, que permite modificar la posición del manillar. Este sistema se puede tomar en consideración como posible solución para el diseño de la pieza.



**Figura 18.** *Potencia ajustable Shimano.*

Por otro lado, el ajuste mino link de Trek (ver **Figura 19**), permite variar el ángulo de dirección en más o menos medio grado simplemente realizando un ajuste sencillo con una llave allen. Basta con girar un tornillo hacia un lado para obtener un ángulo de dirección más relajado y una altura de pedalier más baja o, por el contrario, girarlo en sentido contrario para una dirección más reactiva. este sistema comparte muchas similitudes con el enfoque de este trabajo, sin embargo, mino link contiene limitantes como solo estar disponible para bicicletas de doble suspensión, es decir, solo disponible para una variedad de las bicicletas de montaña y que su grado de ajuste sea solo de 0.5 grados (RUIZ, A. 2017).



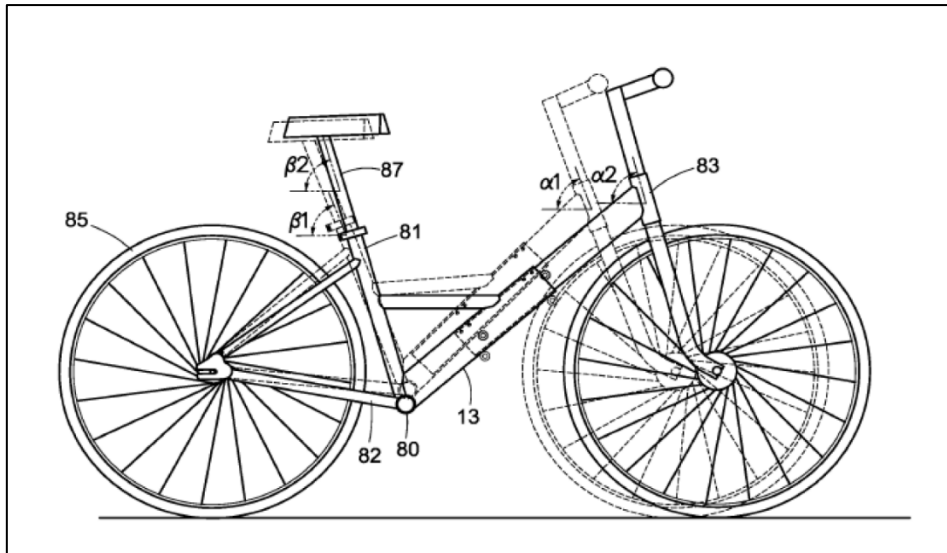
**Figura 19.** Sistema mino link de Trek.

Fuente: <https://www.onvelocycling.com/>.

A pesar de sus limitaciones, se obtiene mucha información valiosa que puede ser referenciada en el diseño final del tubo de dirección a diseñar, esta fase inicial es crucial, ya que permite explorar ideas, conceptos y posibles soluciones de diseño.

#### **4.3.2 Análisis de patentes relacionadas con el proyecto**

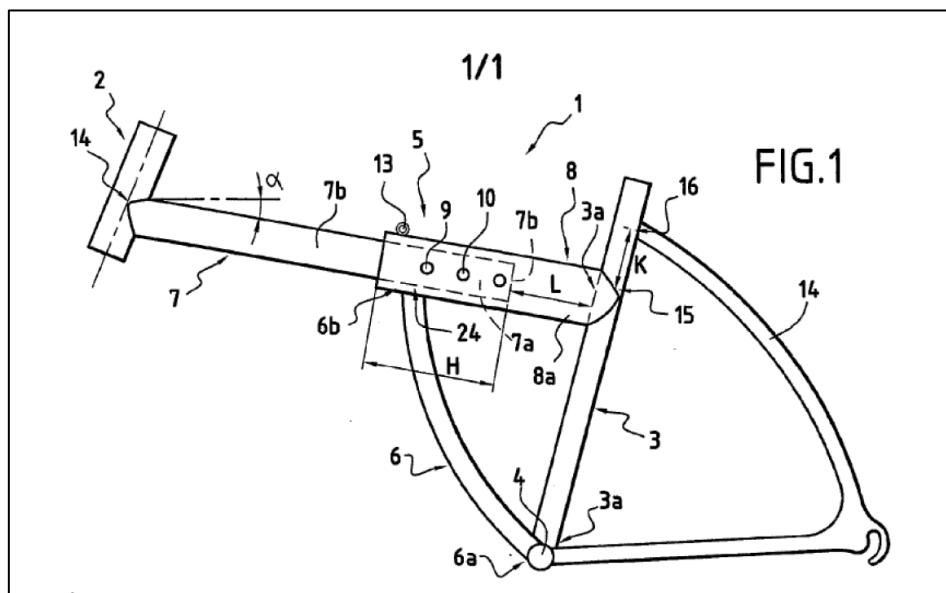
Adicionalmente, a través de la web de *Espacenet.com* se investigó sobre patentes que pudieran estar relacionadas con el proyecto, modificando una o más medidas de la geometría de una bicicleta. Dentro de los hallazgos resaltan dos; el primero, es un marco de bicicleta con tubo superior extensible desarrollado por *Stephane Dasso* y *col.* (2007) que modifica la distancia entre los ejes de las ruedas, esto trae como consecuencia modificar la posición del usuario, crear una posición más cómoda o ergonómica y modificar la bicicleta para más estabilidad (ver **Figura 20**).



**Figura 20.** Dason y col. (2007). Adjustable frame bicycle.

Fuente: <https://worldwide.espacenet.com/>

Para el segundo hallazgo se tiene una estructura de bicicleta capaz de ajustar la longitud y el ángulo del marco, desarrollado por *Hung-Chang Chao (2013)*, este producto aborda varias de las características de interés de este trabajo de investigación como lo es poder modificar el ángulo de dirección de la bicicleta y por consecuencia su geometría externa completa (ver **Figura 21**).



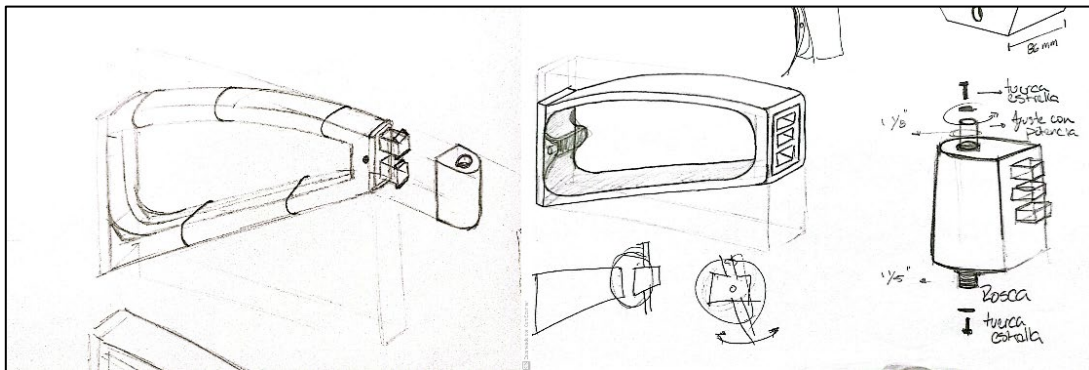
**Figura 21.** Chao, H. (2013). Bicycle frame structure capable of adjusting length and angle.

Fuente: <https://worldwide.espacenet.com/>

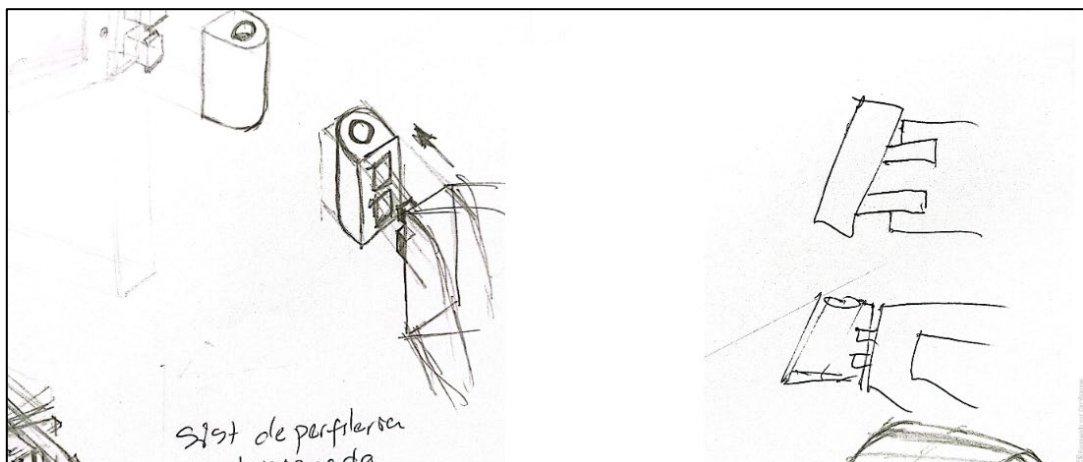
Ambas patentes y los productos mencionados en la **Tabla 4** nos ofrecen una buena referencia hacia donde apuntar el diseño de los primeros bocetos dando paso a esta etapa donde se llevaron a cabo múltiples sesiones de lluvia de ideas y se recopilaron referencias visuales relacionadas con soportes y tubos de dirección ajustables existentes en el mercado. Los bocetos iniciales se trazaron a mano, utilizando lápiz y papel, lo que permitió una mayor libertad creativa y una rápida iteración de ideas.

#### 4.3.3 Bocetos iniciales

Los primeros bocetos (ver **Figuras 22 a 26**) capturaron las formas básicas y las proporciones generales del soporte y el tubo de dirección ajustable. Se exploraron diferentes configuraciones y sistemas de ajuste, teniendo en cuenta aspectos como la funcionalidad.



**Figura 22.** Bocetos iniciales.



**Figura 23.** Bocetos iniciales 2.

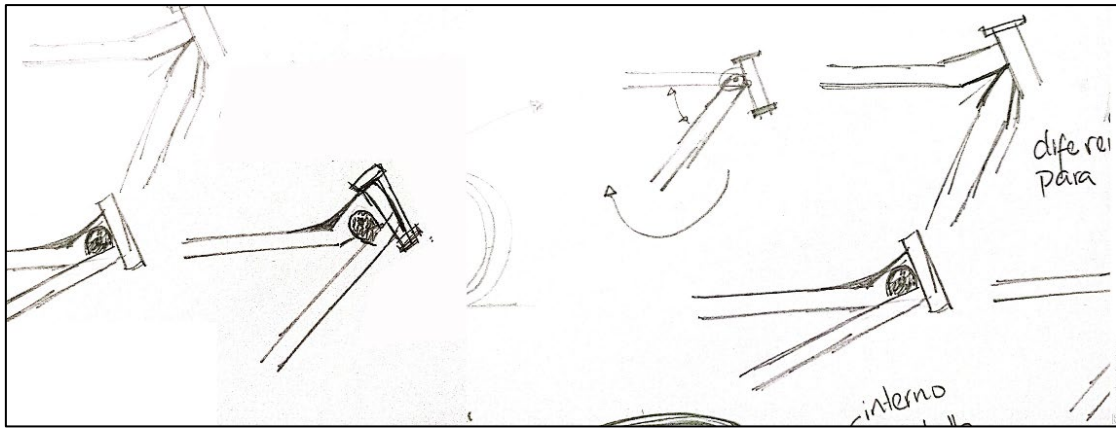


Figura 24. Bocetos iniciales 3.

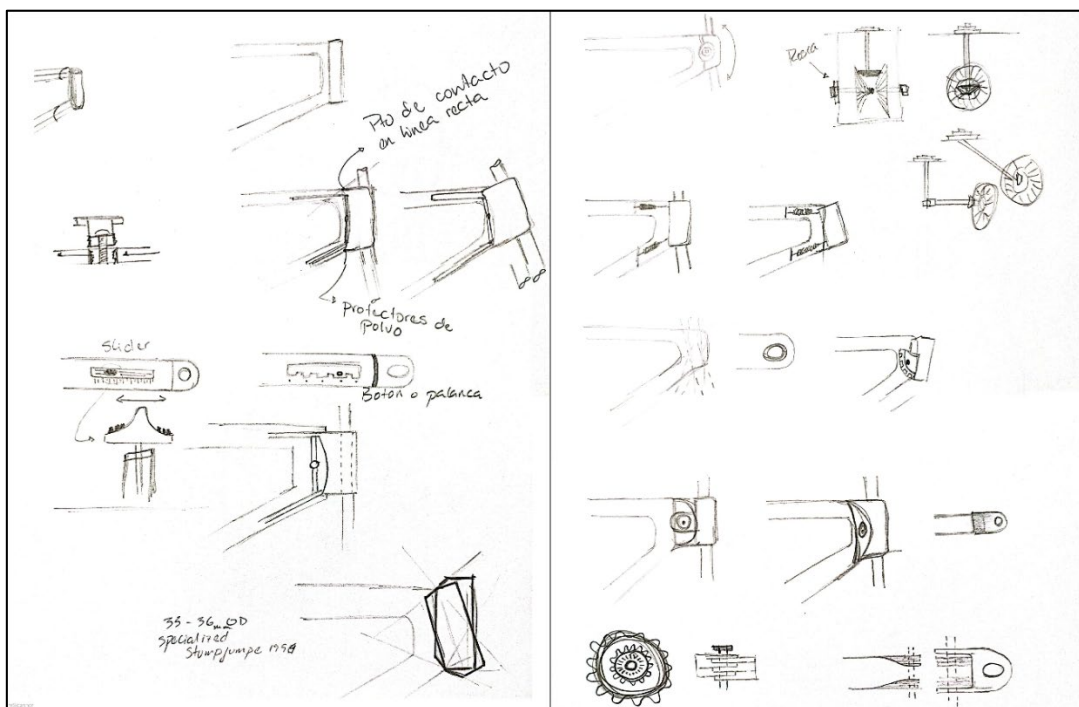


Figura 25. Bocetos iniciales 4.

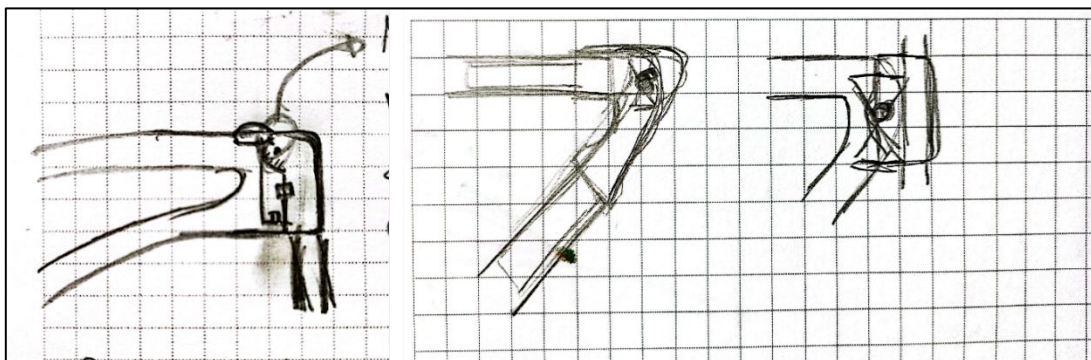


Figura 26. Bocetos iniciales 5.



Una vez que se obtuvieron varios bocetos iniciales, se realizaron revisiones y evaluaciones para identificar los conceptos más prometedores. Se tuvieron en cuenta consideraciones técnicas como las posibles piezas que conforman el diseño, el funcionamiento (que tan resistente puede llegar a ser) y si es posible su fabricación bajo el método de impresión 3D SLS establecido.

#### 4.3.4 Revisión de boceto #01

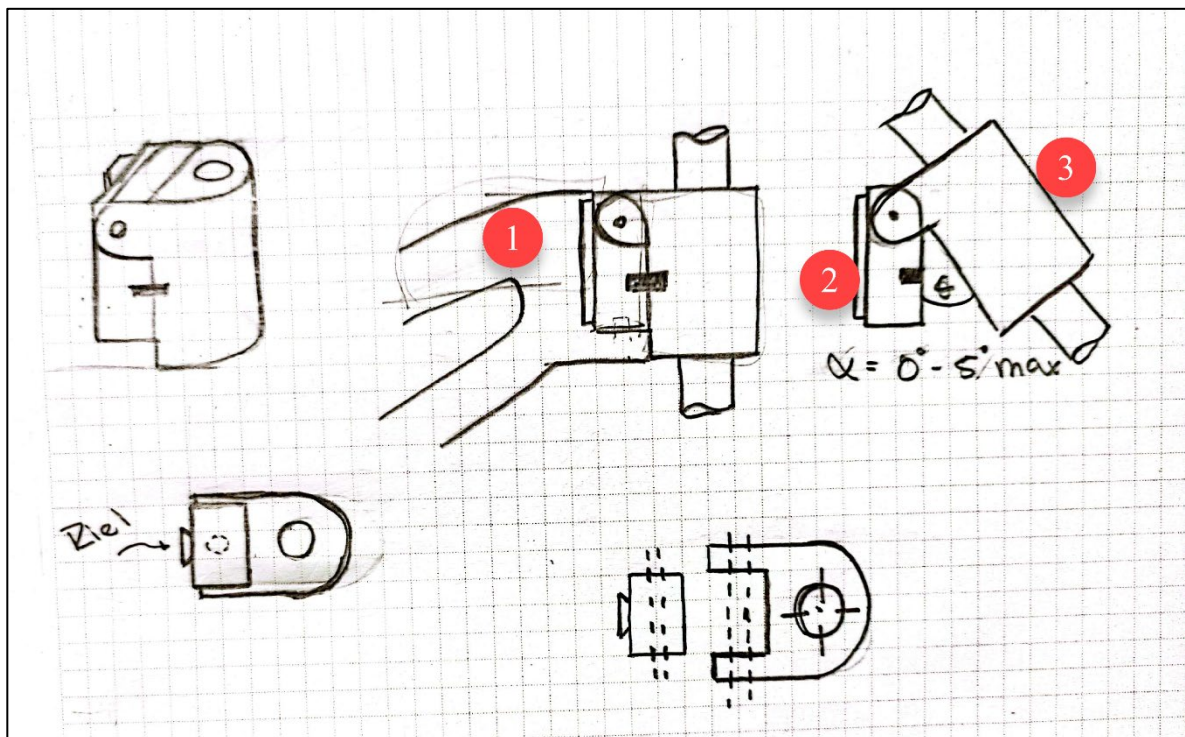


Figura 27. Revisión de bocetos #01.

##### 4.3.4.1 Descripción

El boceto observado en la **Figura 27** se compone de 3 partes. La primera **(1)** es un marco de bicicleta modificado que sirve como base, este contiene una ranura que permite que la pieza intermedia **(2)** que encaje y se asegure en ella. La base debe ser fabricada como parte del marco, es decir que se debe usar el mismo tipo de material para luego soldarlo.

La segunda **(2)** pieza es un componente intermedio que contiene dos broches de sujeción (uno por cada lado) para asegurar el tubo de dirección en su posición más baja,

dichos broches no serán impresos en nylon, deben ser elementos externos, fabricados de acero o aluminio y se acoplan a la pieza por medio de tornillos y tuercas. En la parte superior de esta, existe una ranura circular que atraviesa la pieza y por donde pasa un tornillo que ajusta el ángulo del tubo de dirección por medio de presión aprovechando la fricción que crean el tubo de dirección y el componente intermedio.

Por último, el tubo de dirección **(3)** contiene 2 pestañas en la parte superior que se ajustan con el tornillo de ajuste de la pieza intermedia para asegurar el ángulo de inclinación deseado.

#### **4.3.4.2 Desventajas**

- El proceso de fabricación de la base requiere material y proceso de formado de metal que no están disponibles para el alcance de este trabajo de investigación, se tiene que fabricar la forma de la base con la ranura para la pieza intermedia lo cual elevaría el costo de la pieza.
- El tornillo y pasador de ajuste para el ángulo de ataque del tubo de dirección está más arriba del centro de masa del tubo de dirección, esto ejerce más esfuerzo en las pestañas del tubo, a medida que el ángulo es más abierto se ejerce más esfuerzo y por lo tanto más desgaste.
- La fricción entre las pestañas del tubo de dirección y la pieza intermedia puede ser muy baja para soportar las fuerzas presentes en una bicicleta.
- Las piezas pueden llegar a ser muy gruesas para su fabricación en otro material.

#### **4.3.4.3 Recomendaciones de mejora**

- Evitar usar métodos de fabricación en acero o aluminio para la fabricación del prototipo.
- Eliminar la necesidad de una pieza intermedia que sirva como conexión entre el marco de la bicicleta y el tubo de dirección.

- Bajar la posición del centro de giro del componente para que esté más cercano al centro de masa del tubo de dirección.
- Mejorar el acople del centro de giro por un sistema que ofrezca más fuerza.

Mediante esta evaluación detallada, se han identificado áreas de mejora y oportunidades para optimizar la funcionalidad de la pieza y permitir establecer un camino más claro para el diseño de la pieza final.

#### 4.3.5 Revisión de boceto #02

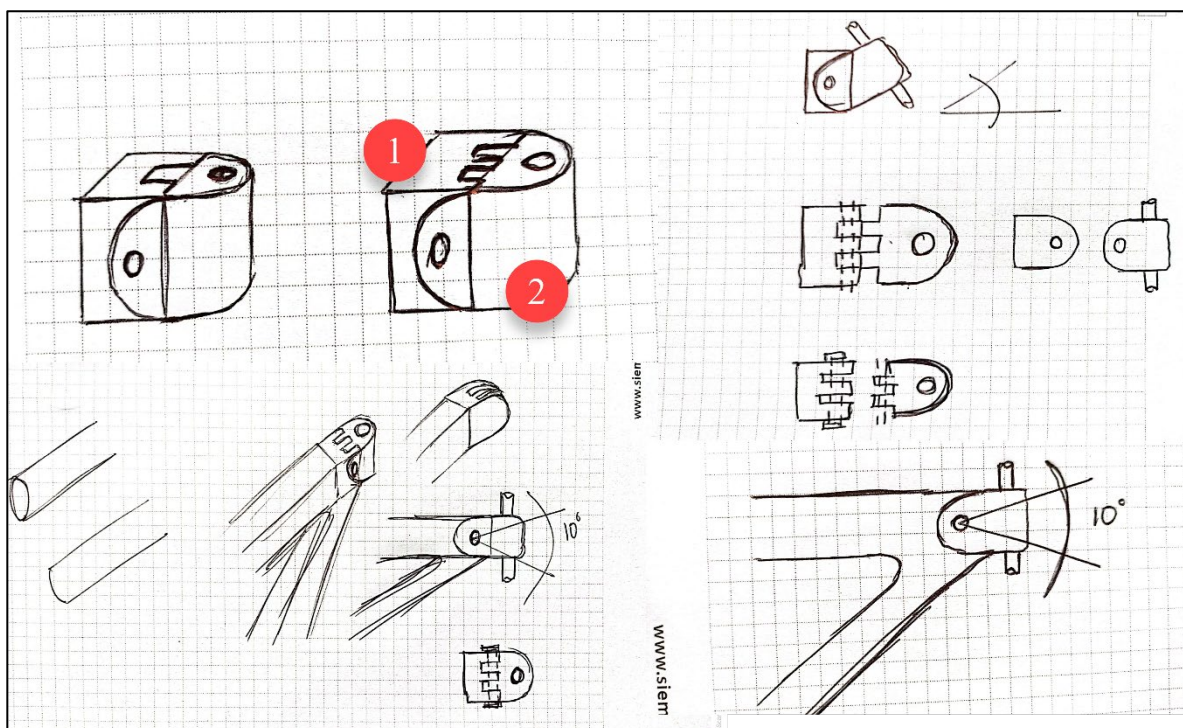


Figura 28. Revisión de boceto #02.

##### 4.3.5.1 Descripción

En la **Figura 28** se observa el segundo boceto sometido a revisión como uno de los más prometedores, está compuesto por dos piezas. La primera **(1)** es una base soldada al marco de la bicicleta, esta base está compuesta por varias pestañas semicirculares, estas se agregan al diseño para permitir que encaje con el tubo de dirección por medio de un tornillo que pasa a través de toda la pieza. Estas pestañas también cumplen la función de ejercer fricción entre ellas y el tubo de dirección para evitar el movimiento una vez esté

asegurada la pieza. Entre más pestañas se agregan más fricción es ejercida y por lo tanto más fuerte es la unión.

El segundo **(2)** componente es el tubo de dirección que sigue una forma similar a la base, agregando las pestañas necesarias para encajar con la base, el centro de giro se coloca en el centro de los semicírculos que conforman las pestañas y se utiliza un tornillo y tuerca para realizar el ajuste y asegurar el movimiento.

#### **4.3.5.2 Desventajas**

- El proceso de fabricación de la base requiere material y proceso de formado de metal que no están disponibles para el alcance de este trabajo de investigación.
- La pieza no posee componentes para limitar el rango de movimiento haciendo que medir la exactitud del ángulo sea más difícil.
- Posibilidad que el roce de las pestañas no sea suficiente para soportar el esfuerzo sometido en la pieza.

#### **4.3.5.3 Recomendaciones de mejora**

- Evitar usar métodos de fabricación en acero o aluminio para la fabricación del prototipo.
- Iterar diseños de acople de base con marco de bicicleta.
- Modificar los componentes para mejorar la precisión del movimiento angular.
- Iterar la cantidad de pestañas necesarias para mayor resistencia una vez la pieza está asegurada.

Durante esta revisión, se han tenido en cuenta los comentarios y las observaciones de la revisión anterior, lo que ha permitido realizar mejoras y cambios de funcionalidad y geometría adicionales. Se han solucionado problemas identificados y se ha optimizado la estética y facilitado la fabricación de la pieza.

### 4.3.6 Revisión de boceto #03

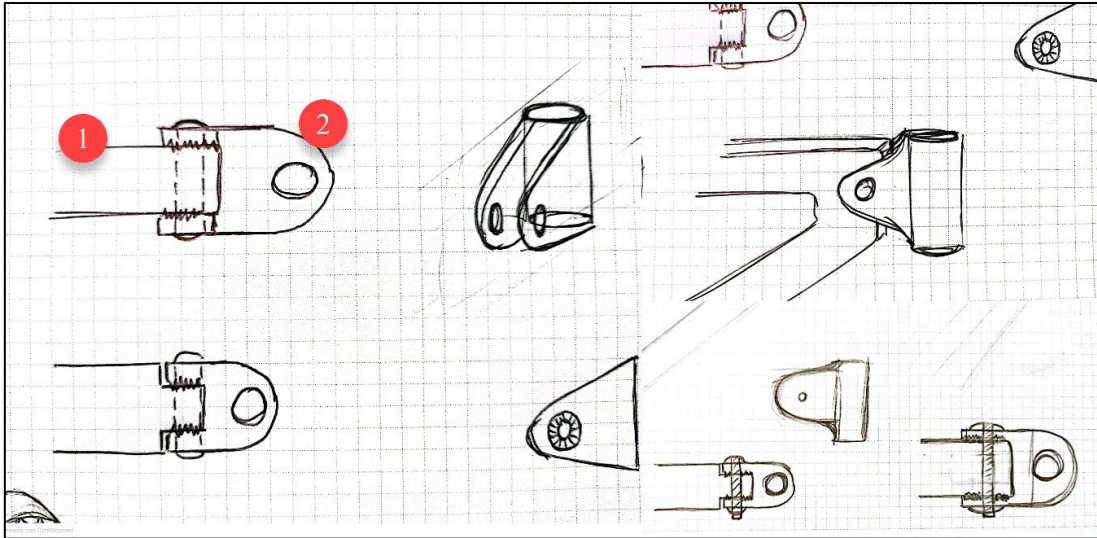


Figura 29. Revisión de boceto #03.

#### 4.3.6.1 Descripción

Para el boceto 3 mostrado en la **Figura 29**, se tomaron elementos de los bocetos anteriores, se tomó una instalación similar a la **Figura 27**, eliminando la pieza intermedia haciendo que el tubo de dirección se acople directamente al marco de la bicicleta (**1**), y de la **Figura 28** se toma la forma del tubo de dirección (**2**), se eliminan las pestañas sobrantes para solo dejar las pestañas externas y se agregan uniones dentadas para regular el movimiento de la pieza.

La base que forma parte del marco de la bicicleta también tiene uniones dentadas que se acoplan al tubo de dirección, esto ayuda a regular mejor el ángulo de ataque y evita que la pieza dependa de la fricción entre los materiales para mantener una posición específica.

#### 4.3.6.2 Desventajas

- Al igual que las revisiones anteriores, la base está adherida al marco de la bicicleta por lo tanto los métodos de fabricación y formado no están disponibles debido a las limitaciones del trabajo.

- Los dientes de las uniones son muy pequeños lo cual hará su impresión más difícil.
- El rango de movimiento sigue sin estar limitado, es decir la pieza se puede mover más de 10 grados.

#### **4.3.6.3 Recomendaciones de mejora**

- Evitar usar métodos de fabricación en acero o aluminio para la fabricación del prototipo.
- Iterar diseños de acople de base con marco de bicicleta.
- Aumentar tamaño de uniones dentadas para aumentar la cantidad de esfuerzo que la pieza puede soportar.

La revisión del tercer boceto ha logrado combinar las características más prometedoras de los bocetos anteriores. Se han tomado en cuenta los elementos destacados del primer y segundo boceto, y se han implementado para mejorar la funcionalidad, la estética y la viabilidad de la pieza.

Esta revisión ha permitido afinar y pulir aún más el diseño, buscando un equilibrio entre forma y función. Se han abordado algunas de las preocupaciones de comentarios previos, y se han realizado ajustes para optimizar el producto final.

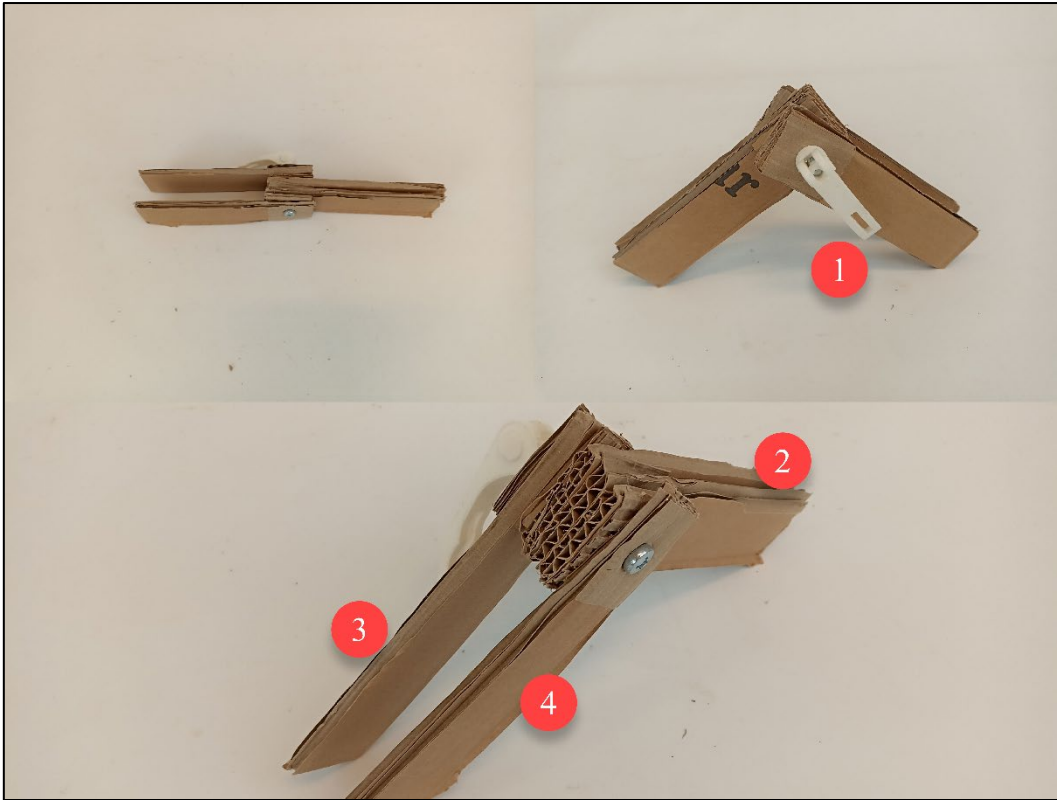
#### **4.3.7 Prototipos v1 y v2**

Como primera acción se construyen dos versiones del mecanismo del boceto mostrado en las figuras anteriores para darnos una idea de cómo se vería el funcionamiento de la pieza y se prueban diferentes métodos de sujeción como lo son el tornillo con tuerca mariposa y palanca de liberación rápida (quick release).

Ambos métodos de sujeción son perfectamente viables para el alcance de este proyecto, pero se tomará la opción de tornillo y tuerca como el método de sujeción para los prototipos debido a la mayor resistencia que este método ofrece, el costo es menor y es más fácil y rápido de adaptar a cualquier prototipo.



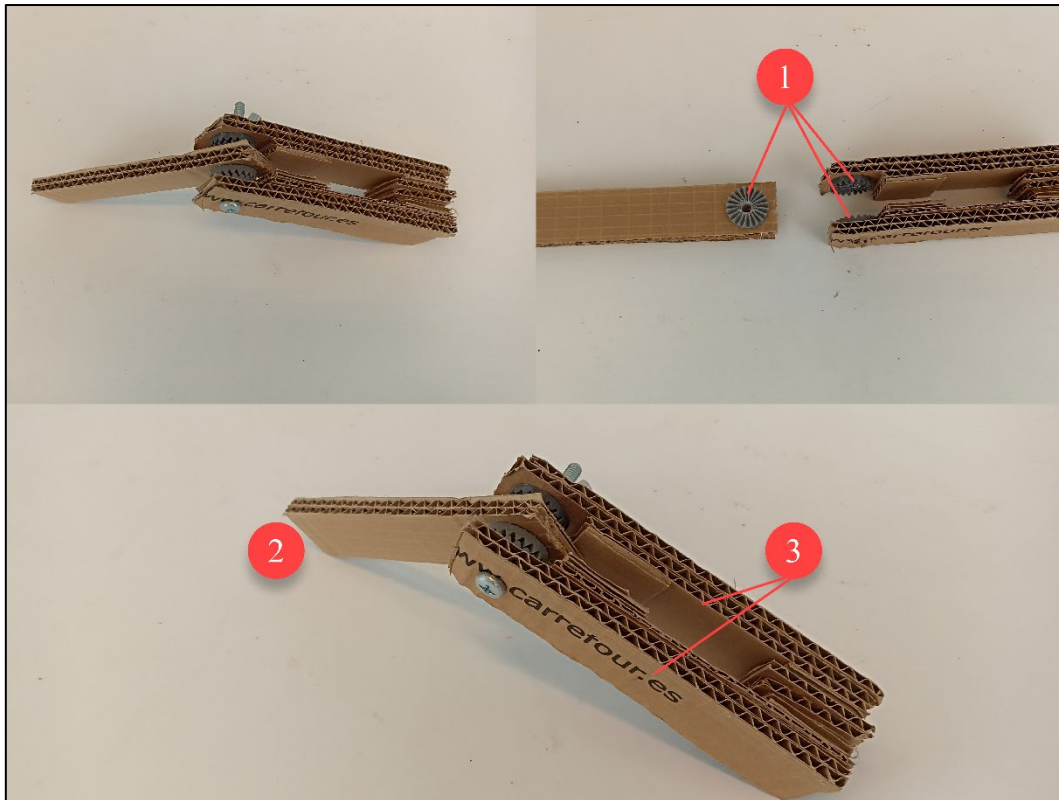
#### 4.3.7.1 Prototipo v1



**Figura 30.** Modelo de cartón por fricción (Quick reléase).

Para este prototipo (ver **Figura 30**) se utiliza una palanca de liberación rápida (1) como método de sujeción, la cual cumple su función sin ningún problema y evita que la pestaña central (2) equivalente a el tubo de dirección se mueva con respecto a las pestañas de los extremos (3, 4) equivalentes a la pieza base o marco. Cabe resaltar que la fuerza aplicada en estos prototipos de cartón es muy pequeña ya que solo sirven como un ejemplo rápido y sin coste para demostrar el movimiento de la pieza.

#### 4.3.7.2 Prototipo v2



**Figura 31.** Modelo de cartón con uniones dentadas (tornillo y tuerca mariposa).

Este prototipo (ver **Figura 31**) incluye 4 ruedas dentadas (1) diseñadas en fusión 360, una herramienta de diseño 3D y fueron fabricadas con filamento PLA en una impresora 3D, esta versión utiliza tornillo y tuerca mariposa como método de sujeción, que al igual que la palanca de liberación rápida es un método perfectamente adecuado para demostrar el funcionamiento del movimiento de la pieza.

Este prototipo muestra mejor sujeción debido a la inclusión de las ruedas dentadas y es mucho más fácil de graduar. La diferencia de fuerzas que puede resistir en comparación a la versión 1 realmente no es representativa ya que el material utilizado (cartón) no tiene las propiedades indicadas para realizar este tipo de pruebas.

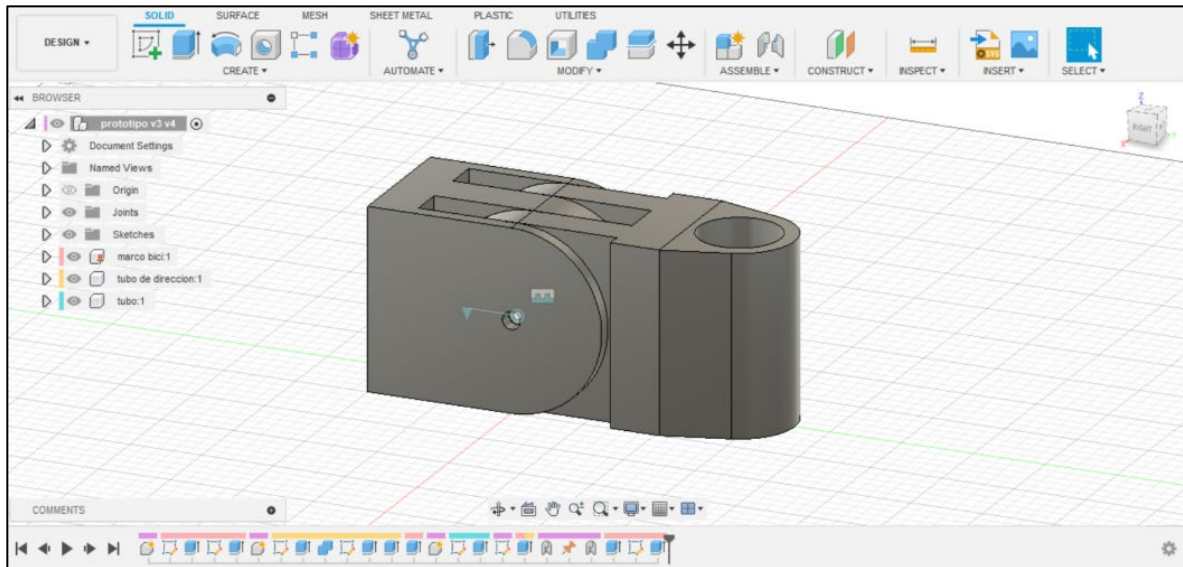
#### 4.3.8 Prototipos v3 y v4

Estos primeros bocetos y prototipos fueron la base para desarrollar diseños más detallados utilizando herramientas de diseño asistido por computadora (CAD). Los bocetos



se digitalizaron y se utilizaron como referencia para crear modelos en 3D, lo que permite una mejor visualización y evaluación de los diseños propuestos.

#### 4.3.8.1 Prototipo v3



**Figura 32.** Prototipo v3 modelo 3D.

*Nota: Piezas modeladas en Autodesk Fusion 360.*

Modelar los bocetos en 3D permite visualizar con más detalle la pieza, diseñar el tipo de movimiento que realizan y evaluar si existe alguna interferencia entre las piezas. Para este prototipo (ver **Figura 32**) no nos enfocamos en diseñar con medidas precisas sino en el funcionamiento de la pieza, para esto nos apoyamos en el laboratorio de impresión 3D de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Diseño (ETSID) para generar los prototipos mediante impresión FDM en material PLA.

A pesar de que este método de impresión no ofrece la resistencia o el acabado requerido, pero nos permite realizar un prototipado rápido y efectivo, para evaluar la pieza físicamente y darnos una idea de cómo se vería el producto final como se muestra en la **Figura 33**.

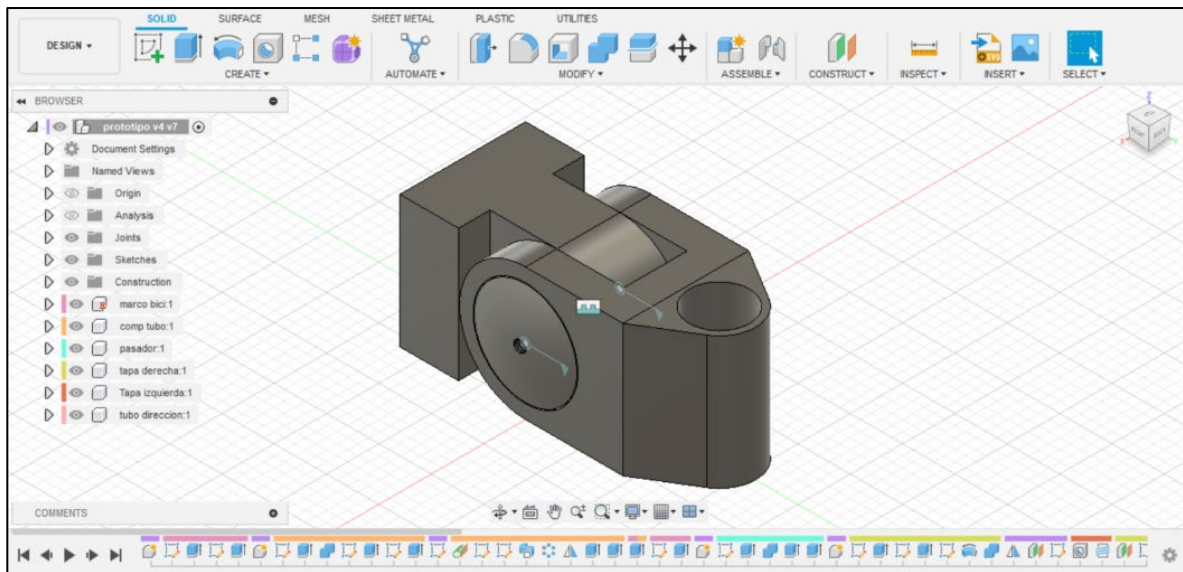


**Figura 33.** *Prototipo v3 modelo impreso en PLA.*

Al prototipo mostrado en la **Figura 33** se agrega un tornillo y tuerca mariposa para ajustar el ángulo del prototipo, una vez ajustado se observa que este ofrece una buena resistencia al movimiento y es fácil de ajustar entre una posición y otra.

A pesar de que se puede observar que el prototipo cumple la función por la cual se diseñó, sigue mostrando algunas de las desventajas mencionadas anteriormente, como lo es la dificultad para instalar la base y la falta de resistencia que ejercen las pestañas para soportar las fuerzas ejercidas sobre la bicicleta, también se observa que el movimiento repetido para ajustar el ángulo de la pieza trae como consecuencia un rápido desgaste en el material, concluyendo que ésta no es una solución viable teniendo en cuenta que el material elegido para el producto final será el polvo de nylon que, a pesar, de poseer mejores características mecánicas que el PLA, sigue sin ser lo suficientemente resistente para soportar altos esfuerzos bajo este diseño del prototipo v3.

### 4.3.8.2 Prototipo v4

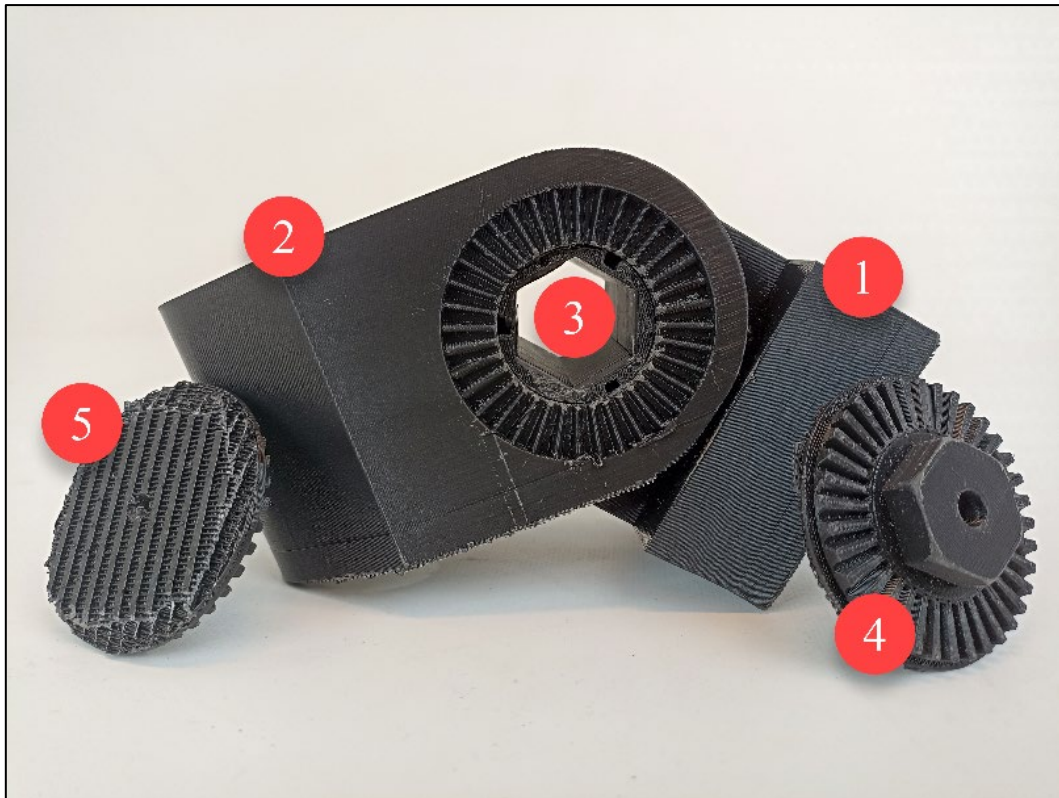


**Figura 34.** Prototipo v4 modelo 3D.

*Nota: Piezas modeladas en Autodesk Fusion 360.*

Para el modelo 3D de este prototipo (ver **Figura 34**) se hicieron algunas modificaciones con respecto al boceto mostrado en la **Figura 29**, el nuevo modelo muestra similitudes con el mecanismo de la potencia ajustable mostrada anteriormente, ya que se incluye un pasador y se separan las ruedas dentadas del cuerpo principal de la pieza. A pesar de que se incrementa el número total de componentes, estas modificaciones permiten un movimiento más preciso y robusto.

Se procede a evaluar el modelo simulando el movimiento que éste realizará para luego llevarlo al proceso de impresión en PLA.



**Figura 35.** *Prototipo v4 modelo impreso en PLA.*

El prototipo (ver **Figura 35**) muestra una solución prometedora, es robusto y fácil de ajustar a través de un tornillo y tuerca, esta versión consiste en 5 piezas, **(1)** la base, la cual debe ser adaptada al marco para que pueda ser instalada sin necesidad que sea fabricada y soldada en otro material, **(2)** el tubo de dirección, el cual efectúa el movimiento, **(3)** un pasador que atraviesa tanto la base como el tubo de dirección y permite que estas piezas puedan interactuar sin desprenderse, por último, **(4) (5)** dos tapas circulares dentadas que aseguran y regulan el ángulo de todo el modelo.

En conclusión, se determinó que el prototipo v4 es el más indicado para seguir desarrollando ya que se estima que este modelo presente mayor resistencia una vez impreso en nylon. De igual forma, luego de su evaluación surgen algunas recomendaciones para su mejora.



- La base del modelo debe estar fabricada en el material sujeto de este trabajo de investigación, es decir, que se debe hacer una adaptación para que esta pieza pueda encajar en el marco de una bicicleta.
- Se debe agregar como parte del modelo una estructura que limite el movimiento del tubo de dirección para que solo permita un movimiento completo de 10 grados como se ha establecido en puntos anteriores.
- Graduar los dientes de las ruedas dentadas para regular la cantidad de grados que estas puedan girar para evitar causar daños a los dientes al fijarse en una posición no esperada.

Teniendo en cuenta estas recomendaciones procedemos a iterar con modelos 3D basados en el prototipo v4, en esta fase enfocaremos los diseños a medidas específicas ya que serán implementados en una bicicleta de carretera tipo urbana mostrada en la **Figura 36**.

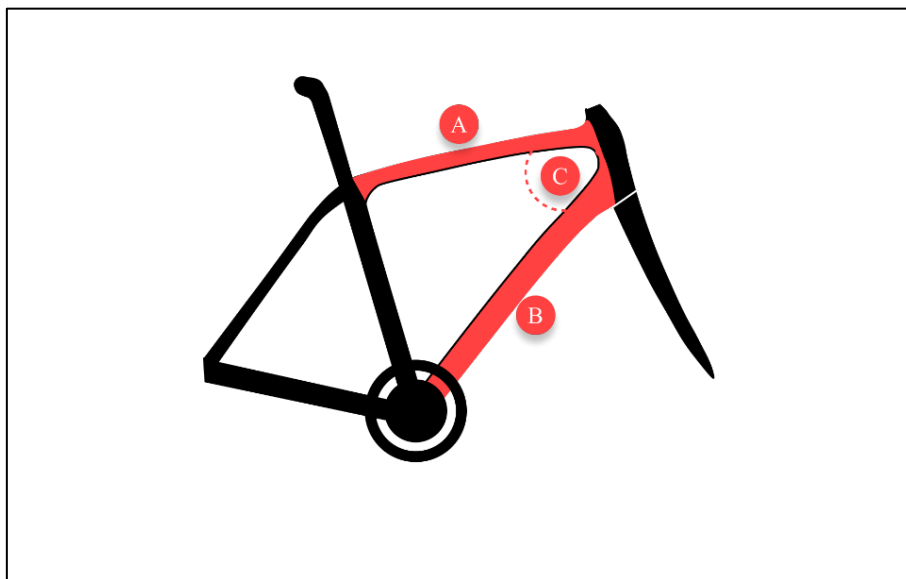


**Figura 36.** *Bicicleta base para modelado de piezas.*

Todo boceto, modelo y prototipo estará basado en medidas referentes a esta bicicleta, por esa razón el siguiente paso es tomar las medidas necesarias para implementarlas en los nuevos diseños.

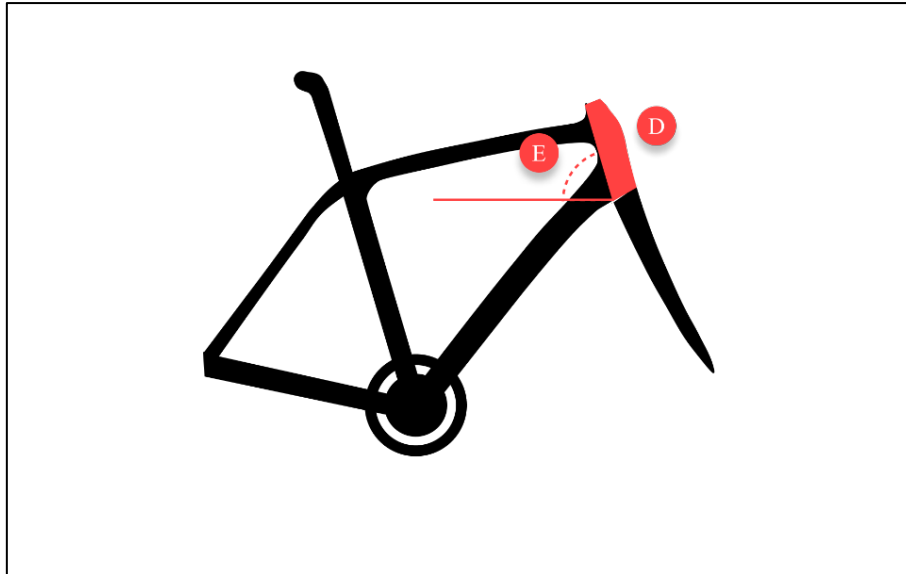
#### 4.3.9 Prototipo v5

Las medidas a tomar en cuenta serán las correspondientes al tubo superior, tubo inferior, y tubo de dirección de la bicicleta (ver **Figura 37**), cada una con su respectiva longitud, diámetro y ángulo característico.



**Figura 37.** Medidas de referencia tubo superior e inferior.

Para el tubo superior (A) se tiene una longitud de 535 mm con un diámetro externo de 32,2 mm y un espesor de tubo de ~2mm, para el tubo inferior (B) se tiene una longitud de 585 mm con un diámetro externo de 35 mm y un espesor de tubo de ~2mm, el ángulo (C) formado entre los dos tubos es de ~37 grados.



**Figura 38.** Medidas de referencia tubo de dirección.

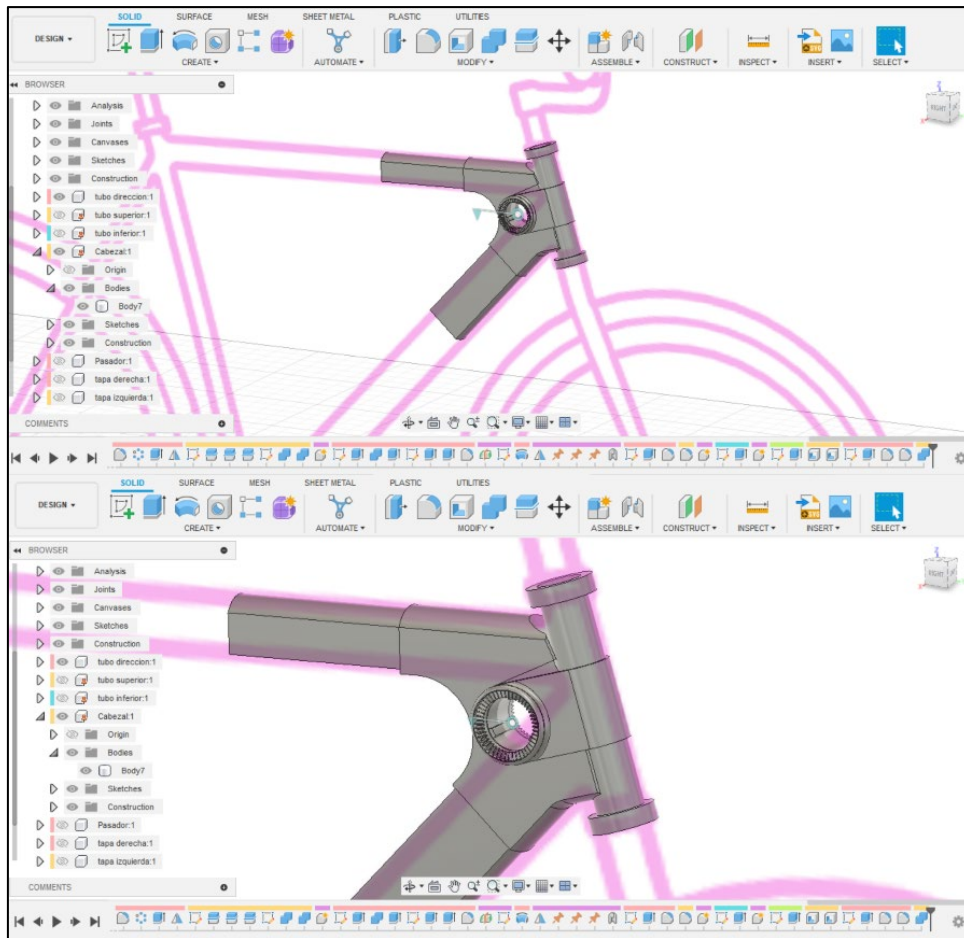
Para el tubo de dirección (D) (ver **Figura 38**) se tiene una longitud de 120 mm, un diámetro externo de 34.2 mm y un espesor de tubo de ~2 mm, el ángulo de inclinación (E) con la horizontal es de 72.1 grados.

Una vez tomadas las medidas de referencia, volvemos a la herramienta fusión 360 para iterar en base a la información recolectada de prototipos anteriores.

Para esta parte del proceso nos enfocamos en diseñar una base o esqueleto que pueda instalarse en el marco de la bicicleta sin requerir procesos especiales como el soldado, dicha base debe también limitar el movimiento del tubo de dirección a los ángulos máximos y mínimos establecidos, de 63 y 73 grados.

Como resultado se obtuvo el prototipo v5. Para este modelo se agregó una imagen de referencia con las medidas obtenidas y se modeló encima de esa imagen.

Para la base se tomó una forma que ocupara el espacio entre los tubos superior e inferior, esto implica que parte del marco de la bicicleta debe ser cortado para que esta pieza pueda encajar debidamente como se muestra en la **Figura 39**.



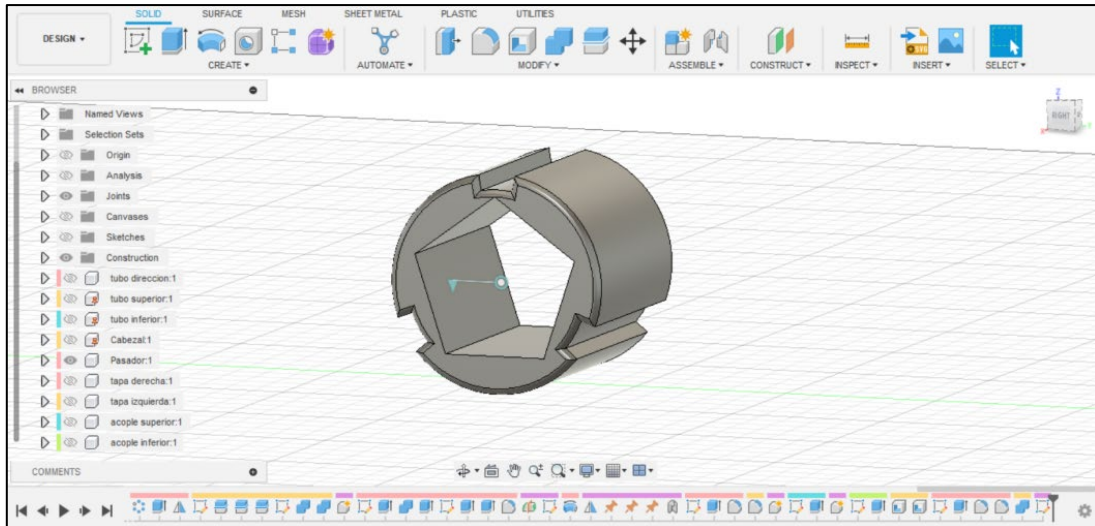
**Figura 39.** Modelo 3D prototipo v5.

*Nota: Piezas modeladas en Autodesk Fusion 360.*

El agujero pasante se coloca en el espacio entre los dos tubos a una distancia de 55 mm del centro del tubo de dirección, dicho agujero tiene un diámetro de 35 mm y dentro se encuentran 3 rieles rotados cada 120 grados para permitir que el pasador se ajuste a la base (ver **Figura 40**).

Esta pieza también posee dos tubos soporte que se introducen en los tubos superior e inferior huecos de la bicicleta, estas extensiones sirven para instalar la base a la bicicleta y ofrecer mayor estabilidad al componente.

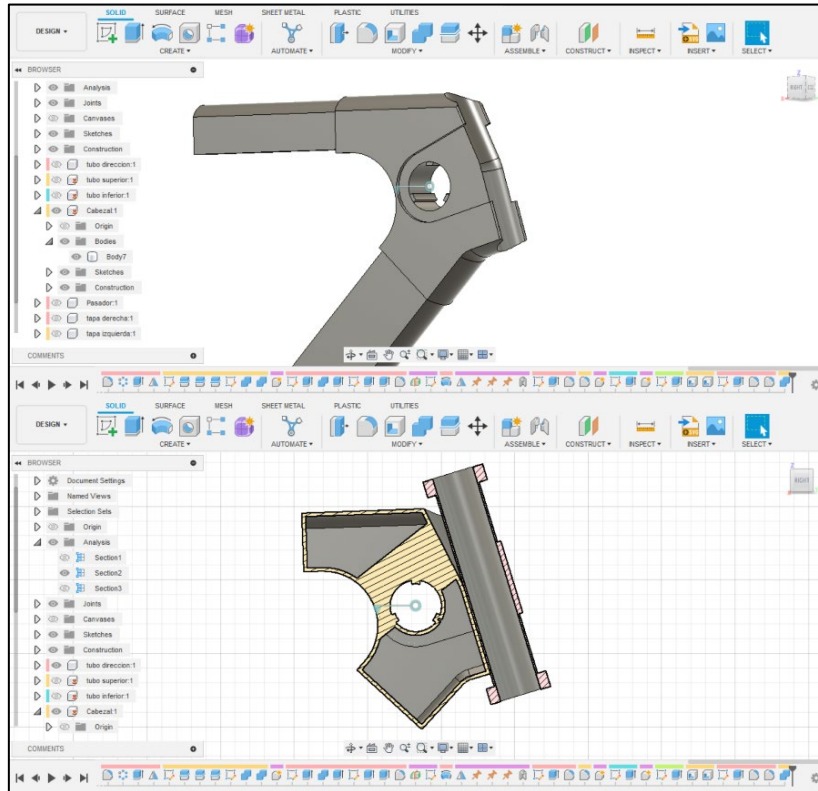




**Figura 40.** *Pasador prototipo v5.*

*Nota: Piezas modeladas en Autodesk Fusion 360.*

Por último, la base ofrece puntos de apoyo para el tubo de dirección limitando el ángulo máximo y mínimo que este puede moverse. Estos puntos de apoyo forman un canal semicircular que sigue la forma del tubo de dirección (ver **Figura 41**).

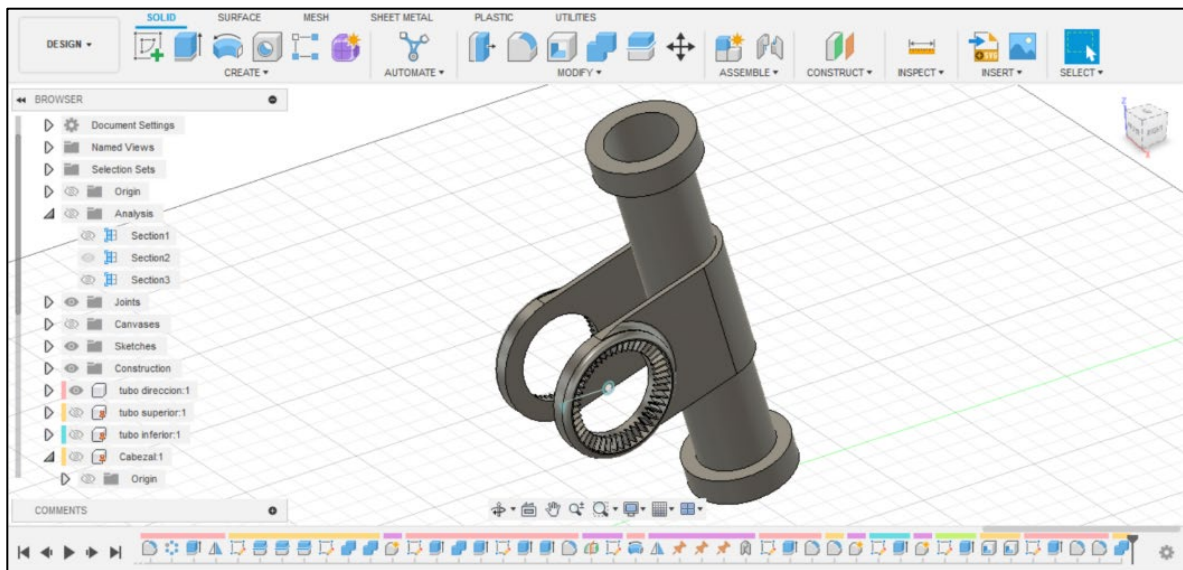


**Figura 41.** *Base prototipo v5.*

*Nota: Piezas modeladas en Autodesk Fusion 360.*

Se realizó un vaciado de la pieza para evitar consumir exceso de material durante el proceso de impresión y disminuir el peso de la pieza en general.

El tubo de dirección tiene una configuración bastante simple con una abrazadera que une el tubo con las ruedas dentadas que servirán para ajustar el ángulo de ataque, este diseño hace que el centro de giro se desplace 55 mm del centro de masa del tubo de dirección (ver **Figura 42**).



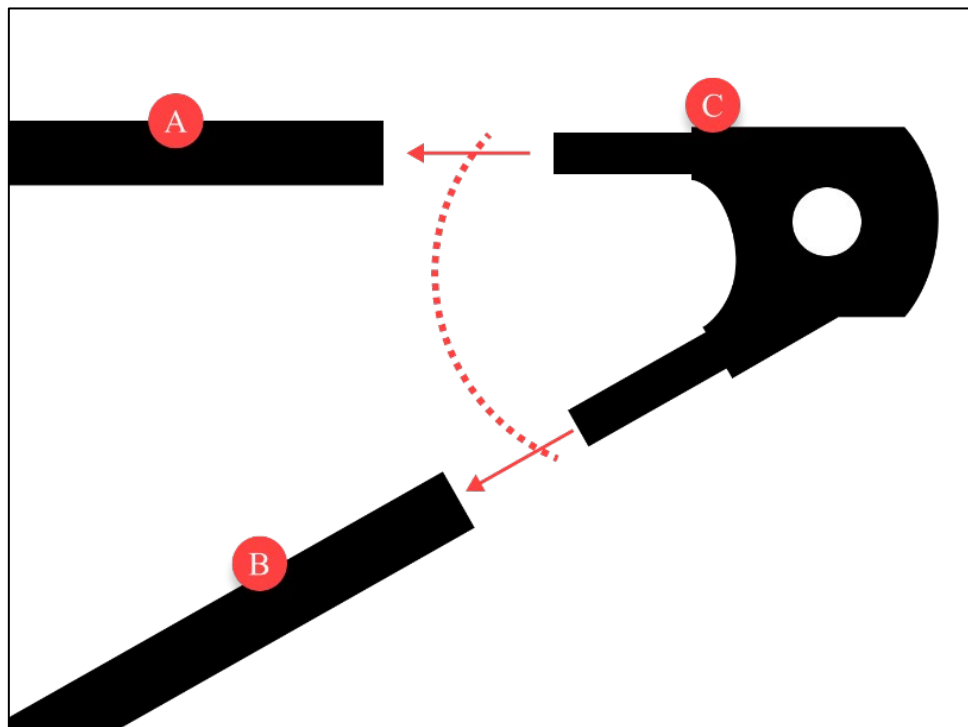
**Figura 42.** *Tubo de dirección prototipo v5.*

*Nota: Piezas modeladas en Autodesk Fusion 360.*

Luego de modelar las piezas del prototipo v5 se consultó con el profesor Pedro Ayala del laboratorio de prototipos de la ETSID, buscando consejo sobre posibles mejoras para el funcionamiento y refinar el acabado para su impresión en polvo de nylon, con lo que concluimos que:

- El centro de giro del modelo estaba muy cercano al centro del tubo de dirección por lo que el modelo no soportaría las fuerzas ejercidas una vez el usuario se monte en ella.
- La unión del tubo de dirección con las ruedas dentadas se debería mejorar para hacer la pieza más robusta y esta pueda soportar mayores esfuerzos.

- La base del prototipo no estaba optimizada para la impresión en SLS debido al vaciado que presenta. Además, que el vaciado restaba resistencia estructural al sistema.
- Debido a los ángulos de los tubos superior e inferior de la bicicleta, si mantenemos la base y los tubos soporte unidos como un solo cuerpo, esto no permitiría que la pieza encaje como debería, se muestra un diagrama en la **Figura 43** para mejor visualización.



**Figura 43.** Diagrama de encaje de base y tubos extensores.

*Nota: (A) tubo superior de bicicleta, (B) tubo inferior de bicicleta, (C) Base de prototipo v5.*

Para buscar una solución a cada uno de los puntos mencionados anteriormente se propuso lo siguiente:

- El centro de giro se alejará del centro de masa del tubo de dirección, también se incrementará el diámetro del agujero del centro de giro tanto en la base como en el tubo de dirección.

- El incremento del diámetro del agujero de giro también afectará el tamaño del pasador que se ajusta en la base y la unión entre la rueda dentada y el tubo de dirección creando una pieza más robusta.
- Se modificará la base con un vaciado, quitando las paredes de la pieza para reemplazarlas por nervios que ofrezcan soporte estructural, la misma condición se aplicará en la unión entre la rueda dentada y el tubo de dirección.
- Los tubos extensores serán separados de la pieza base para adaptarlos a la impresión SLS.
- La base se dividirá en dos partes para que se puedan insertar individualmente en los tubos de la bicicleta, para luego unirse.

#### 4.3.10 Prototipo v6

Antes de modelar este prototipo se realizaron algunos bocetos para la base y el tubo de dirección para darnos una idea de cómo distribuir los nervios en las piezas y como modelar las nuevas formas, resultando en las **Figuras 44 y 45**.

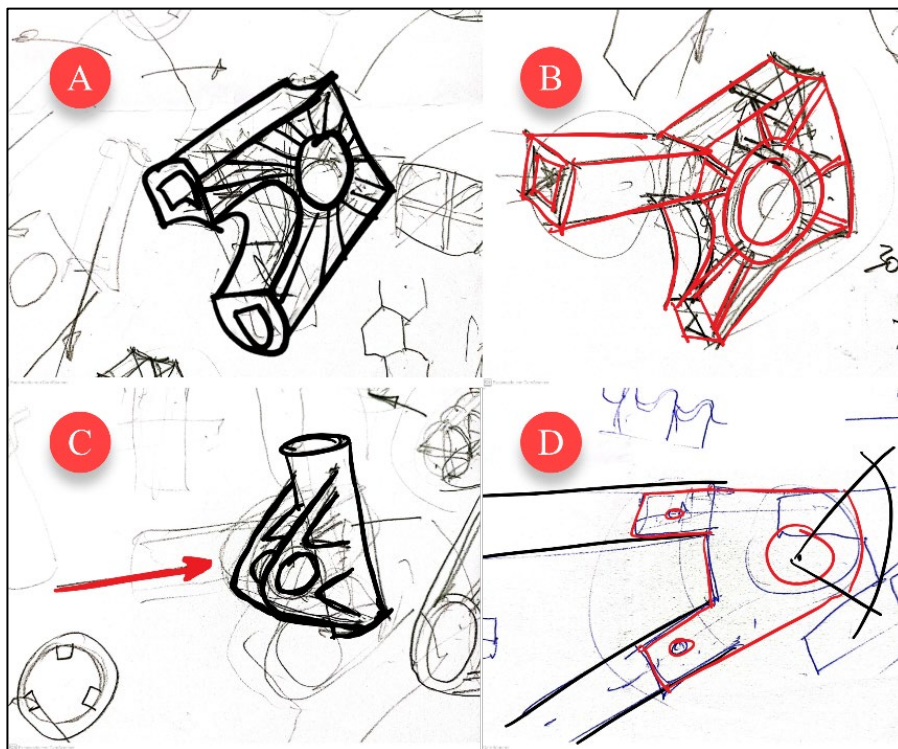
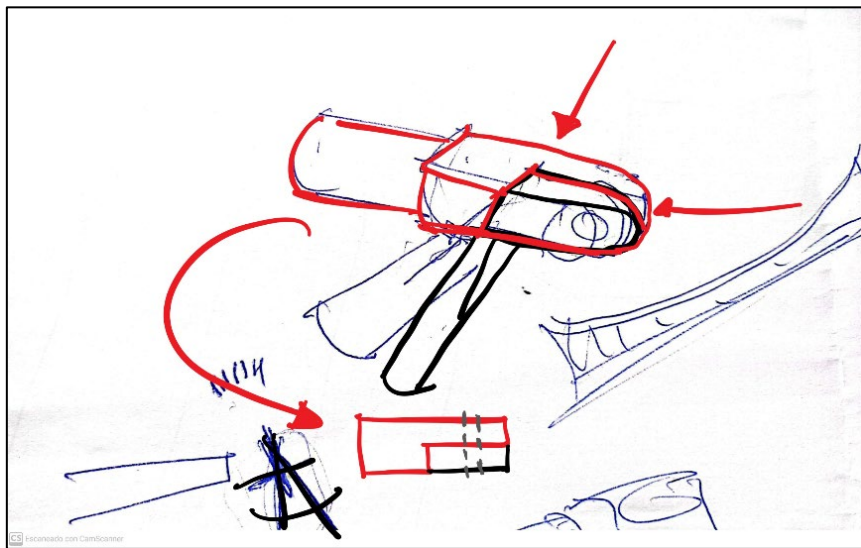


Figura 44. Boceto de base de prototipo v6.

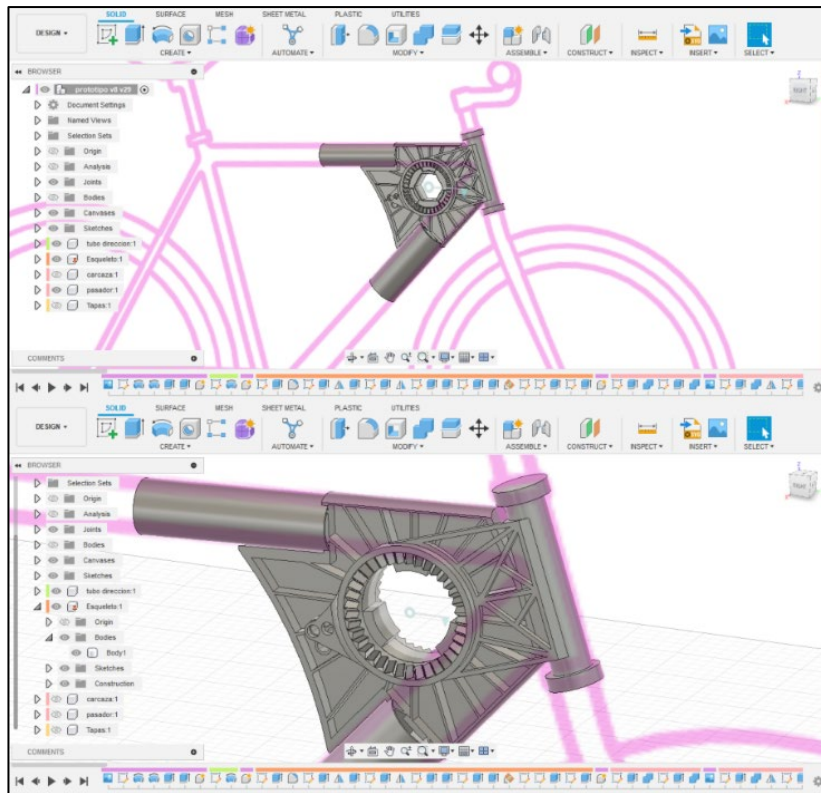
En la **Figura 44** se muestran 4 bocetos, los bocetos **A** y **B** muestran la forma general de la estructura de la base donde los nervios están distribuidos alrededor del eje circular que conforma el agujero del pasado. El boceto **B** muestra también el perfil de los nervios y una pared sólida que divide la pieza en lado izquierdo y derecho. El boceto **C** muestra una versión alterna del tubo de dirección. Por último, el boceto **D** muestra la base ya acoplada al marco de la bicicleta luego de unir las dos piezas individuales que conforman la base.



**Figura 45.** Boceto de tubo de dirección prototipo v6.

Luego en la **Figura 45** se muestra un boceto aproximado de como la base será dividida en dos partes para que esta pueda acoplarse al marco de la bicicleta, siendo la pieza con líneas negras la parte inferior y la pieza con líneas rojas la parte superior.





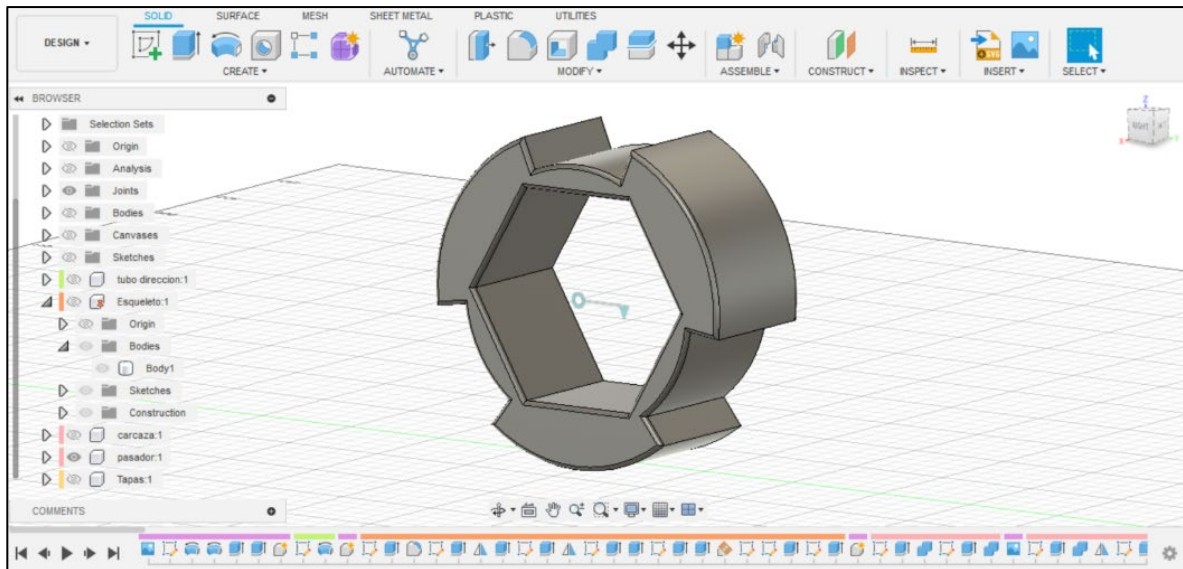
**Figura 46.** Modelo 3D prototipo v6.

*Nota: Piezas modeladas en Autodesk Fusion 360.*

Para este nuevo prototipo (ver **Figura 46**) se alejó el centro de giro del tubo de dirección 55 mm, sumando a un total de 110 mm desde el centro del agujero de la base al centro de masa del tubo de dirección, alejar el centro de giro trajo como consecuencia que la estructura de la base también incrementó su tamaño.

El agujero donde se ajusta el pasador tiene un nuevo diámetro de 80 mm, se conservaron los rieles donde se ajusta el pasador cada 120 grados.

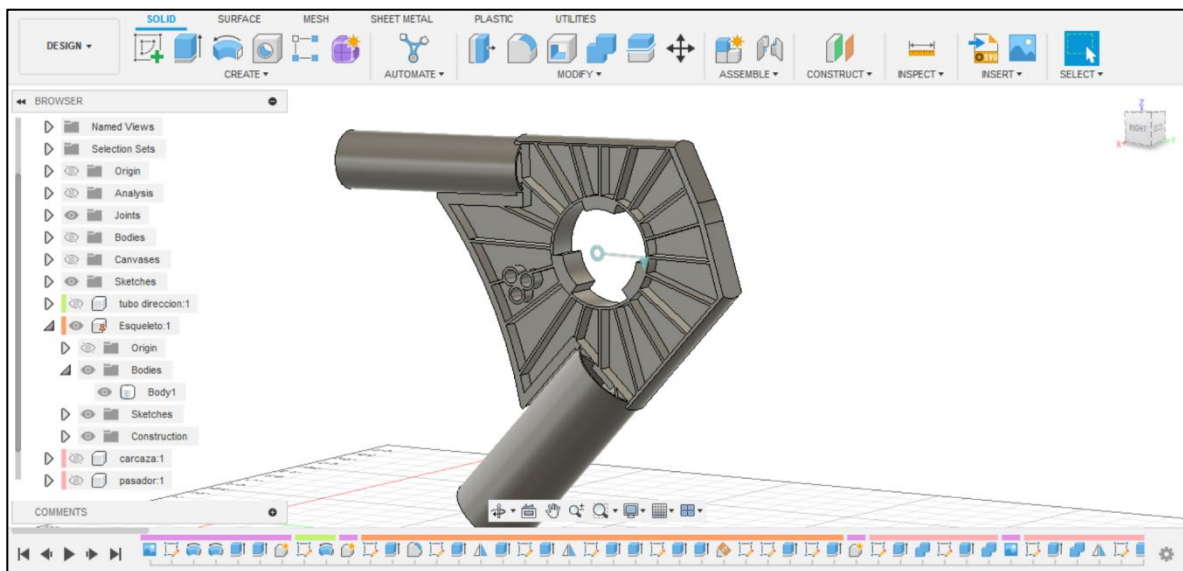
Se agregaron 3 agujeros en la base que sirven para regular el ángulo de inclinación del tubo de dirección cada 5 grados, es decir, a 63, 68, y 73 grados.



**Figura 47.** Pasador prototipo v6.

*Nota: Piezas modeladas en Autodesk Fusion 360.*

El pasador (ver **Figura 47**) también incrementó su tamaño tomando la forma del agujero, con un ancho de 33 mm, posee un hueco extruido en forma de hexágono para acomodar las tapas que aseguran el ángulo del tubo de dirección en su lugar.



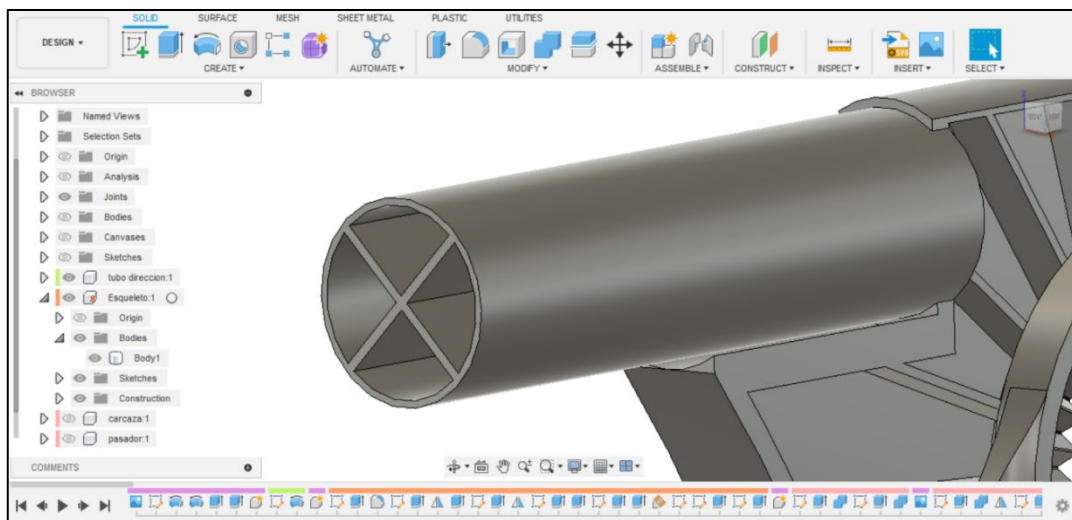
**Figura 48.** Base prototipo v6.

*Nota: Piezas modeladas en Autodesk Fusion 360.*

Se generaron nervios alrededor del eje circular de la base de unos 2 mm de espesor por cada nervio, estos están unidos por una pared de 2 mm de espesor que atraviesa el medio de la pieza (ver **Figura 48**).

Se modificaron los puntos de apoyo del tubo de dirección en la pieza base, se optó por una forma más plana en vez de la forma semicircular del prototipo v5. Este nuevo perfil sigue el trayecto de la dirección ofreciendo 3 puntos de apoyo.

Los soportes (ver **Figura 49**) que se insertaron dentro de los tubos superior e inferior de la bicicleta se alargaron para ofrecer más apoyo, se extruyó una estructura en X y se vació el resto del tubo. Esto sirve para ofrecer soporte estructural sin necesitar exceso de material al momento de impresión.

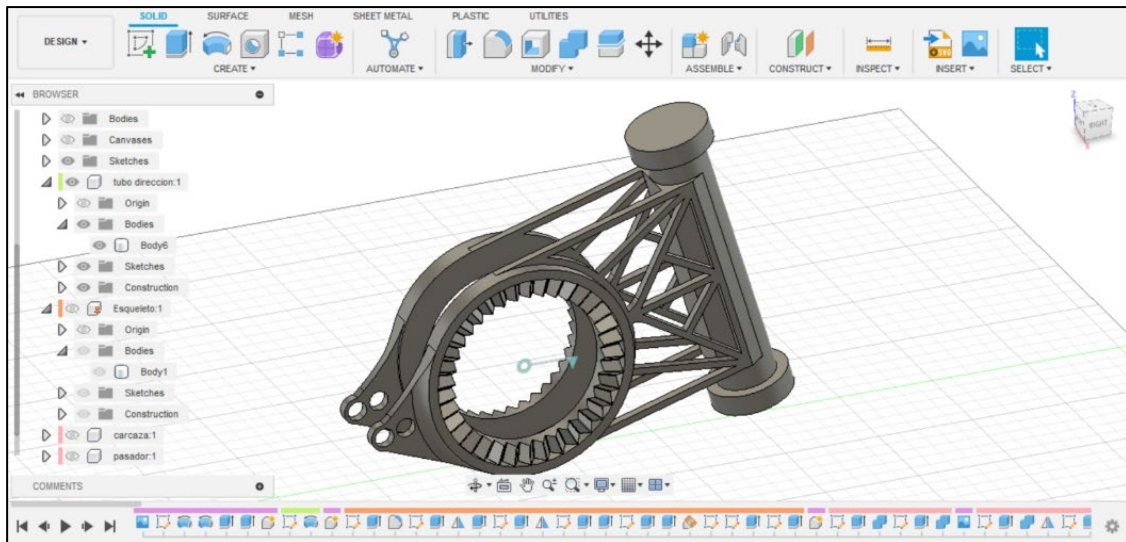


**Figura 49.** Tubos soporte v6.

*Nota: Piezas modeladas en Autodesk Fusion 360.*

Para el tubo de dirección mostrado en la **Figura 50** se crearon nervios para la estructura entre los círculos dentados y la dirección, extendiendo esta estructura para ocupar la mayoría del cuerpo de la dirección, también se modificó la distribución circular de los dientes a cada 10 grados para que se ajusten mejor al movimiento de los componentes.

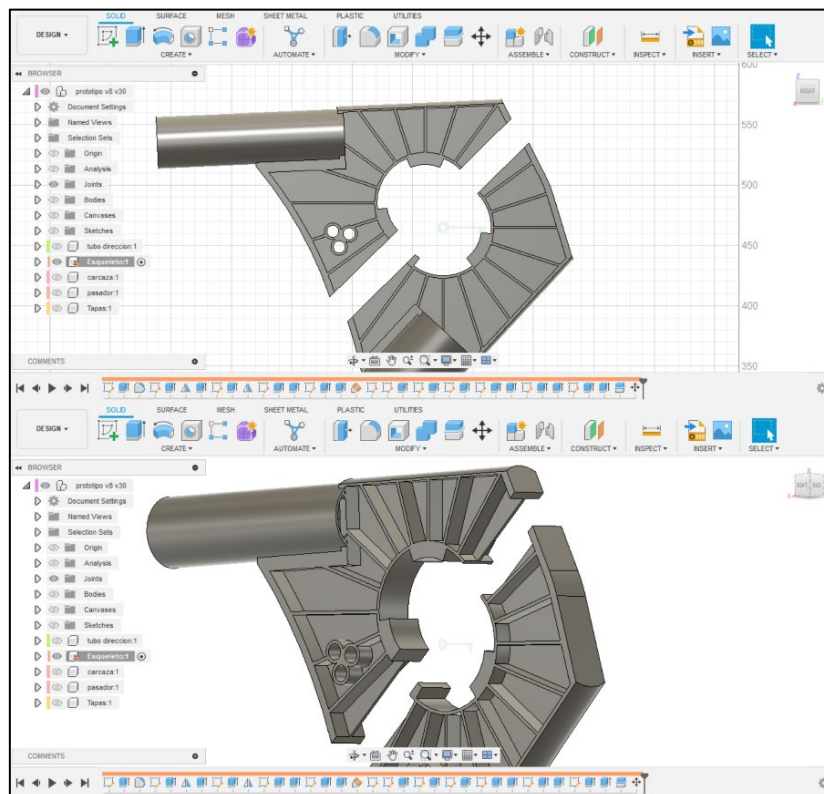




**Figura 50.** *Tubo de dirección prototipo v6.*

*Nota: Piezas modeladas en Autodesk Fusion 360.*

(ver **Figura 51**) Se dividió el cuerpo de la base en dos piezas para que estas puedan ser instaladas individualmente y luego unirse, esto es, debido a los diferentes ángulos en que se encuentran los tubos superior e inferior de la bicicleta.



**Figura 51.** *División de base prototipo v6.*

*Nota: Piezas modeladas en Autodesk Fusion 360.*

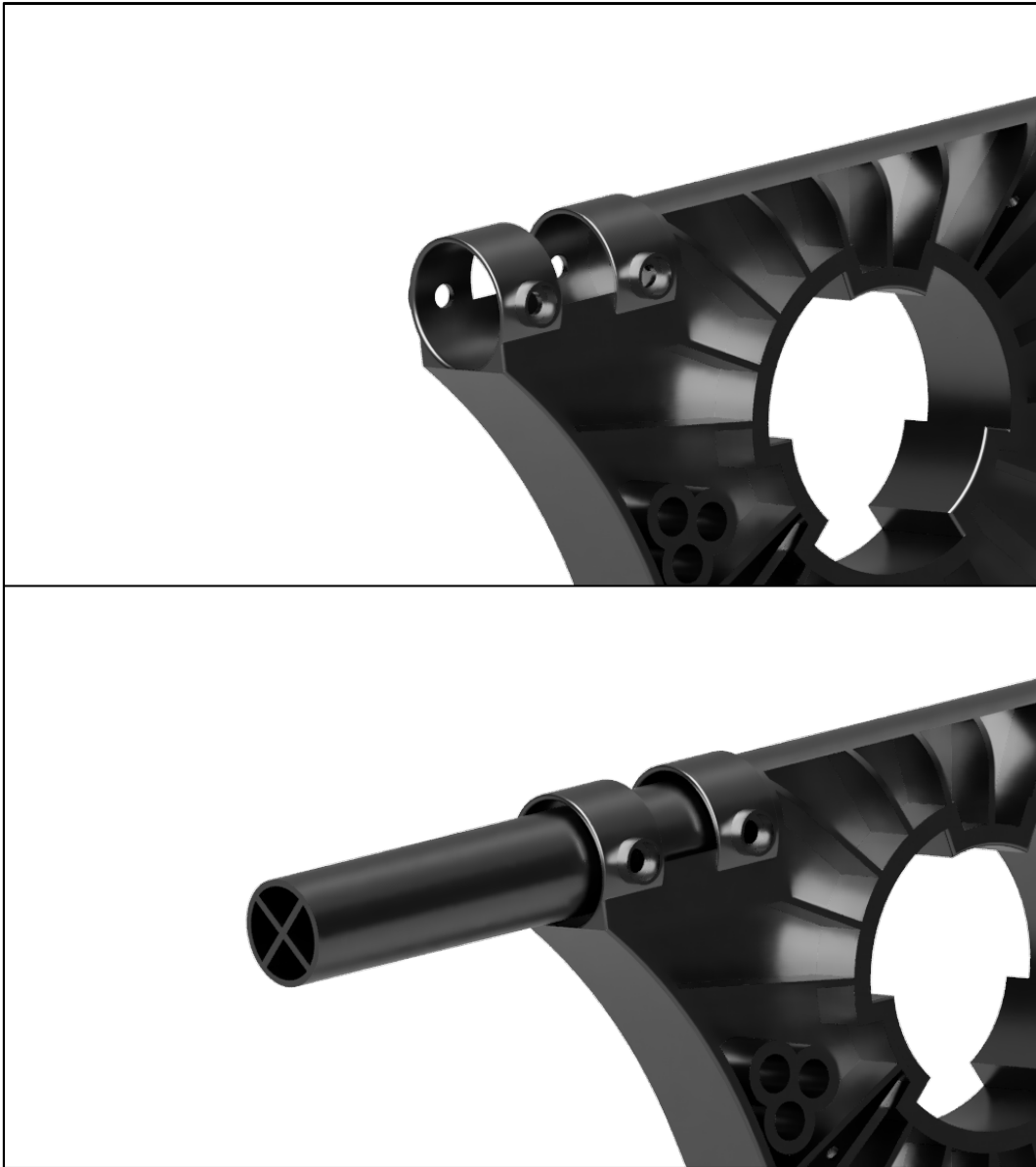
Una vez terminado el diseño del prototipo v6, se volvió a evaluar el modelo para posibles mejoras. Este proceso se repitió hasta que el diseño fue lo suficientemente confiable como para llevar al proceso de fabricación.

Luego de su evaluación se consideraron las siguientes mejoras:

- La estructura de la base es lo suficientemente confiable, sin embargo, las uniones de la base con el marco de la bicicleta deben mejorarse para no depender solo de los tubos extensores.
- Se debe reforzar la unión entre las ruedas dentadas y el tubo de dirección, un ejemplo sería la estructura presentada en la pieza base.
- Por último, se debe buscar una mejor línea de división para separar la base en piezas individuales ya que el corte compromete la estructura del agujero del pasador.

#### **4.3.11 Prototipo v7**

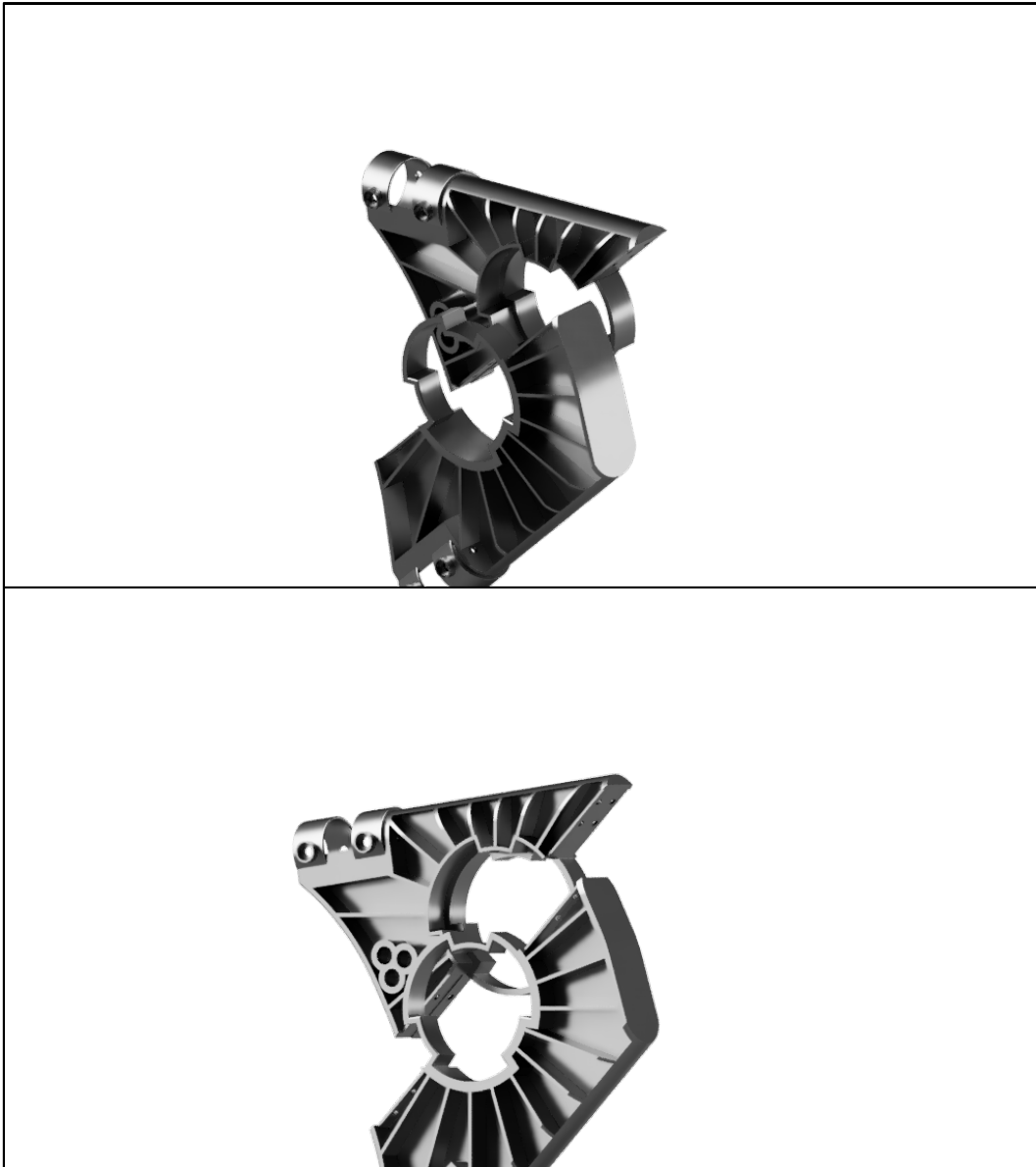
Una vez aplicadas las recomendaciones de mejora al diseño, dio como resultado el prototipo v7 (ver **Figura 52**) que reúne las mejores características de todos los prototipos anteriores.



**Figura 52.** *Render de acople de base prototipo v7.*

*Nota: Piezas modeladas en Autodesk Fusion 360.*

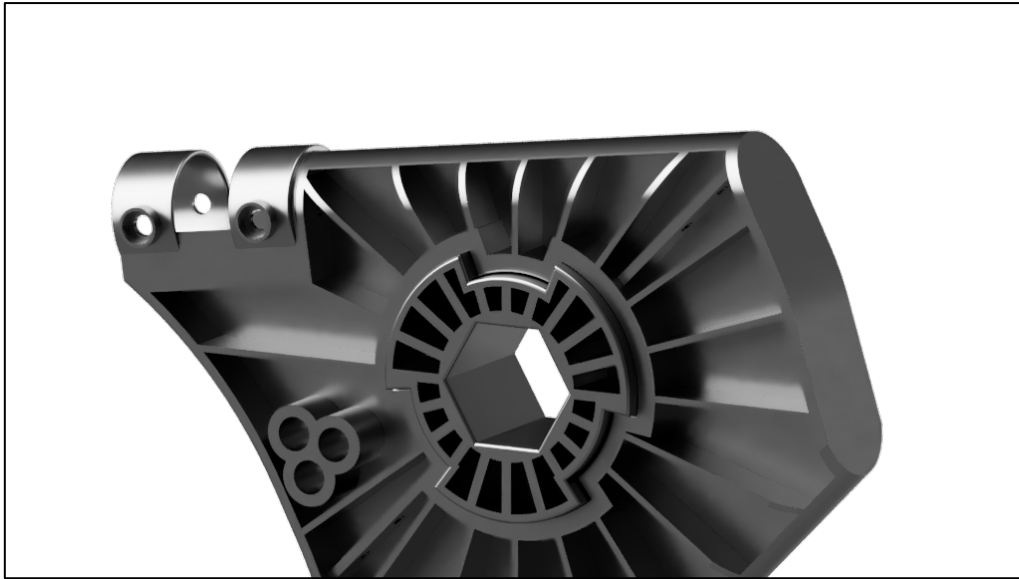
Se optó por separar los tubos soporte (van dentro de tubos superior e inferior de bicicleta) de la base y se agregaron dos anillos por los cuales pasan dos tornillos (uno por cada anillo) y tuercas que se ajustan al marco de la bicicleta, esta misma configuración se aplicó para la parte inferior de la base.



**Figura 53.** *Render de división de pieza base prototipo v7.*

*Nota: Piezas modeladas en Autodesk Fusion 360.*

Para la división (ver **Figura 53**) se empezó con una línea diagonal que luego rodeó el agujero donde se ajusta el pasador central, de esta forma se evitó comprometer la estructura del agujero. la forma de la división también permite que una vez instaladas las piezas individualmente en el marco de la bicicleta. Se pueda girar y acoplarse sin necesidad de ningún elemento externo como tornillos o pegamento.



**Figura 54.** Render de pasador prototipo v7.

*Nota: Piezas modeladas en Autodesk Fusion 360.*

Para el pasador central (ver **Figura 54**), se incrementó el ancho de 33 mm a 42.4 mm, también se crearon nervios para soporte estructural de 3 mm cada uno. El centro del pasador conserva su forma hexagonal para que pueda acomodar a las tapas de ajuste del modelo.

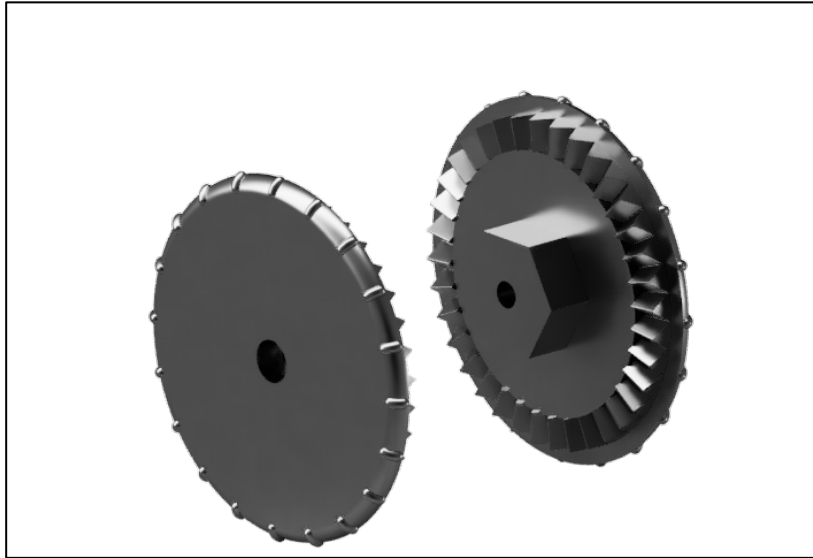


**Figura 55.** Render de tubo de dirección prototipo v7.

*Nota: Piezas modeladas en Autodesk Fusion 360.*

La estructura del tubo de dirección (ver **Figura 55**) se mantuvo similar con algunas diferencias, se agregó una pared de 3mm de grosor para apoyar los nervios de 2 mm de

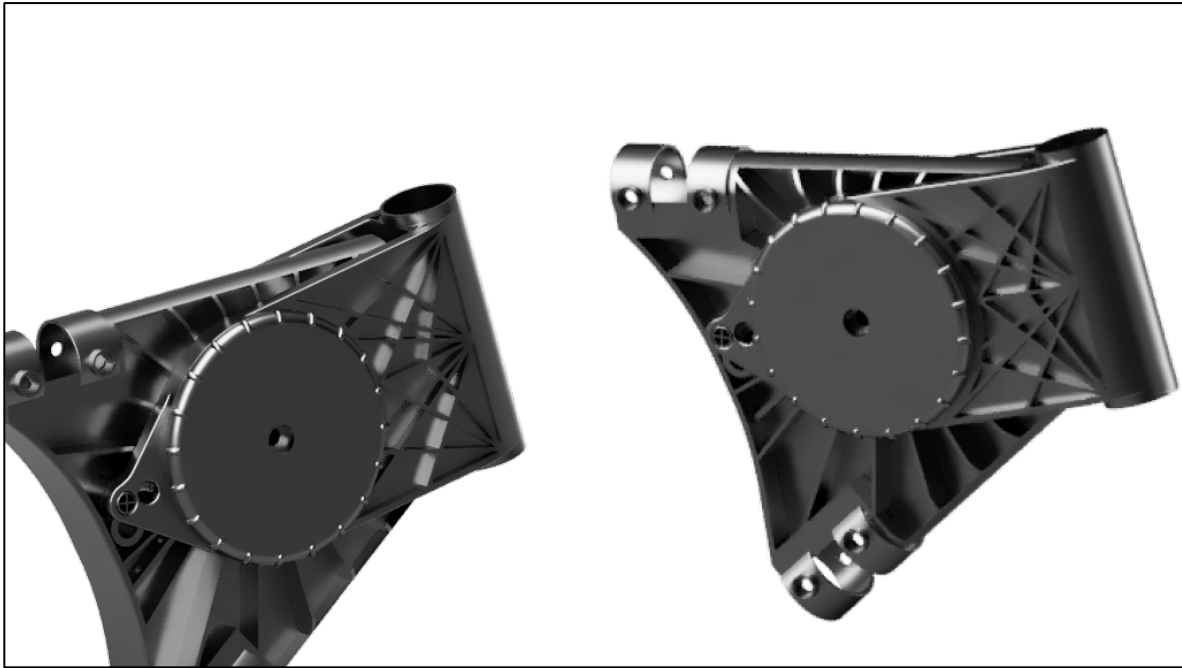
ancho que fueron reacomodados para mejor soporte, se eliminaron los soportes de los cojinetes del diseño ya que estos no cumplirían su función si los soportes están fabricados en plástico, por lo que se mantuvieron los soportes de metal que ya tiene la bicicleta modelo.



**Figura 56.** *Render de tapas de ajuste prototipo v7.*

*Nota: Piezas modeladas en Autodesk Fusion 360.*

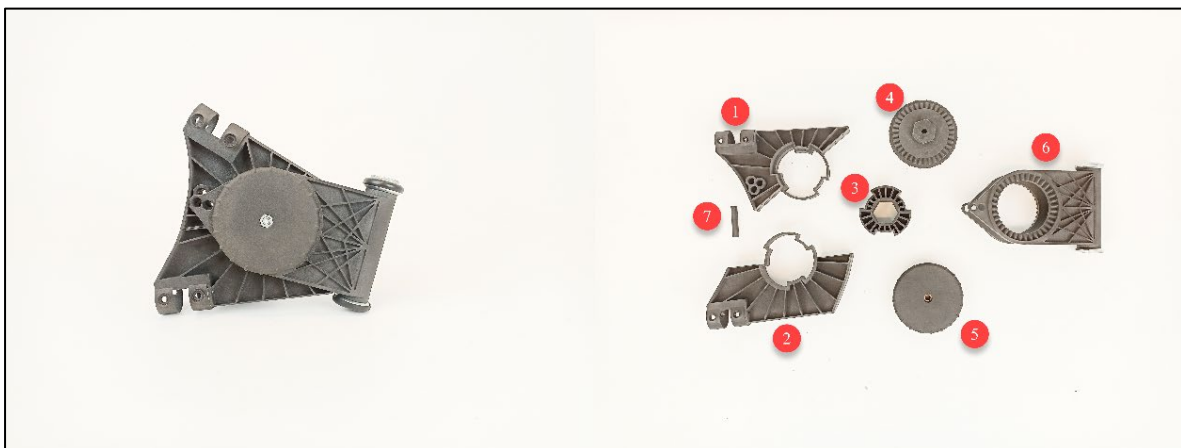
Las tapas izquierda y derecha (ver **Figura 56**) cumplen la función de ajustar todo el sistema en una posición específica, para ello se componen de una rueda de dientes en cada tapa las cuales se ajustan a la rueda correspondiente al tubo de dirección y hexágonos extruidos los cuales encajan en el pasador central para bloquearlo y evitar que este se mueva. El ajuste se logra por medio de un tornillo y tuerca que pasan a través de todo el sistema.



**Figura 57.** *Render de Ensamble prototipo v7.*

*Nota: Piezas modeladas en Autodesk Fusion 360.*

Todos estos componentes se ensamblan formando el prototipo v7 el cual fue el prototipo elegido para su fabricación en polvo de nylon por medio de la impresión SLS (ver **Figura 57 y 58**).



**Figura 58.** *Partes impresas en nylon.*

*Nota: (1) Base superior, (2) Base inferior, (3) Pasador central, (4) Tapa dentada izquierda, (5) Tapa dentada derecha, (6) Tubo de dirección, (7) Pasador seguro.*

La impresión e instalación de la pieza fue una parte fundamental del proceso de desarrollo. Utilizando tecnologías avanzadas como la impresión 3D en SLS y materiales

resistentes como el polvo de nylon, se logró fabricar la pieza con precisión y durabilidad. La impresión en SLS permitió obtener un acabado de alta calidad y una estructura resistente.

En cuanto a la instalación, se utilizaron cuatro (4) tornillos Allen de cabeza avellanada 6 mm de diámetro y cuatro (4) tuercas para acoplar la base al marco de la bicicleta y un (1) tornillo Allen de 8 mm de diámetro para el ajuste del ángulo del tubo de dirección, esto, para facilitar la cantidad de herramientas necesarias para su montaje y su ajuste (ver **Figura 59**).



**Figura 59.** *Instalación de prototipo v7.*

El proceso de instalación es bastante sencillo, cada parte de la base es unida con su respectivo tubo soporte, el cual se introduce dentro del tubo superior o inferior de la bicicleta, una vez introducidas ambas partes se gira para que encajen entre sí para luego introducir los tornillos de 6 mm de diámetro y ajustar la posición.

El siguiente paso fue introducir la pieza del tubo de dirección y alinearla con el agujero del pasador central de la base, luego se introdujo el pasador central a través de ambas piezas. Una vez instaladas estas 3 partes, se colocó la tapa dentada izquierda o derecha (el orden no es relevante), se ajustó el ángulo de inclinación de la dirección para luego introducir la tapa dentada restante con el tornillo de 8mm de diámetro y ajustar esa posición.



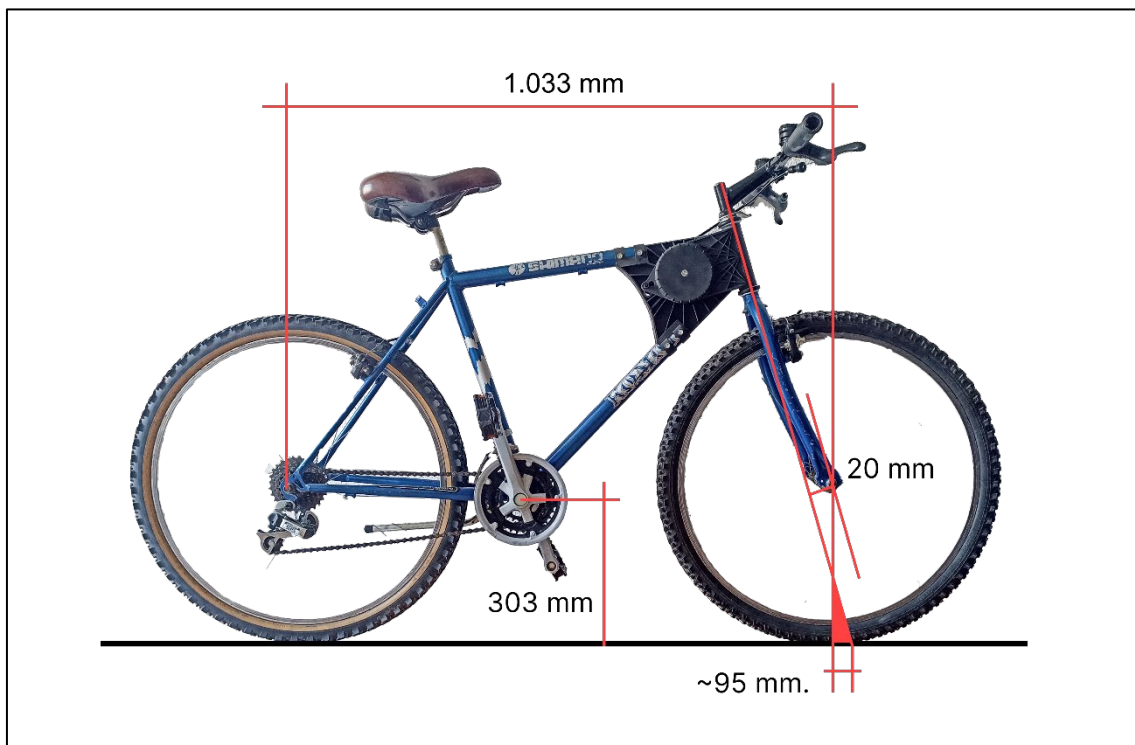
Por último, para reajustar el ángulo de inclinación bastó con aflojar el tornillo retirar solo un poco las tapas para que los dientes de las ruedas dentadas no se toquen entre sí y volver a ajustar en el ángulo deseado.

## 5. Capítulo V: Resultados

Luego de su instalación, procedemos a evaluar la funcionalidad del prototipo, los cambios de geometría que provoca en la bicicleta y comparar estas medidas con productos que ya estén en el mercado. Para esto se evaluaron las 3 posiciones graduables del prototipo; a 73, 68 y 63 grados.

### 5.1. Geometría con ángulo de inclinación a 73 grados.

Esta posición es la configuración más erguida, con el ángulo de inclinación asemejándose a bicicletas de carretera de competición (ver **Figura 60**).



**Figura 60.** Geometría con ángulo de dirección a 73 grados.

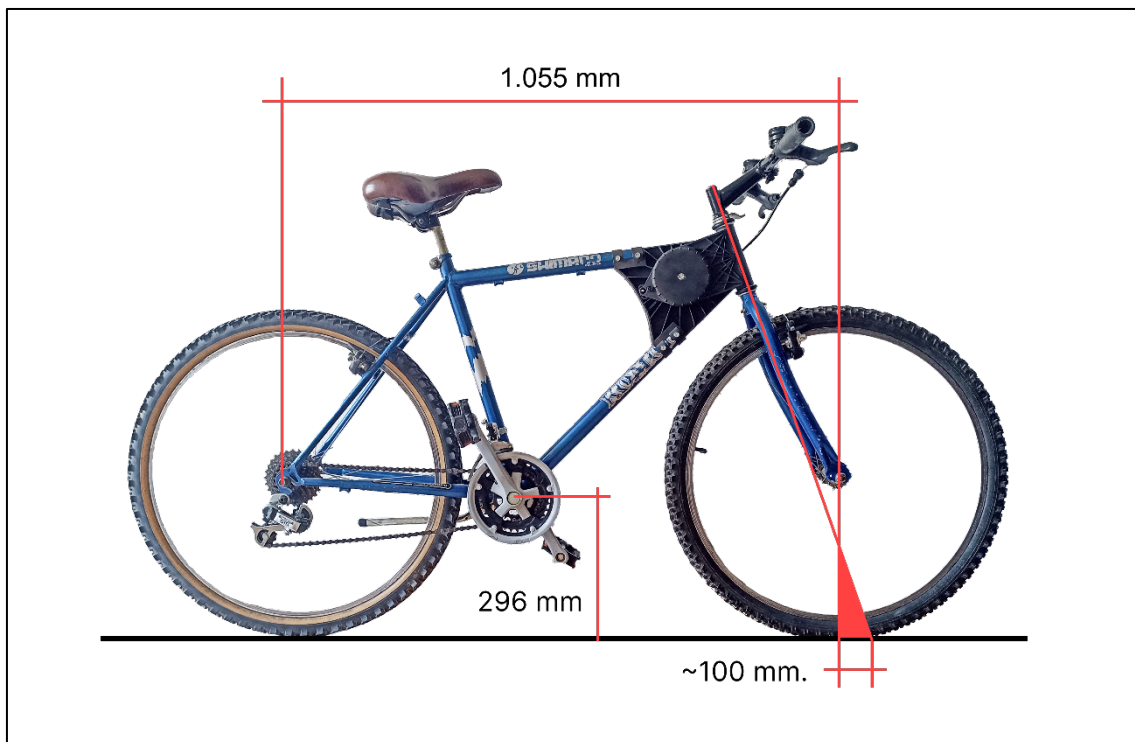
Cuando el prototipo se encuentra en esta posición la bicicleta tiene una distancia entre ejes de 1.033 mm, con una altura de caja de pedalier de 303 mm, la inclinación de la horquilla es de 20 mm, que junto con la inclinación de del tubo de dirección dan como resultado a un rastro o Trail de ~95 mm.

El ángulo de dirección es ideal para una posición más erguida, esto ofrece una mayor eficiencia en el pedaleo, lo cual la hace ideal para terrenos con elevaciones.

La distancia entre ejes y el Trail está por encima del promedio de las bicicletas de carretera lo cual la hace más cómoda y estable a mayor velocidad, sin comprometer la maniobrabilidad.

## 5.2. Geometría con ángulo de inclinación a 68 grados.

Esta posición es una configuración híbrida entre carretera y montaña ofreciendo una posición menos erguida al usuario lo que implica una posición más ergonómica (ver **Figura 61**).



**Figura 61.** Geometría con ángulo de dirección a 68 grados.

Cuando el prototipo se encuentra en esta posición la bicicleta tiene una distancia entre ejes de 1.055 mm, con una altura de caja de pedalier de 296 mm, a pesar de que la inclinación de la horquilla sigue siendo la misma que en la posición a 73 grados, este cambio de ángulo en la dirección causa un incremento en el rastro para un nuevo valor de ~100 mm, esto es debido a que al mantener la misma inclinación de horquilla, el cambio

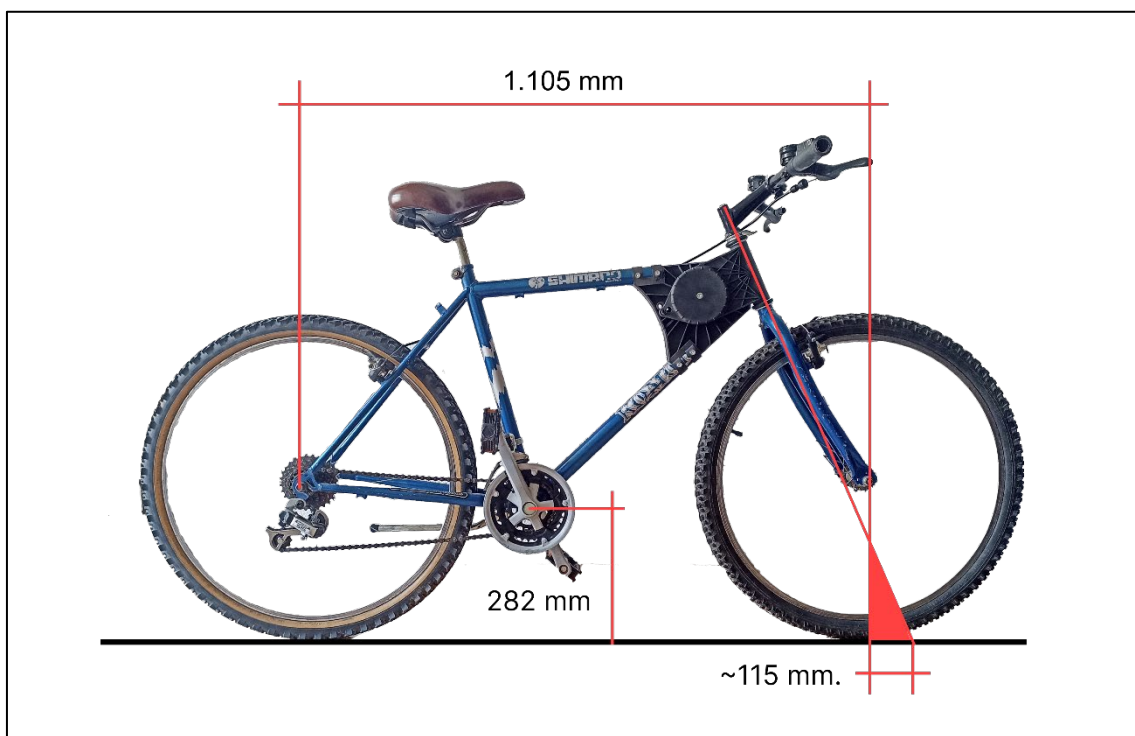
del ángulo define el rastro de la bicicleta, el utilizar un ángulo más abierto también aumenta la distancia del rastro.

La inclinación de la dirección hace que el usuario tenga una posición más ergonómica, entrado en el rango de bicicletas de montaña ideal para recorridos más extensos.

La distancia entre ejes la ubica en el medio entre una bicicleta de carretera y una de montaña, ideal para disciplinas como gravel y gran fondo, y el rastro de ~100 mm está en el rango de bicicletas de montaña como Trail y enduro, haciendo esta configuración un híbrido.

### 5.3. Geometría con ángulo de inclinación a 63 grados.

Esta posición es el límite más bajo que presenta el prototipo, la inclinación ofrece al usuario mayor comodidad y estabilidad en altas velocidades y es comparable con bicicletas de downhill o enduro (ver **Figura 62**).



**Figura 62.** Geometría con ángulo de dirección a 63 grados.

Cuando el prototipo se encuentra en esta posición la bicicleta tiene una distancia entre ejes de 1.105 mm, con una altura de caja de pedalier de 282 mm, la inclinación de la horquilla se mantiene constante pero una vez más debido al cambio de posición el rastro de la bicicleta aumenta dando como resultado aproximadamente ~115 mm.

Por último, en la configuración de 63 grados la posición del usuario es la más ergonómica. El eje de giro alejado permite que el tubo de dirección suba 10 mm para recuperar altura con respecto a la primera configuración y que el usuario tenga una mejor posición.

La distancia entre ejes y el rastro se encuentran en el rango de bicicletas de montaña como enduro y downhill, esto causa que la bicicleta pierda maniobrabilidad, pero gane muy buena estabilidad para estas disciplinas.

#### **5.4. Simulación de esfuerzos sobre tubo de dirección y base.**

El objetivo de estas simulaciones por método de elementos finitos fue observar cómo se comporta el prototipo bajo diferentes fuerzas aplicadas, para esto solo se evaluaron los componentes principales como la base y tubo de dirección dejando de lado el resto de los componentes menores como pasadores y tapas. Con estas simulaciones no se buscó evaluar el material de fabricación de polvo de nylon ya que se conoce que este material no es el ideal para la fabricación de la pieza debido a sus propiedades mecánicas. El objetivo fue encontrar los puntos débiles en la estructura para encontrar puntos de mejora para próximos prototipos.

Se realizó una comparación entre el material utilizado (nylon) y un material más común en la fabricación de marcos de bicicletas como lo es el aluminio 6061.

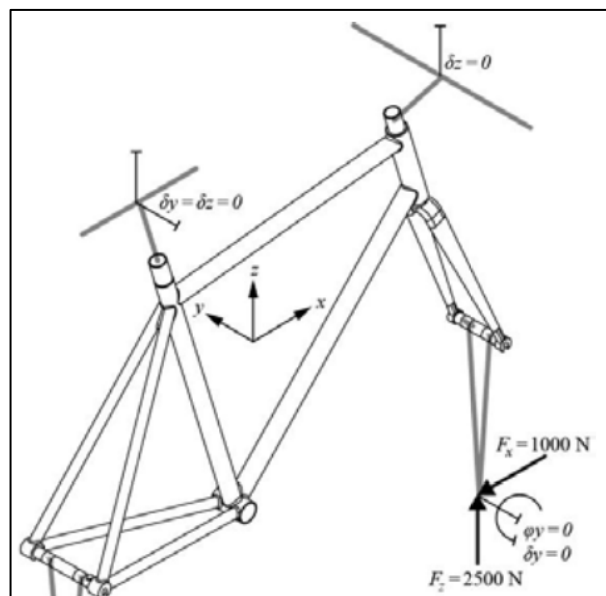
Se evaluaron 3 escenarios diferentes, el primer escenario implica el impacto de un obstáculo sobre el eje de la rueda frontal, el segundo fue aplicar las mismas fuerzas directamente sobre el tubo de dirección y el tercer escenario implicó simular el impacto sobre la bicicleta cuando un usuario se encuentra en una subida.

Estos escenarios están basados en el estudio realizado por Covill, Allard, Drouet & Emerson. (2016) donde evalúan los esfuerzos que actúan sobre el marco de una bicicleta bajo diferentes situaciones, el estudio fue realizado teniendo en cuenta un usuario de un peso aprox de 75 kg.

#### 5.4.1 Escenario #01: Impacto sobre rueda frontal.

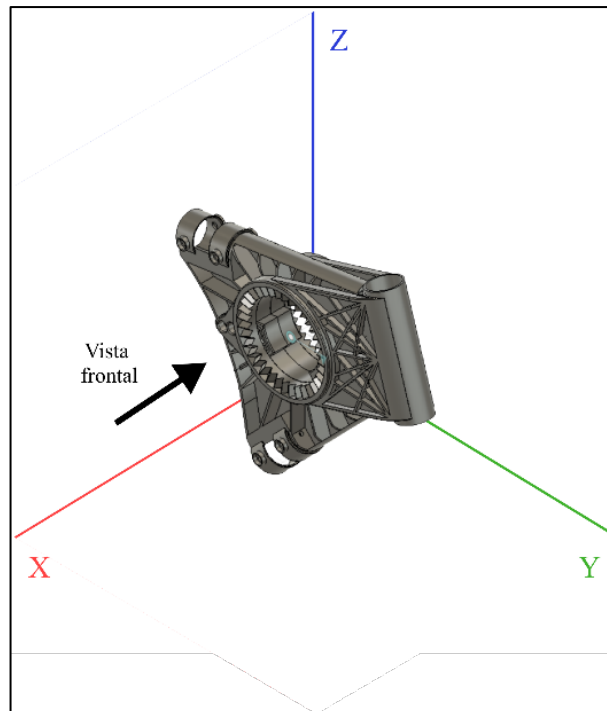
Bajo este escenario se sometió la base y tubo de dirección a una fuerza aplicada a una distancia 390 mm que es equivalente a la longitud de la horquilla de la bicicleta, esto para simular un impacto aplicado en el eje frontal de la rueda.

Según, Covill, Allard, Drouet & Emerson. (2016). El esfuerzo sufrido por el impacto en la rueda frontal se descompone en una fuerza en el eje z de 2500 N o alrededor de 250 kg y una fuerza en el eje y de 1000 N o ~100 kg (ver diagrama de fuerzas **Figura 63**), la fuerza en el eje y tiene un sentido negativo debido a la naturaleza del impacto y el sistema de coordenadas utilizado en la **Figura 64**.



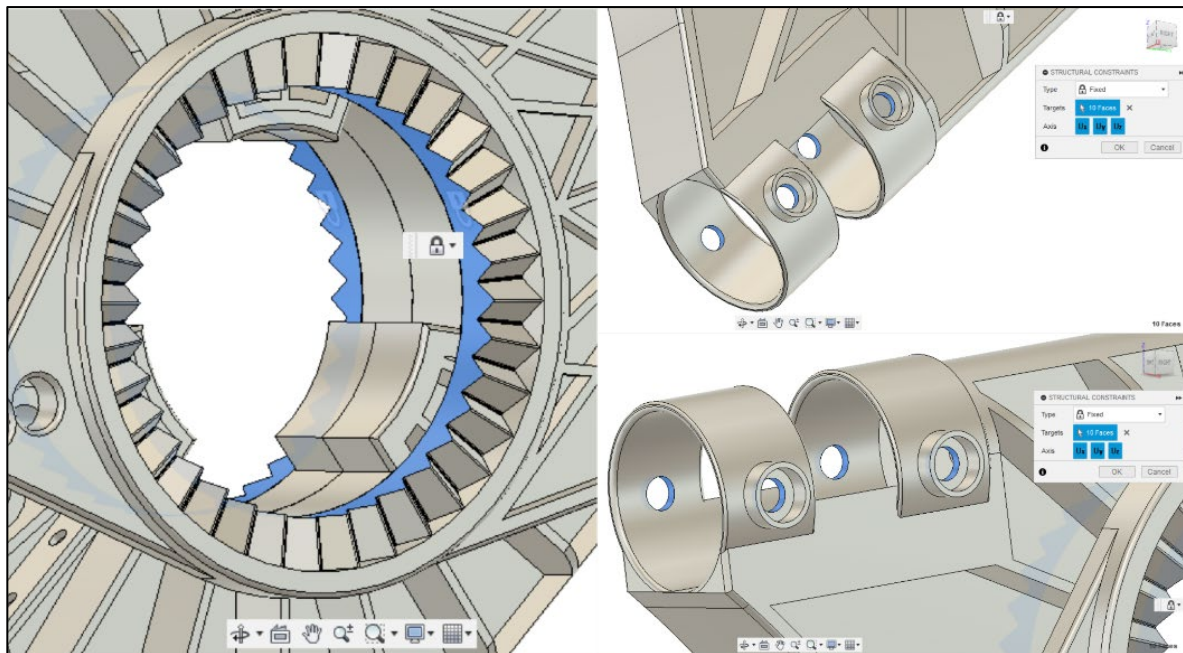
**Figura 63.** DCL para escenario #01.

Fuente: Covill y col. (2016). *An Assessment of Bicycle Frame Behaviour under Various Load Conditions Using Numerical Simulations.*



**Figura 64.** Sistema de coordenadas.

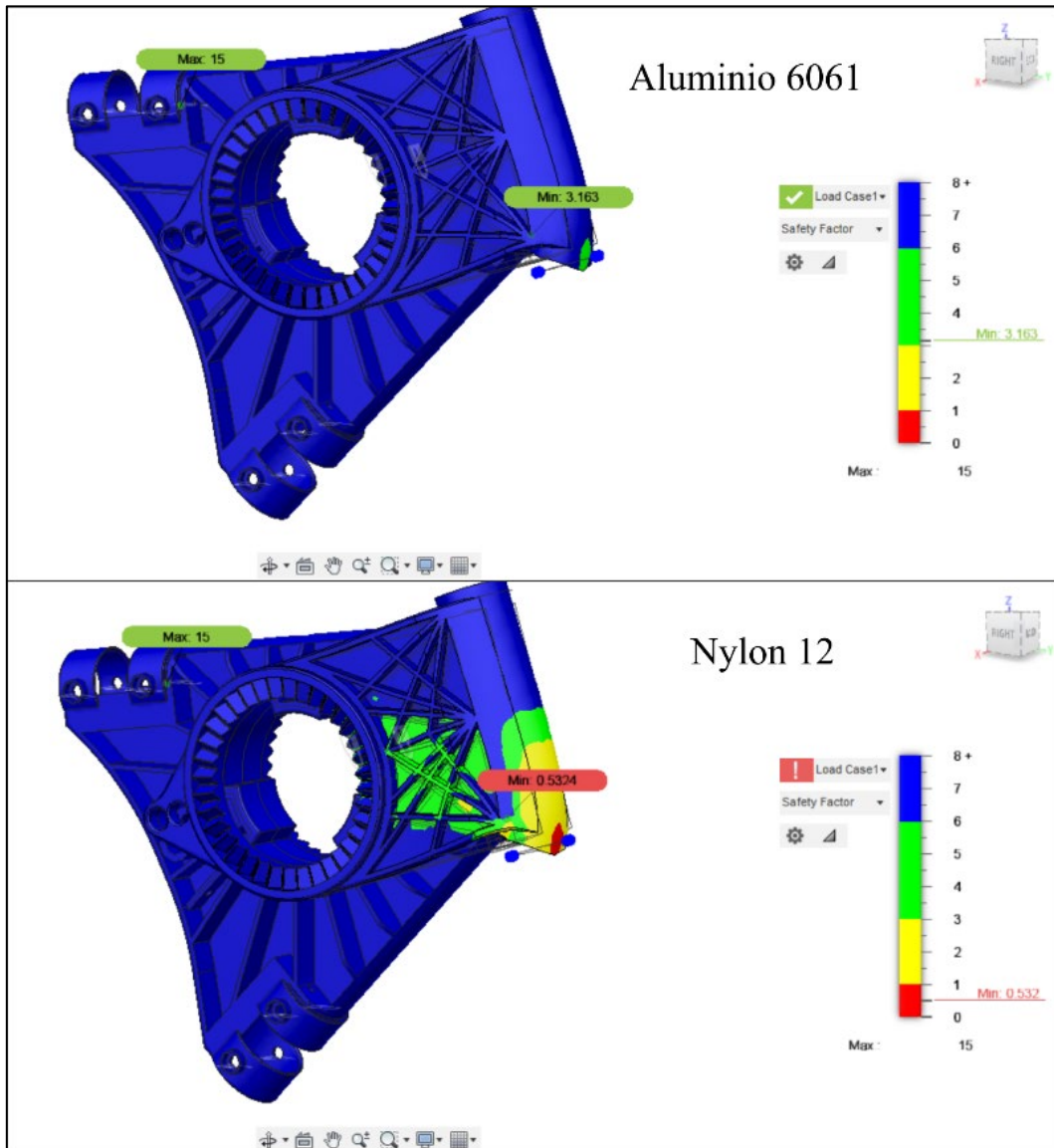
Se asume que ambas piezas están restringidas de movimiento, aplicando estas restricciones en los puntos donde se fija la base al marco de la bicicleta y al eje de rotación del tubo de dirección, para obtener los siguientes resultados (ver **Figura 65**).



**Figura 65.** Restricciones de movimiento.

*Nota: Piezas modeladas en Autodesk Fusion 360.*

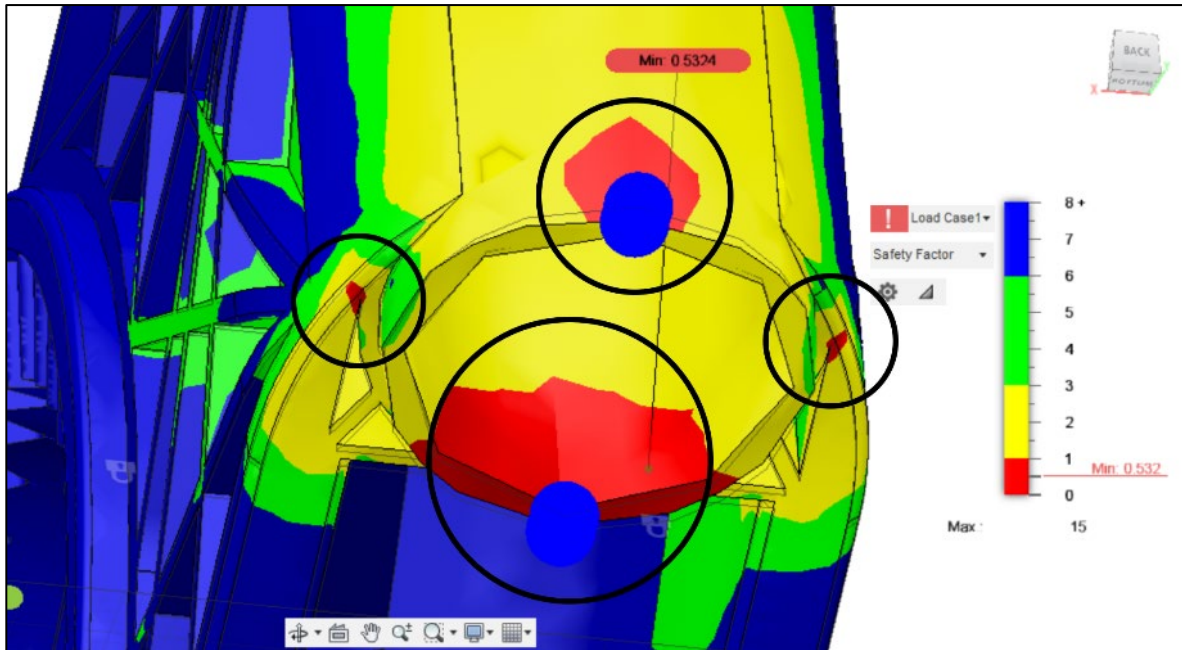
Se puede observar en la **Figura 66** que el tubo de dirección recibe la gran mayoría del esfuerzo, para el caso de nylon se observa que el factor de es de 0.532 el cual indica que se espera que la pieza se doble o rompa permanentemente en 4 puntos de estrés critico señalados en color rojo en la **Figura 67**.



**Figura 66.** Simulación escenario 1 a 73 grados (aluminio vs. nylon).

*Nota: Simulado utilizando la herramienta fusión 360.*



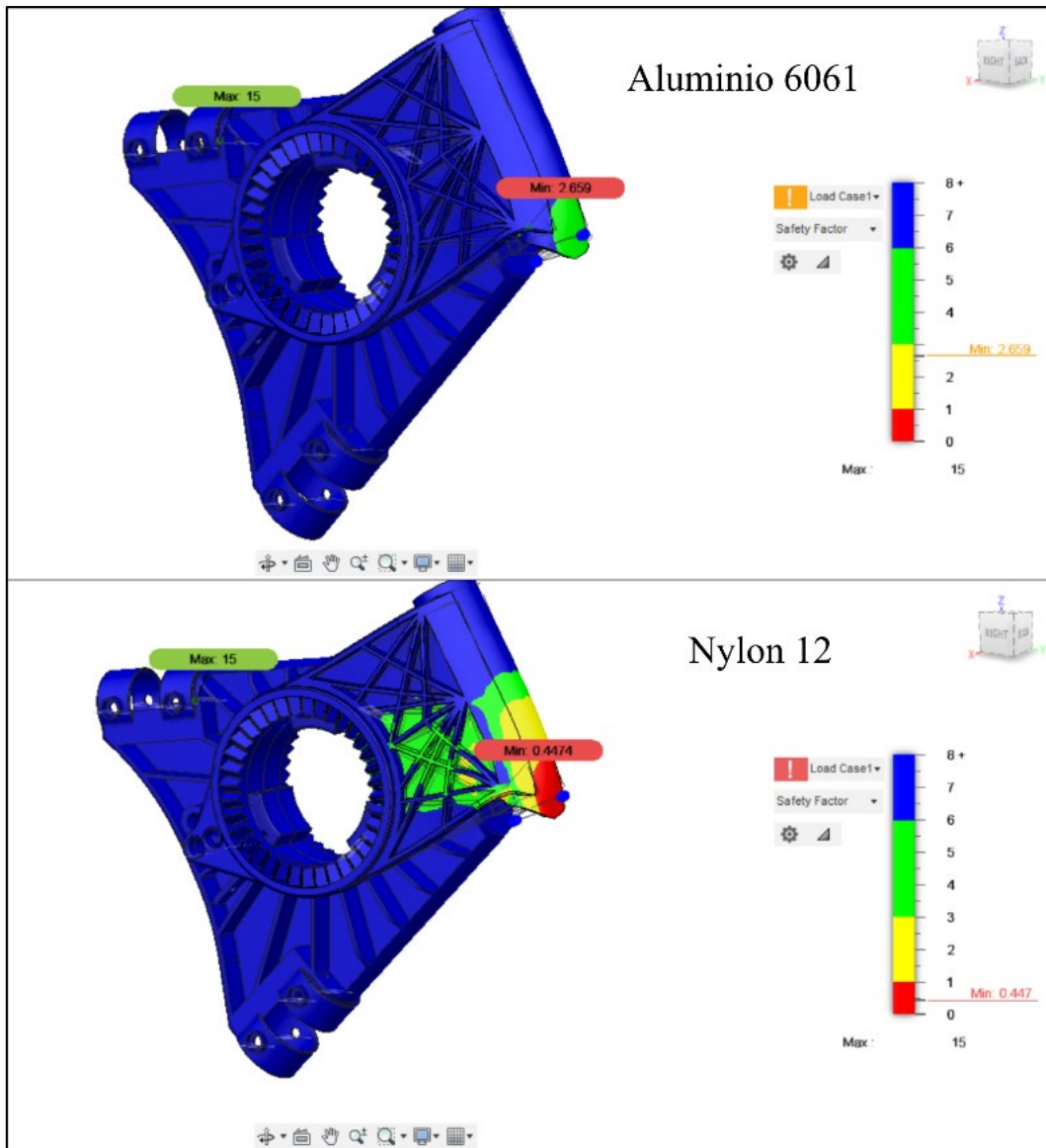


**Figura 67.** Puntos de esfuerzo crítico (nylon).

*Nota: Simulado utilizando la herramienta fusión 360.*

Cuando el mismo escenario es aplicado cambiando el material del prototipo por aluminio se observan que el esfuerzo en los mismos puntos se reduce considerablemente obteniendo un factor de seguridad de 3.163, lo que indica que se espera que los componentes resistan sin deformarse bajo este escenario, resaltando el hecho de que el material utilizado no es el indicado para un producto final y al mismo tiempo comprobando que el prototipo es funcional.

Sin embargo, si cambiamos la posición de la dirección a 63 grados observamos resultados distintos.



**Figura 68.** Simulación escenario 1 a 63 grados (aluminio vs. nylon).

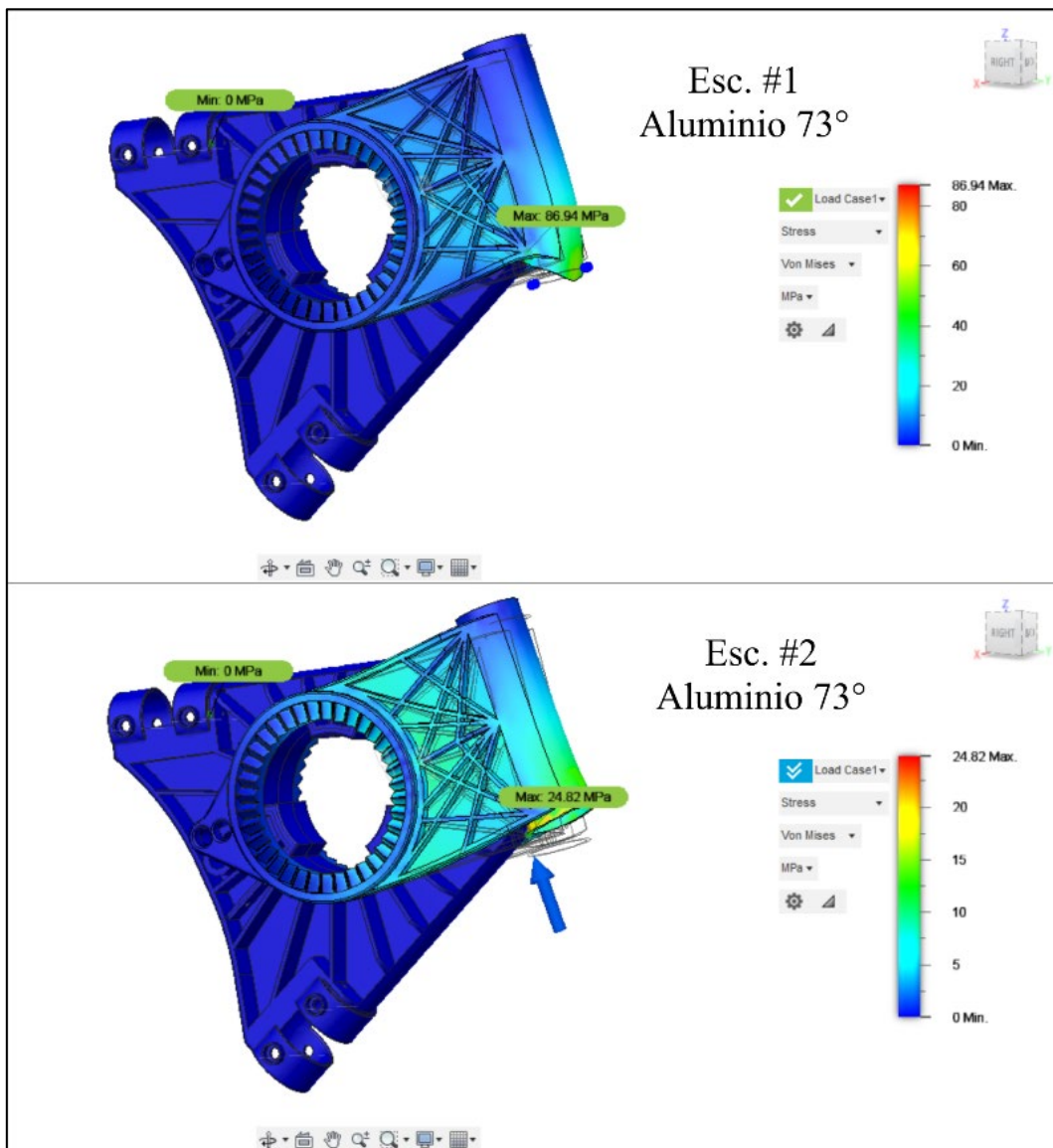
*Nota: Simulado utilizando la herramienta fusión 360.*

En la **Figura 68** observamos que a medida que la inclinación aumenta, la pieza bajo la misma descomposición de fuerzas sufre más esfuerzos en los puntos indicados anteriormente, es decir, que a pesar de que el factor de seguridad obtenido de 2.659 es un indicativo de que la pieza posiblemente no falle en esta configuración, esta, es más susceptible a fallo si algún factor externo no previsto interviene.

Este resultado nos da un primer punto de partida para la mejora de próximos prototipos.

#### 5.4.2 Escenario #02: Transferencia de fuerzas sobre tubo de dirección.

Bajo este escenario se aplicó la misma descomposición de fuerzas del escenario #1 directamente sobre la base del tubo de dirección, a pesar de que, aplicar estas fuerzas más cercanas al tubo de dirección hace que el efecto palanca se vea reducido y por lo tanto la magnitud de la fuerza total aplicada en ese punto sea menor, este método demuestra de manera más visual el efecto de la fuerza sobre el resto de la pieza como se puede observar en la **Figura 69**.

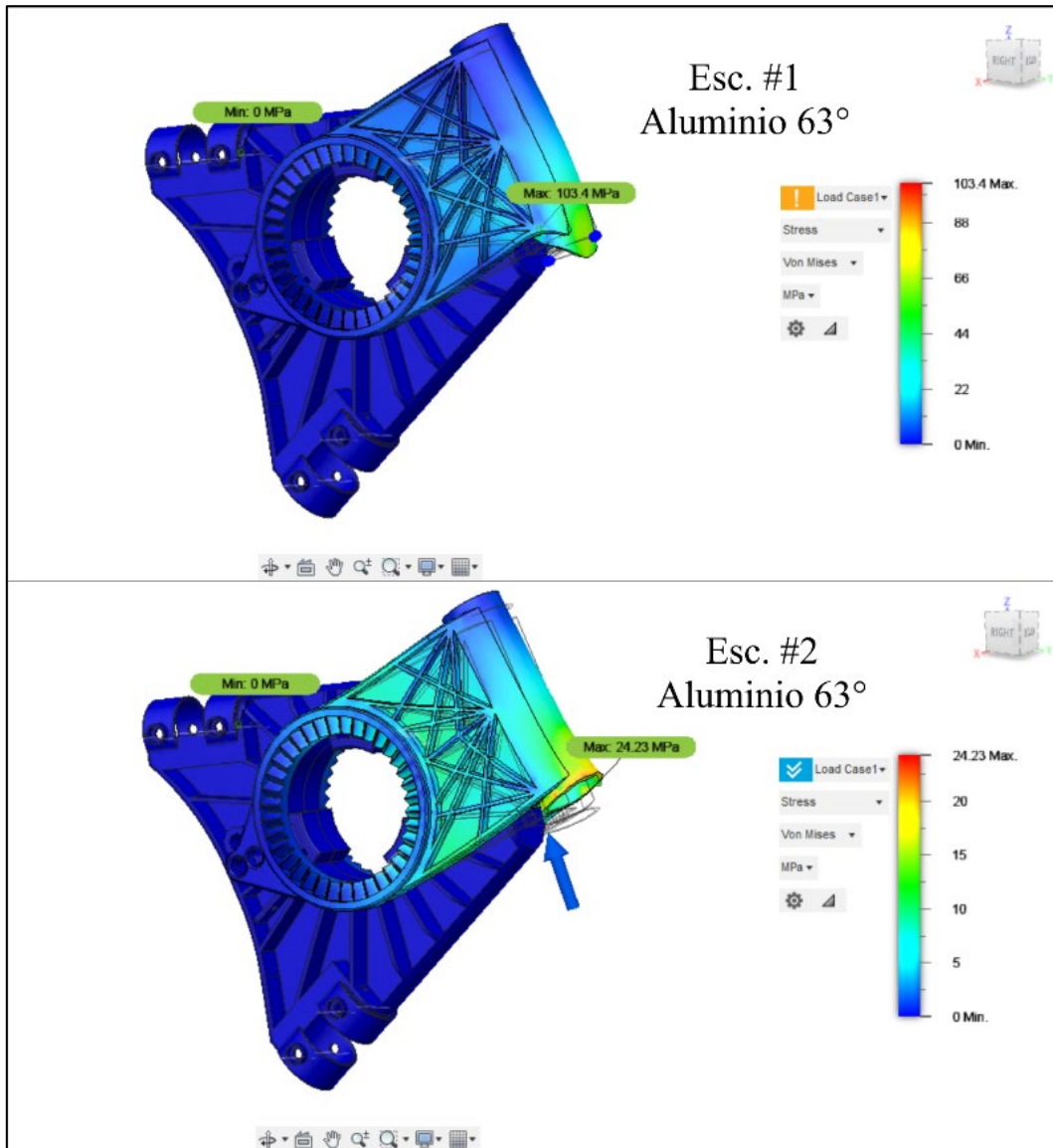


**Figura 69.** Comparación de esfuerzo sobre dirección a 73 grados (escenario #01 vs #02; aluminio).

*Nota: Simulado utilizando la herramienta fusión 360.*

En el escenario #2 se puede observar de manera más clara como se distribuyen los esfuerzos por toda la pieza llegando a un esfuerzo máx. de 24.82 MPa y un desplazamiento máx. de 0.033 mm.

Considerando la inclinación a 63 grados observamos un comportamiento similar al aluminio como presentado en la **Figura 70**.



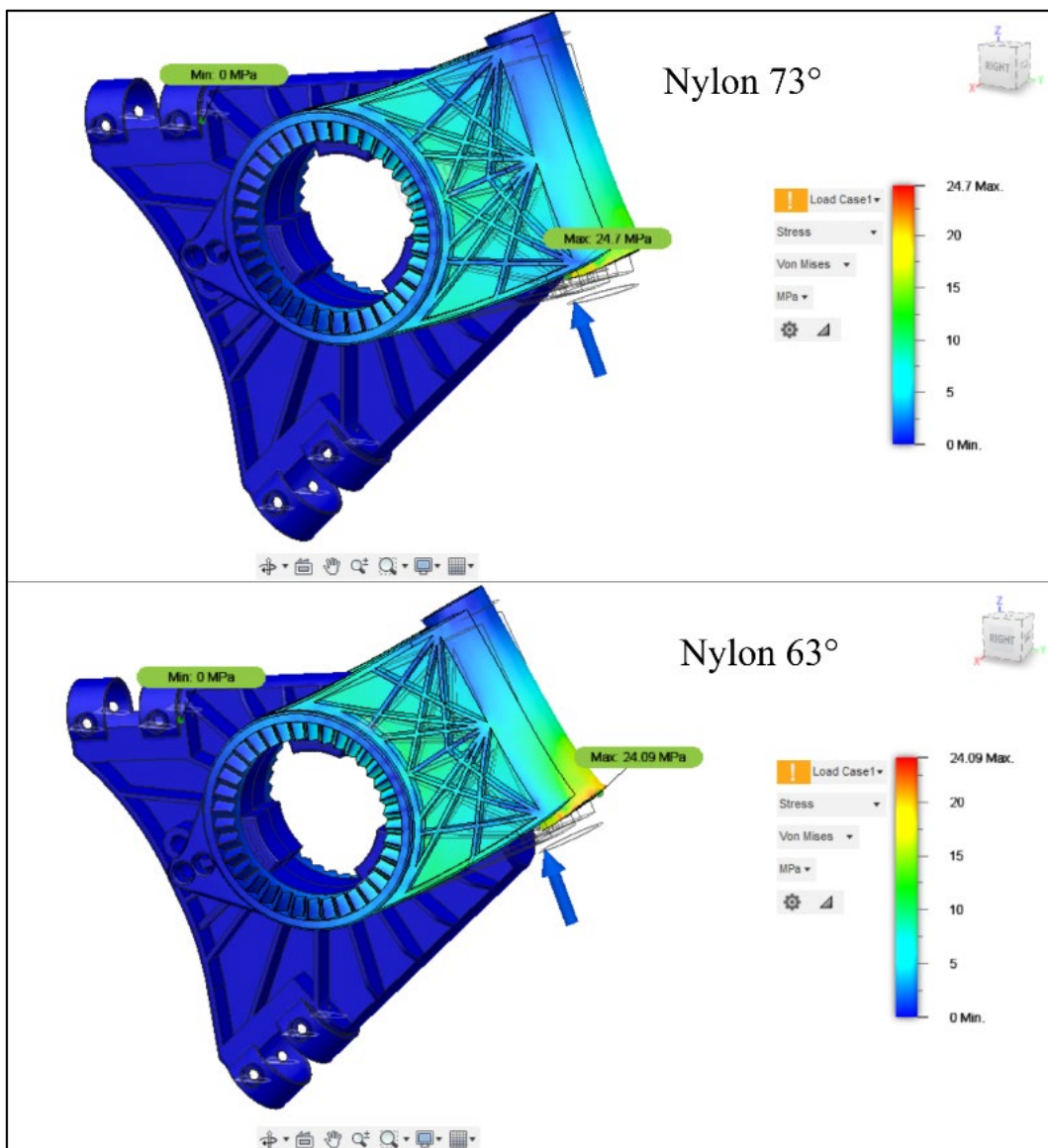
**Figura 70.** Comparación de esfuerzo sobre dirección a 63 grados (escenario #01 vs #02; aluminio).

*Nota: Simulado utilizando la herramienta fusión 360.*

En este caso observamos que la pieza presenta un menor esfuerzo máximo de 24.23 MPa y un mayor desplazamiento de 0.042 mm lo cual concuerda con lo concluido en

el escenario número #1, mientras mayor sea la inclinación la pieza sufrirá más esfuerzos por lo tanto tiene menos tolerancia a la deformación, a pesar de eso el factor de seguridad para ambos ángulos de inclinación en este escenario, está por encima de 11 lo que las hace muy seguras.

Para el caso del nylon el comportamiento es el similar considerando ambos ángulos de inclinación (ver **Figura 71**).



**Figura 71.** Comparación de esfuerzo sobre dirección (73 vs 63 grados; nylon).

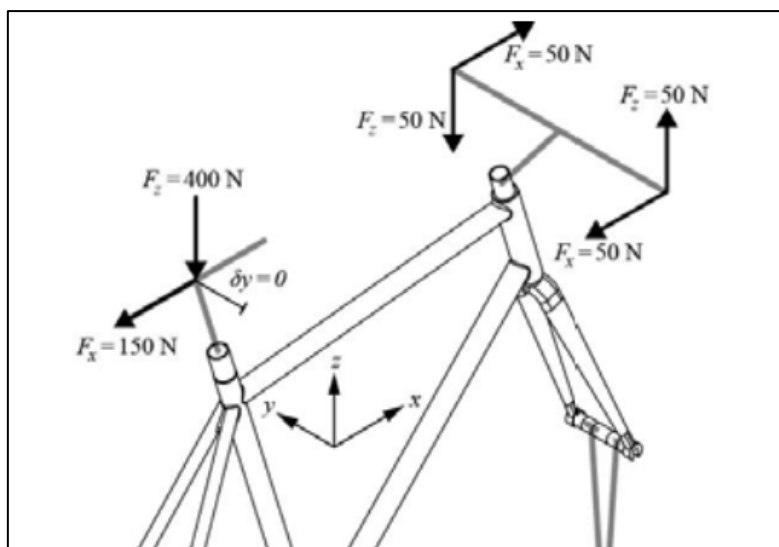
*Nota: Simulado utilizando la herramienta fusión 360.*



Para 73 grados, se tiene un esfuerzo max. de 24.7 MPa y un desplazamiento max. de 1.245 mm y para 63 grados se tiene un esfuerzo máx. de 24.09 MPa y un desplazamiento max. de 1.577 mm, para ambos casos el factor de seguridad está por debajo de 2 por lo que hace que la pieza este al margen de la seguridad, cualquier fuerza externa puede causar un fallo.

#### 5.4.3 Escenario #03: Escalando sobre asiento.

Para este escenario se decidió simular a un usuario sentado en la bicicleta mientras se encuentra pedaleando en una subida, según Covill, Allard, Drouet & Emerson. (2016). Las fuerzas que inciden en sobre la bicicleta para este escenario estan representadas por el diagrama de cuerpo libre mostrado en la **Figura 72**.



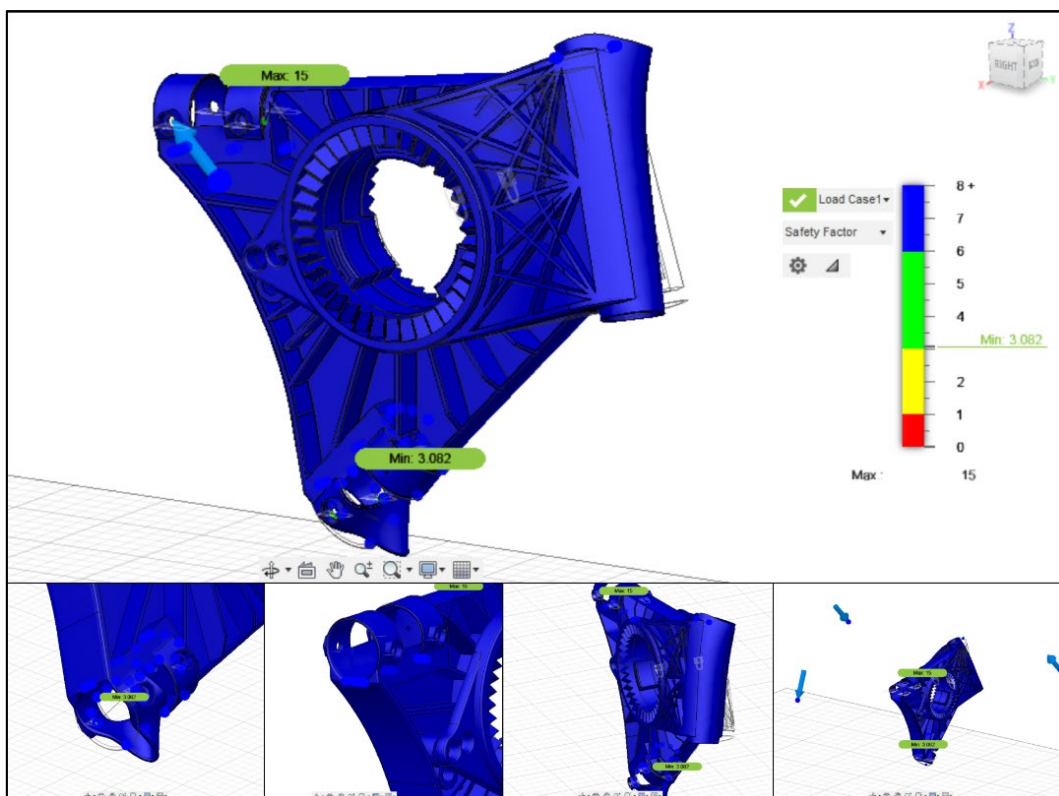
**Figura 72.** DCL para escenario #03

*Fuente: Covill y col. (2016). An Assessment of Bicycle Frame Behaviour under Various Load Conditions Using Numerical Simulations.*

Para este escenario se utilizó el mismo sistema de coordenadas mostrado en la **Figura 64** del escenario #1. De esta forma las fuerzas quedan de la siguiente manera,

- **Para el asiento**,  $F_z = -400$  N,  $F_y = -150$  N
- **Para el manubrio**,  $F_z = 50$  N para lado derecho y  $F_z = -50$  N para izquierdo,  $F_y = -50$  N para lado derecho y  $F_y = 50$  N para izquierdo. Cada par de fuerzas separado a 282.5 mm de distancia del punto superior del tubo de dirección.

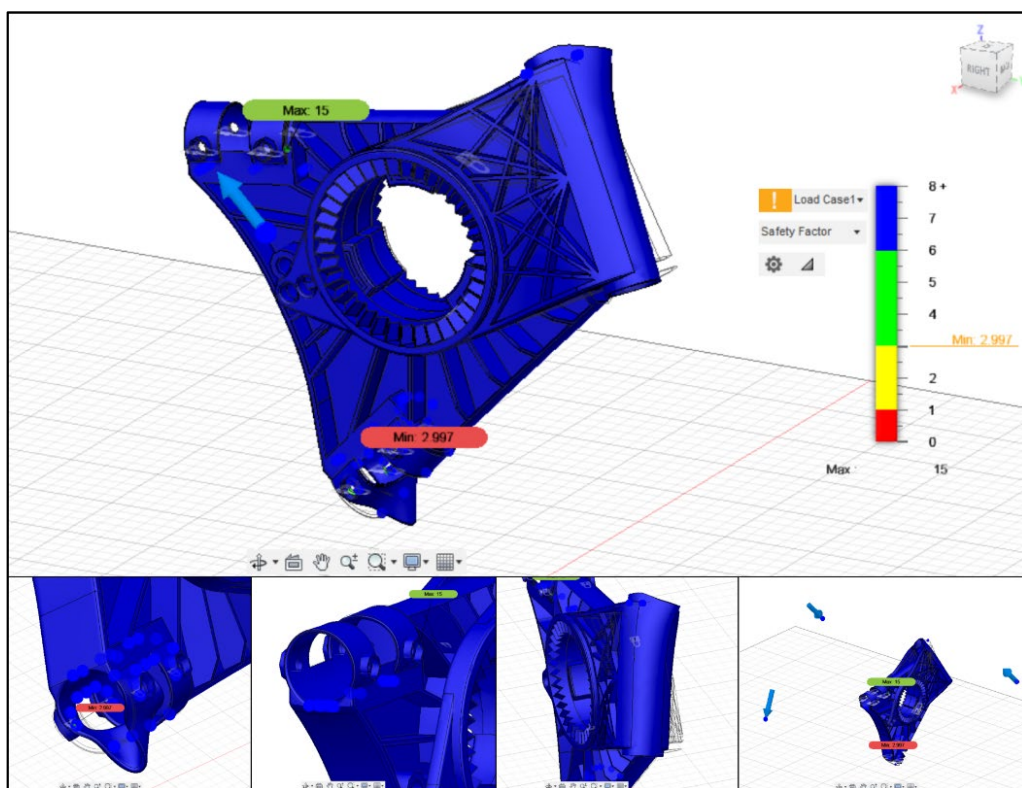
La simulación da como resultado que, cuando la dirección se encuentra a 73 grados de inclinación y usando como material el aluminio se genera un factor de seguridad de 3.082 lo cual la hace una pieza segura que no se espera que falle bajo estas condiciones, con el punto de máximo esfuerzo ubicado en el acople inferior de la base, como puede ser observado en la **Figura 73**.



**Figura 73.** Simulación escenario 3, inclinación a 73 grados (aluminio).

*Nota: Simulado utilizando la herramienta fusión 360.*

Cuando se realiza la misma simulación con la inclinación de la dirección a 63 grados observamos que el punto de esfuerzo máximo se sigue encontrando en el mismo punto de acople inferior de la base, contrario a lo esperado el esfuerzo en el tubo de dirección no aumenta considerablemente con respecto a la simulación anterior, el factor de seguridad generado es de 2.997, esto indica que bajo las condiciones propuestas el diseño corre la posibilidad de fallo, pero debido a la cercanía de este número a un factor de seguridad aceptable se puede asumir que leves modificaciones al diseño ayudaran a llegar a condiciones óptimas (ver **Figura 74**).

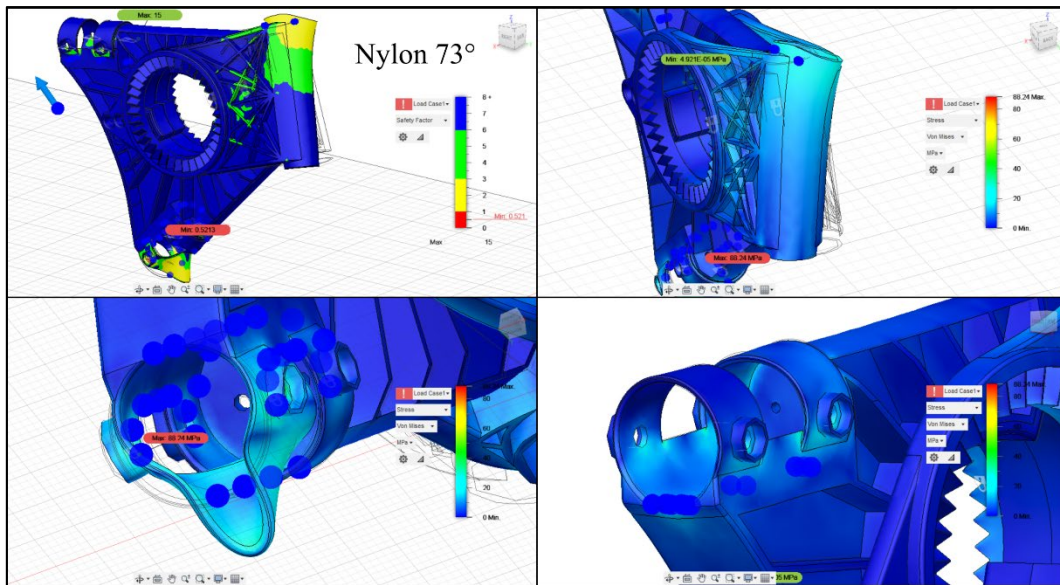


**Figura 74.** Simulación escenario 3, inclinación a 63 grados (aluminio).

*Nota: Simulado utilizando la herramienta fusión 360.*

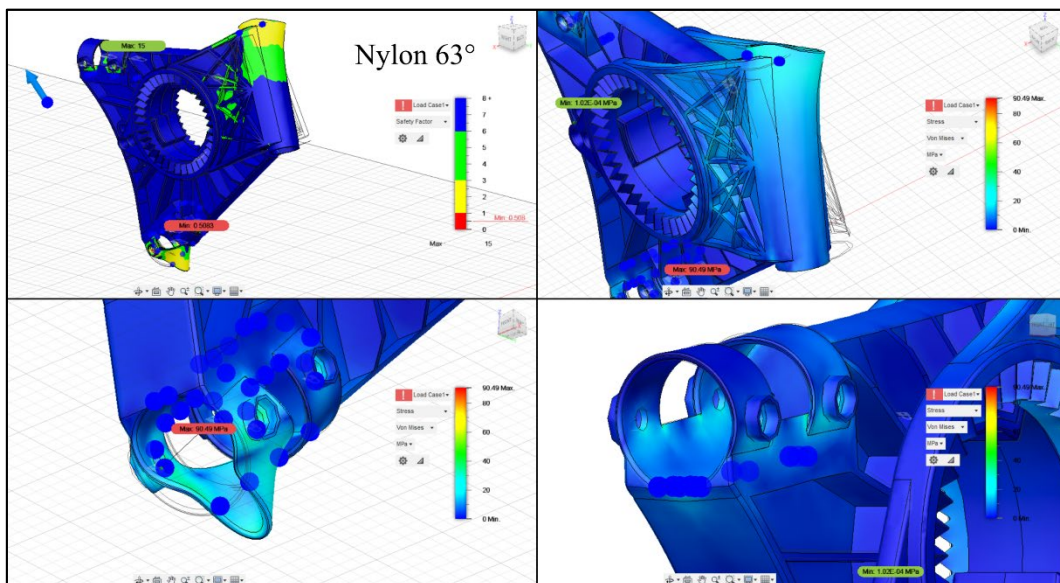
Por último, se analizó el comportamiento del prototipo utilizando nylon como material de fabricación para observar con más claridad los puntos de esfuerzo, esto nos da una idea de los puntos clave para implementar mejoras en futuros prototipos (ver **Figura 75 y 76**).





**Figura 75. Escenario #3, 73 grados (nylon).**

*Nota: Simulado utilizando la herramienta fusión 360.*



**Figura 76. Escenario #3, 63 grados (nylon).**

*Nota: Simulado utilizando la herramienta fusión 360.*

En conclusión, el resultado de los tres escenarios de simulación nos muestra que el prototipo en la posición más erguida de 73 grados cumple satisfactoriamente todos los análisis determinando que de cambiar el material de fabricación de aluminio 6061 esta sería una pieza completamente funcional, por otro lado en la posición más abierta de 63 grados el prototipo corre el riesgo de fallo debido a los altos esfuerzos a los que esta posición se

enfrenta, este resultado indica que para mejorar la funcionalidad del próximos prototipos, se debe ofrecer más soporte al modelo en esta posición, y aliviar los puntos 4 puntos de esfuerzo observados la **Figura 67**.

## 6. Capítulo VI: Conclusión

En conclusión, el presente trabajo de tesis ha abordado el diseño y la fabricación de componentes ajustables y personalizables para bicicletas, centrándose en el desarrollo de un soporte y un tubo de dirección con ángulo graduable mediante la utilización de la tecnología de impresión 3D SLS con polvo de nylon. A lo largo de este estudio, se ha explorado la importancia de promover la movilidad sostenible y el uso de la bicicleta como medio de transporte, así como la necesidad de desarrollar soluciones innovadoras que mejoren la experiencia de los ciclistas y promuevan su adopción a gran escala.

En primer lugar, se realizó una investigación sobre el diseño de bicicletas y los componentes ajustables, analizando la literatura existente y examinando el estado del arte en este campo. Este análisis proporcionó los fundamentos teóricos necesarios para comprender los principios del diseño de bicicletas y los beneficios de los componentes ajustables en términos de comodidad, rendimiento y versatilidad.

Luego, se procedió al diseño del soporte y el tubo de dirección con ángulo graduable, teniendo en cuenta aspectos como la geometría y la comparación con bicicletas disponibles en el mercado. Se emplearon herramientas de modelado 3D para crear los diseños virtuales de los componentes, optimizando su funcionalidad y asegurando la compatibilidad con las tecnologías de impresión 3D.

Posteriormente, se llevó a cabo la fabricación de los prototipos utilizando la tecnología de impresión 3D SLS con polvo de nylon. Se establecieron parámetros de impresión adecuados y se demostró durabilidad de las piezas a través de simulaciones de esfuerzos estáticos con distintos materiales para observar los puntos de esfuerzo crítico y así obtener recomendaciones para el desarrollo de futuros prototipos. Los prototipos resultantes demostraron ser funcionales.

Para evaluar la versatilidad y la adaptabilidad de los componentes diseñados, se realizaron pruebas de ajuste y personalización. Estas pruebas permitieron comprobar los cambios en la geometría de la bicicleta según las preferencias individuales de los ciclistas. Los resultados obtenidos dan un ejemplo de la eficacia de los componentes ajustables en la mejora de la experiencia del ciclista y en la adaptación de la bicicleta a diferentes modalidades deportivas y de transporte.

A lo largo del desarrollo de este trabajo de investigación, se identificaron varias limitaciones y desafíos. Uno de ellos fue la restricción en el uso de materiales de mayor calidad, como el aluminio, el titanio o la fibra de carbono, debido a su costo y a la tecnología requerida para su procesamiento. Sin embargo, el uso de polvo de nylon en la fabricación de los prototipos demostró ser adecuado para cumplir con los objetivos establecidos en esta investigación.

Además, se reconoce que este estudio se centró en el diseño y la fabricación de componentes específicos, dejando de lado otros aspectos relevantes del diseño de bicicletas, como la aerodinámica y la resistencia de los materiales. Estos aspectos podrían ser objeto de investigaciones futuras para ampliar el conocimiento en el campo del diseño de bicicletas y su impacto en la experiencia del ciclista.

En última instancia, el objetivo final de este trabajo es impulsar un cambio positivo en la industria del diseño de bicicletas, fomentando la adopción de componentes ajustables y personalizables que satisfagan las necesidades individuales de los ciclistas, mejoren su comodidad y rendimiento, y contribuyan a una economía circular y sostenible. A través de la combinación de tecnología, investigación y diseño centrado en el usuario, es posible crear bicicletas más versátiles, eficientes y adaptadas a las demandas de la movilidad actual.

## 7. Capítulo VII: Recomendaciones

Basado en los resultados obtenidos, se listan una serie de recomendaciones que sirvan como base para continuar con el desarrollo de futuros prototipos en busca de una solución óptima para su aplicación en campo.

- El diseño de las tapas dentadas de ajuste debe ser mejorado para facilitar el cambio de una posición a otra para el tubo de dirección.
- Mejorar el método de acople de la base con el marco de la bicicleta para que sea más resistente a esfuerzos externos.
- Agregar algún tipo de resistencia que permita que la dirección se mantenga en una posición mientras esta se ajusta en diferentes ángulos.
- Se debe realizar una evaluación exhaustiva de materiales adecuados para soportar los esfuerzos aplicados sobre la bicicleta.
- Se debe reducir el volumen general de las piezas, esto se puede lograr utilizando un material de fabricación más resistente y optimizando la forma general del diseño en base a ese material.
- Reducir el peso del diseño para sumar lo mínimo necesario al peso total de la bicicleta.

## Bibliografía

A continuación, se presenta el listado de fuentes bibliográficas consultadas para la realización de este trabajo de investigación, las fuentes en el orden en que aparecen referenciadas en el cuerpo del trabajo.

Richter, F. (2022, Mayo). Pandemic-Fueled Bicycle Boom Is Losing Speed. Statista. <https://www.statista.com/chart/25088/us-consumer-spending-on-bicycles/>

Balton, J. (2022, Diciembre). Bike Statistics and Facts. Bicycle-Guider. <https://www.bicycle-guider.com/bike-facts-stats/>

Arango, A. (2019, Enero). Cómo Entender la Geometría de tu Bicicleta. BikeExchange. <https://www.bikeexchange.com.co/blog/guia-geometria-de-bicicletas>.

Guía para entender la geometría de una bicicleta (2020, Febrero). Recuperado de <https://blogs.forumsport.com/ciclismo/guia-para-entender-geometria-bicicleta/>.

Momentum Planet. (s.f) Know Your Bike: Rake and Trail. Recuperado de <https://www.momentumplanet.ca/know-your-bike-rake-and-trail/>

Serra, A. (2018, Julio). Tipos de bicicletas de carretera. Sports.es. <https://www.sport.es/laborsadelcorredor/tipos-bicicletas-carretera/>

Romero, N. (2022, Junio). Tipos de bicicletas de montaña y características. Sports.es. <https://www.sport.es/bicio/tipos-de-bicicletas-de-montana-y-caracteristicas/>

Mirlisenna, G. (2016, Enero). Método de los elementos finitos: ¿qué es? Engineering Simulation and Scientific Software (ESSS). <https://www.esss.co/es/blog/metodo-de-los-elementos-finitos-que-es/>

Rodriguez, E. (2005). Metodología de la investigación. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

Namakforoosh, M. (2000). Metodología de la investigación. Editorial Limusa

Design Council. (2015). The process: using the Double Diamond. Design Council.org. <https://www.designcouncil.org.uk/our-resources/framework-for-innovation/>

García Manjon, J. PhD. (2021, Mayo). El doble diamante como metodología de innovación. Blog jvmanjon. <https://jvmanjon.com/2021/05/23/el-doble-diamante-como-metodologia-de-innovacion/>

Statista Research Department. (2023, Mayo). Number of bicycles sold in the European Union (EU) from 2018 to 2021, by country (in 1,000 units). Statista. <https://www.statista.com/statistics/393948/bicycle-sales-volume-in-the-european-union-eu-by-country/>

Cathcart-Keays, A. (2016, Noviembre). Two-wheel takeover: bikes outnumber cars for the first time in Copenhagen. The Guardian. <https://www.theguardian.com/cities/2016/nov/30/cycling-revolution-bikes-outnumber-cars-first-time-copenhagen-denmark>

Macaya, D. (2023). ¿Cuáles fueron las bicicletas más vendidas en 2022? Tuvalum. <https://tuvalum.com/blog/bicicletas-mas-vendidas-2022/>

Mundo Mammoth. (24 febrero 2019). Qué es la geometría de una bicicleta. [Video]. YouTube. [https://www.youtube.com/watch?v=ybFcpVQLG\\_g&t=65s](https://www.youtube.com/watch?v=ybFcpVQLG_g&t=65s)

Ruiz, A. (2017, Agosto). Así funciona el sistema de geometría ajustable Mino Link de las bicicletas dobles de Trek. TodoMountainBike. <https://www.todomountainbike.net/>

Trek Bicycle. (2017, Agosto). Mino Link con Cam McCaul. [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=dAkO9rIS894&t=12s>

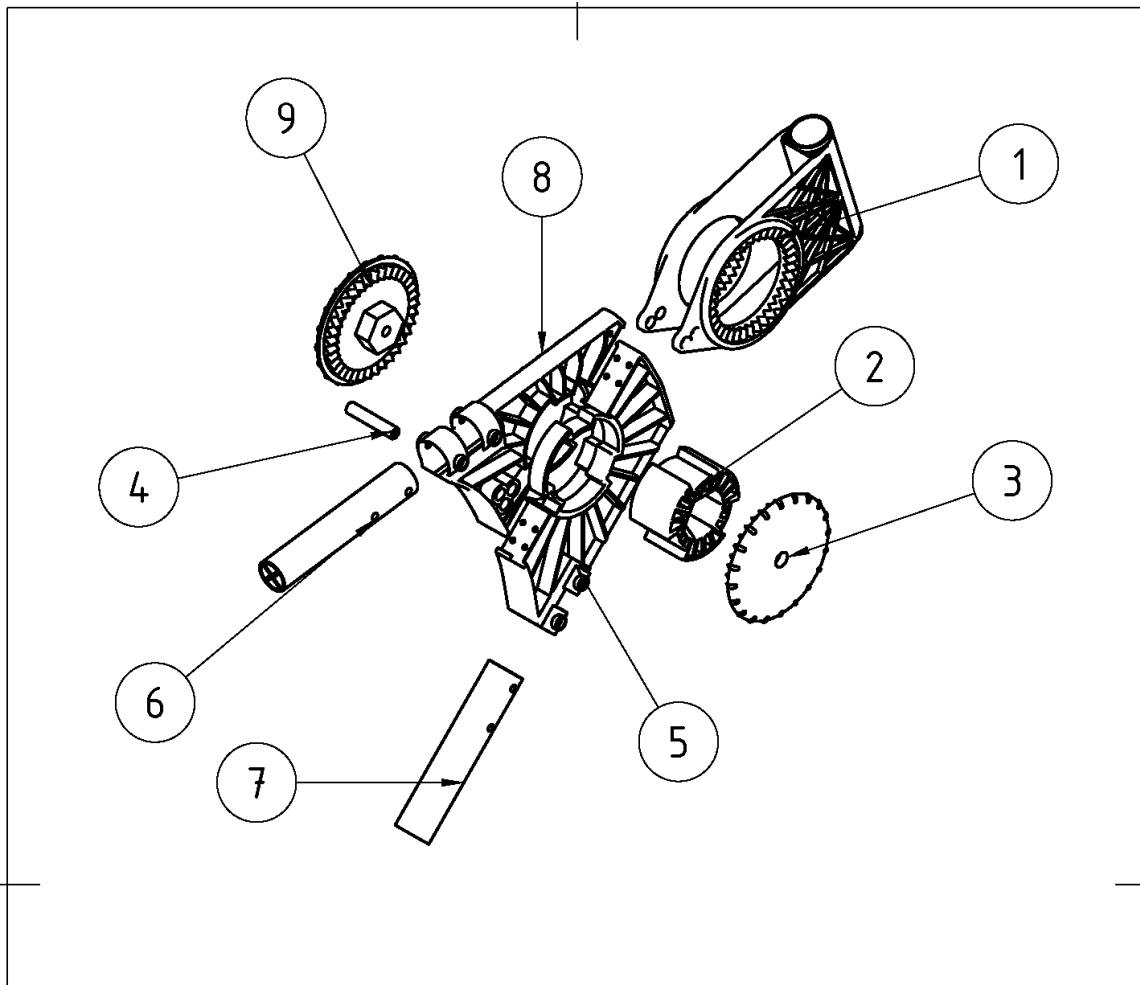
Dasson-Neville, S., Tarrin, G. & Dekneuvel, Y. (2006, Octubre). Adjustable Frame Bicycle [archivo PDF]. Recuperado de <https://worldwide.espacenet.com/>

Chao, H. (2013, Julio). Bicycle frame structure capable of adjusting length and angle [archivo PDF]. Recuperado de <https://worldwide.espacenet.com/>.

Covill, D., Allard, P., Drouet, JM., Emerson, N. (2016, Diciembre). An Assessment of Bicycle Frame Behaviour under Various Load Conditions Using Numerical Simulations. *Procedia Engineering*, pp. pp.3-5

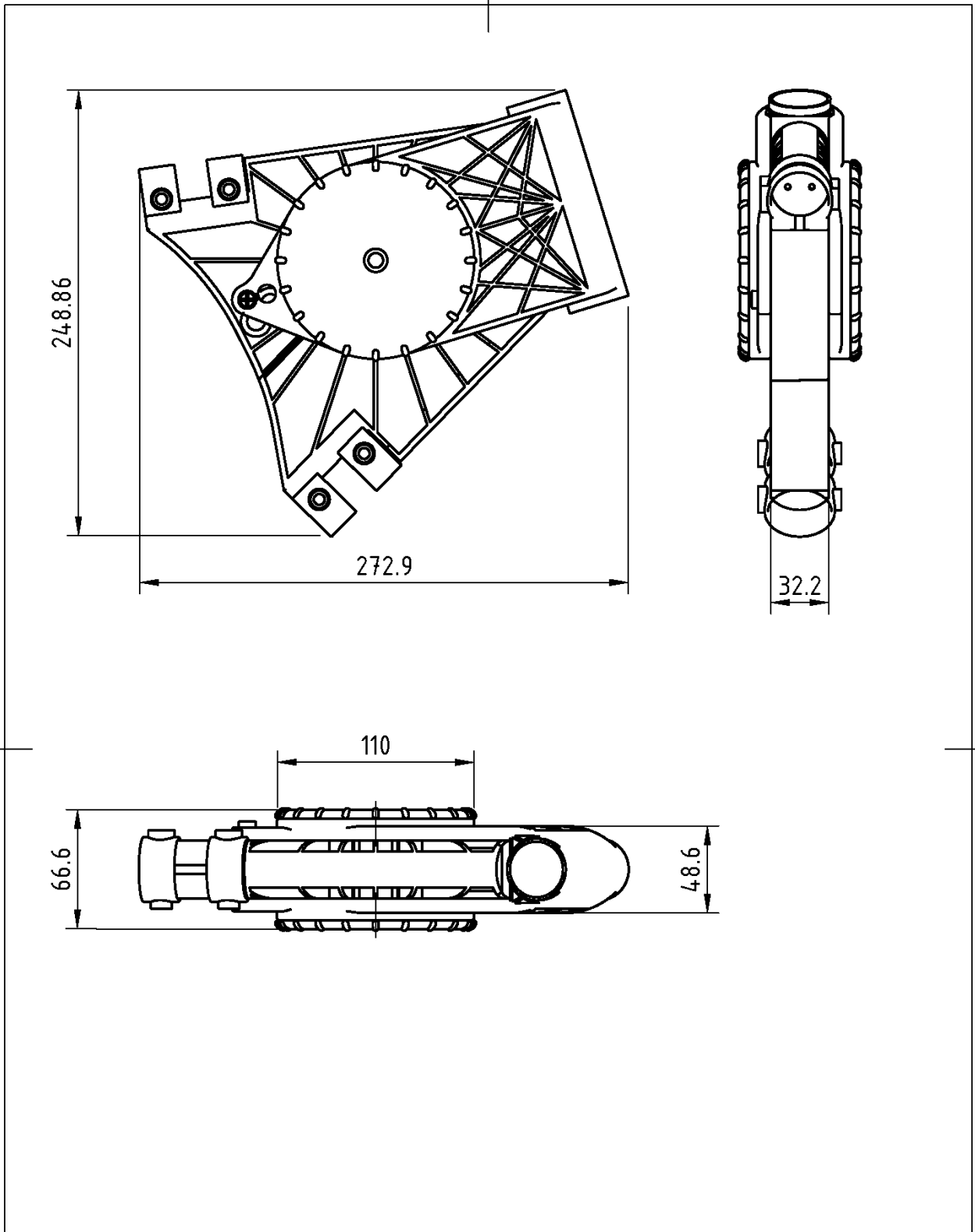


## Anexos

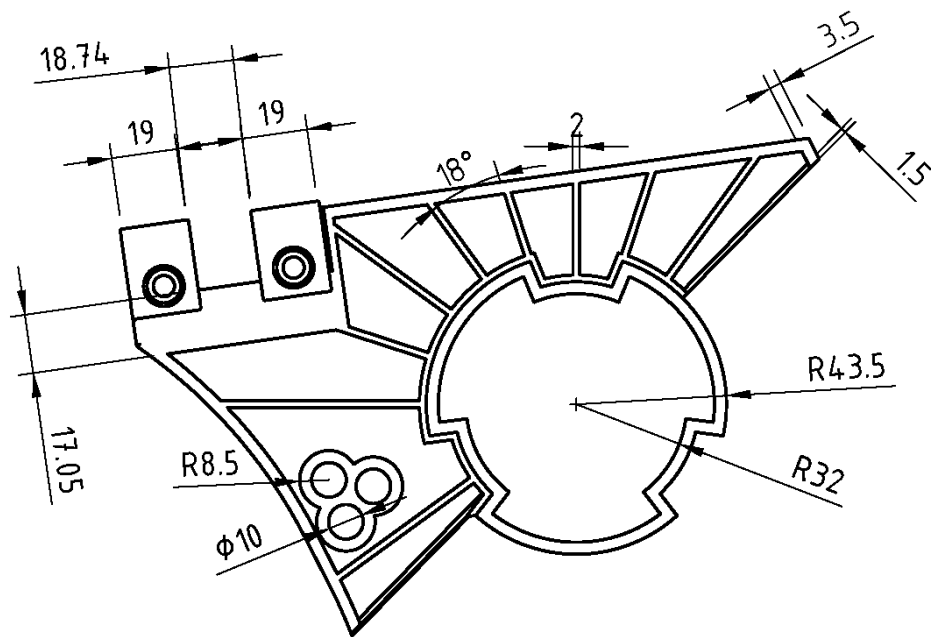
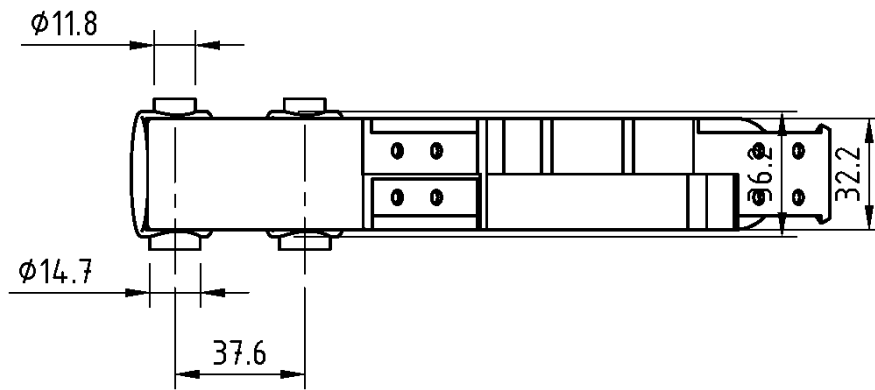


Item	Numero de parte	Descripción	Material
1	05	Tubo de dirección	Nylon 12
2	06	Pasador central	Nylon 12
3	07	Tapa derecha	Nylon 12
4	09	Seguro	Nylon 12
5	02	Base inferior	Nylon 12
6	03	Tubo soporte sup	Nylon 12
7	04	Tubo soporte inf	Nylon 12
8	01	Base superior	Nylon 12
9	08	Tapa izquierda	Nylon 12

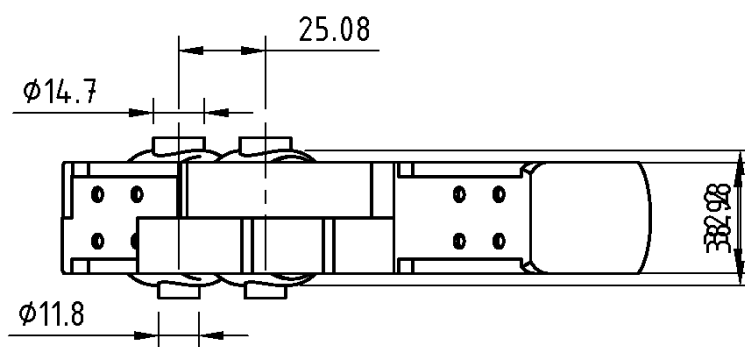
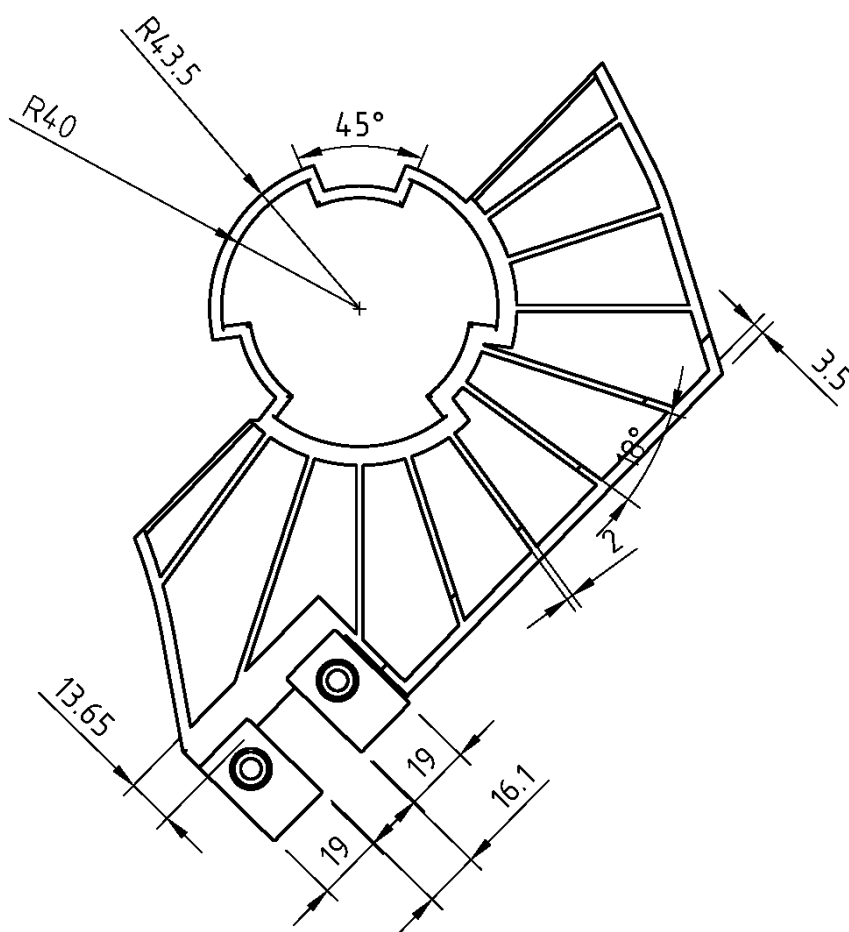
Dept.	Technical reference G. Graterol	Created by Guillermo Graterol	Approved by	
Escala 1:5		Document type Plano de ensamble	Document status Final	
		Title Despiece	DWG No. No. 1	
			Rev. 1	Date of issue 17-07-2023



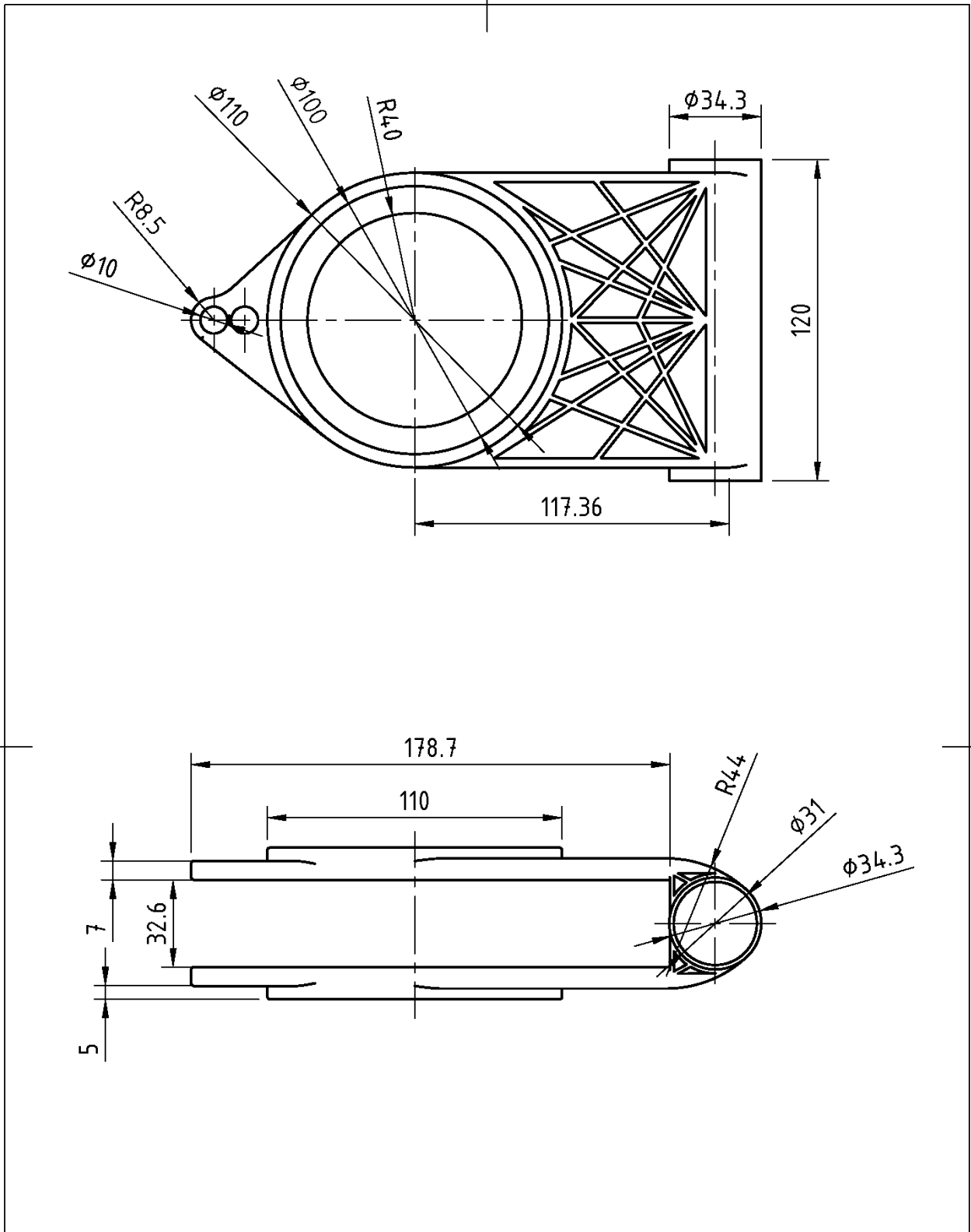
Dept.	Technical reference G. Graterol	Created by Guillermo Graterol	Approved by	
Escala 1:3		Document type Plano de ensamble	Document status Final	
		Title Ensamble base-tubo de dirección	DWG No. No. 2	
	Rev. 1	Date of issue 17-07-2023	Sheet 2/9	



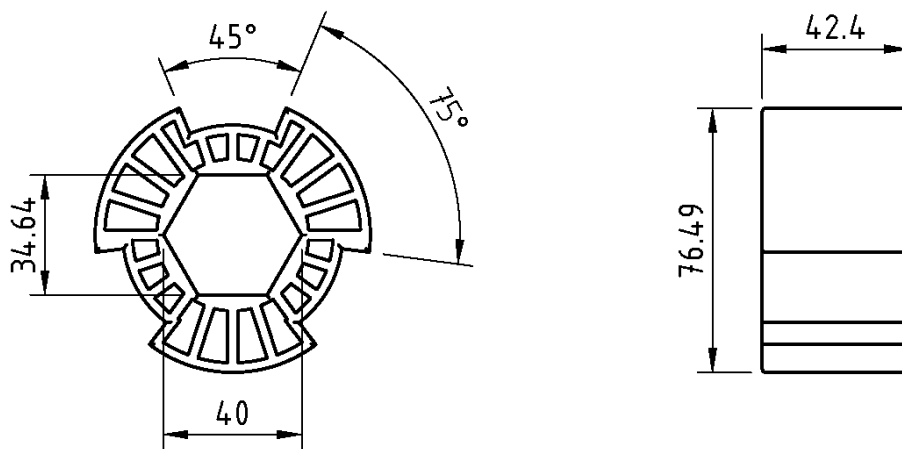
Dept.	Technical reference G. Graterol	Created by Guillermo Graterol	Approved by	
Escala 1:2	Document type Plano de pieza	Document status Final		
	Title Base superior	DWG No. No. 3		
	Rev. 1	Date of issue 17-07-2023	Sheet 3/9	



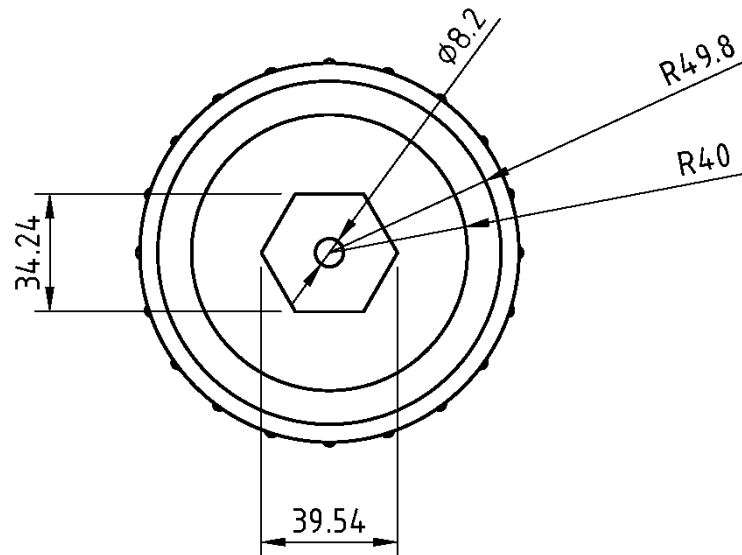
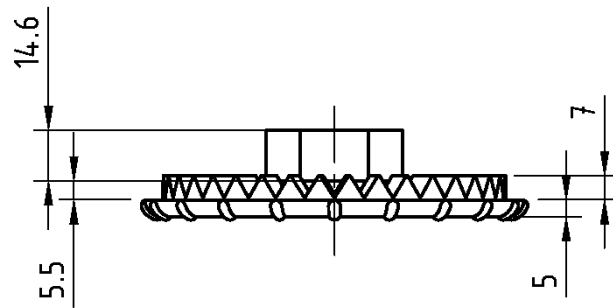
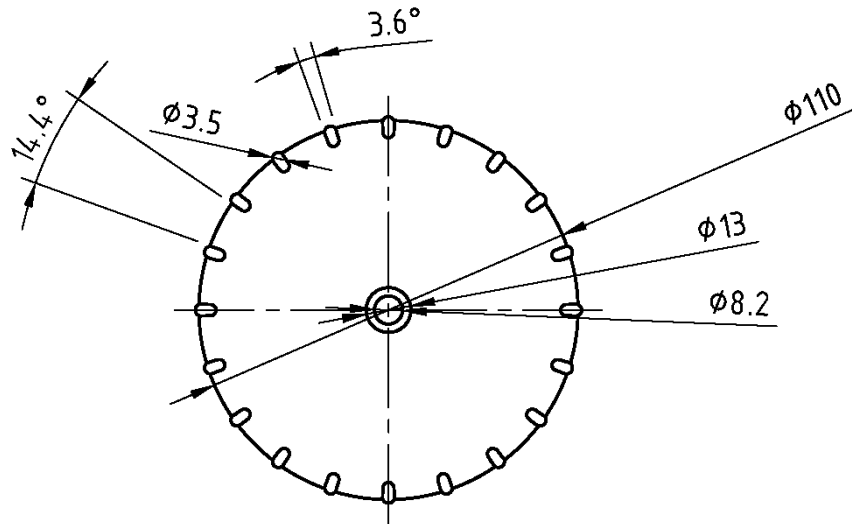
Dept.	Technical reference G. Graterol	Created by Guillermo Graterol	Approved by	
Escala 1:2	Document type Plano de pieza		Document status Final	
	Title Base inferior		DWG No. No. 4	
	Rev. 1	Date of issue 17-07-2023	Sheet 4/9	



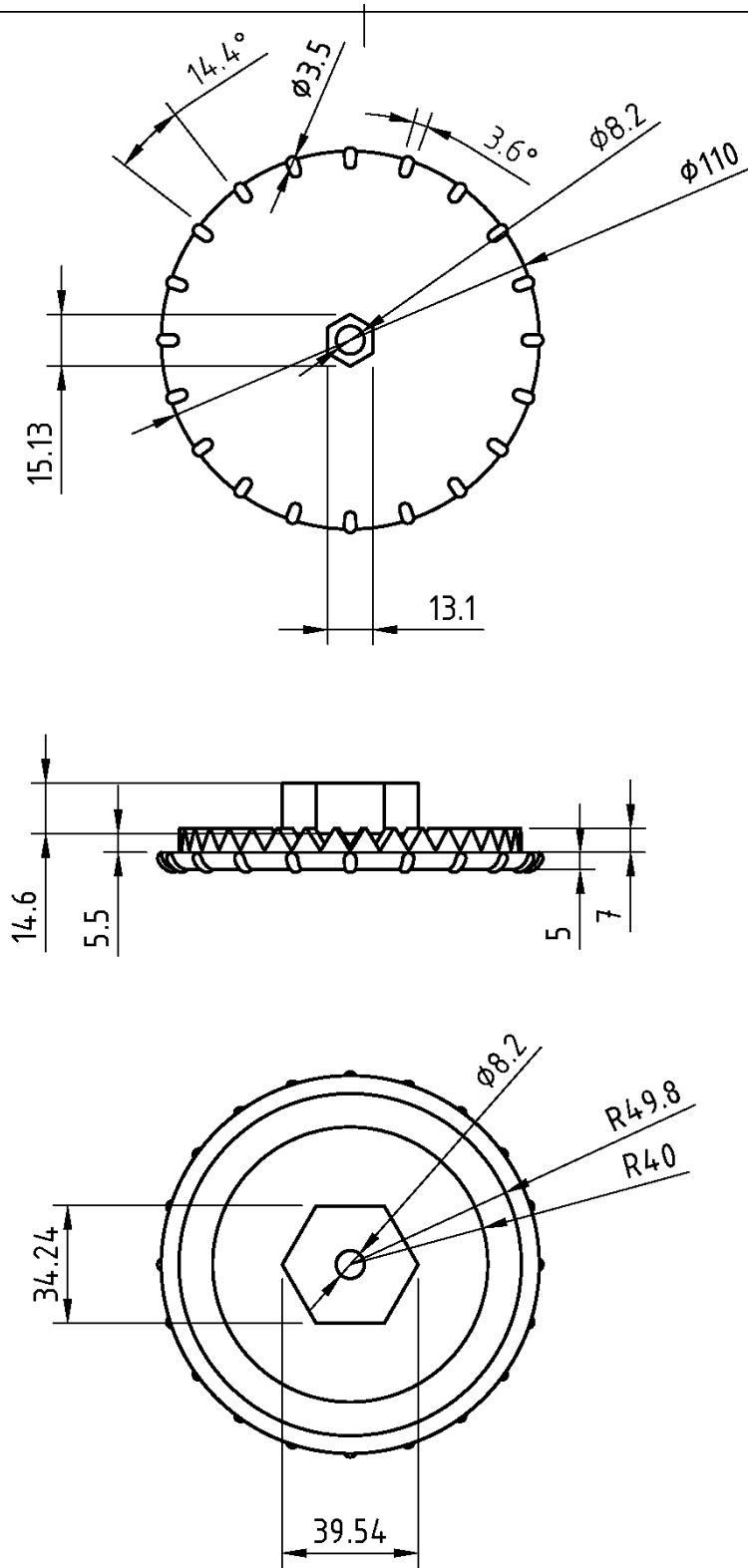
Dept.	Technical reference G. Graterol	Created by Guillermo Graterol	Approved by		
Escala 1:2		Document type Plano de pieza	Document status Final		
		Title Tubo de dirección	DWG No. No. 5		
		Rev. 1	Date of issue 17-07-2023	Sheet 5/9	



Dept.	Technical reference G. Graterol	Created by Guillermo Graterol	Approved by	
Escala 1:2	Document type Plano de pieza	Document status Final		
	Title Pasador central	DWG No. No. 6		
	Rev. 1	Date of issue 17-07-2023	Sheet 6/9	



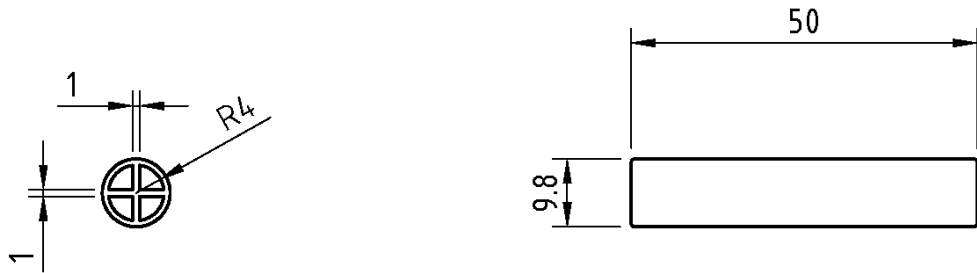
Dept.	Technical reference G. Graterol	Created by Guillermo Graterol	Approved by	
Escala 1:2	Document type Plano de pieza		Document status Final	
	Title Tapa derecha		DWG No. No. 7	
	Rev. 1	Date of issue 17-07-2023	Sheet 7/9	



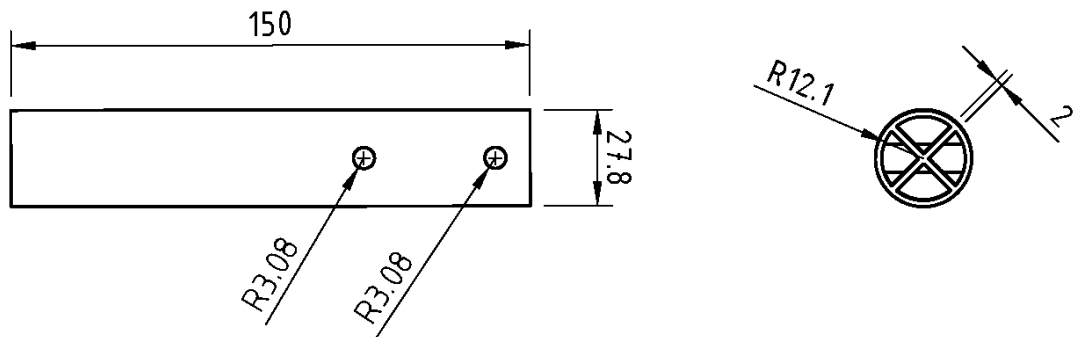
Dept.	Technical reference G. Graterol	Created by Guillermo Graterol	Approved by	
Escala 1:2	Document type Plano de pieza	Document status Final		
	Title Tapa Izquierda	DWG No. No. 8		
	Rev. 1	Date of issue 17-07-2023	Sheet 8/9	



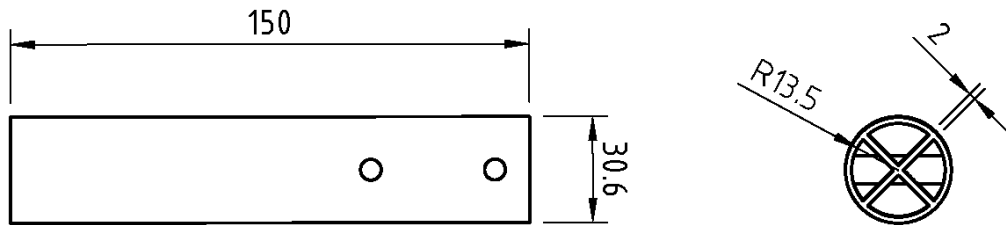
Seguro. Escala 1:1



Tubo soporte superior. Escala 1:2



Tubo soporte inferior. Escala 1:2



Dept.	Technical reference G. Graterol	Created by Guillermo Graterol	Approved by	
Escala 1:2		Document type Plano de piezas	Document status Final	
		Title Seguro Tubo soporte superior Tubo soporte inferior	DWG No. No. 9	
	Rev. 1	Date of issue 17-07-2023	Sheet 9/9	