



**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**

**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**

**ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES**

**GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA**

**Concepción y desarrollo de un cuadro de  
bicicleta modular compatible con sistema de  
asistencia eléctrica al pedaleo.**

**Autor:**

**Tejero Robledo, Samuel**

**Tutor: Sanz Arranz, Juan Manuel**

**Departamento: Ciencia de los materiales e Ingeniería  
Metalúrgica, Expresión gráfica en la Ingeniería, Ingeniería  
Cartográfica, Geodesia, Fotogrametría, Ingeniería Mecánica e  
Ingeniería de los Procesos de Fabricación**

**Valladolid, 11 de Julio de 2023**

**Agradecimientos a Iria, sin su paciencia y apoyo incondicional no estaría donde estoy.  
A mis padres y mi hermano, por luchar porque tuviese una Educación y estar conmigo en mis peores momentos.**

## **RESUMEN**

El objetivo de este proyecto de fin de estudios es la concepción y desarrollo de un cuadro de bicicleta modular, autoensamblable y compatible con sistemas de asistencia eléctrica de motores de buje utilizando los conocimientos adquiridos durante el grado de ingeniería mecánica.

Para ello, en primer lugar, se ha decidido presentar brevemente el contexto en el que se va a enmarcar este trabajo, destacando aspectos tales como qué es una bicicleta, cuál es su principio de funcionamiento y los tipos de bicicletas más comunes en el mercado actual.

Profundizando en este aspecto, se ha realizado un estudio de mercado del que, analizando los datos obtenidos de AMBE, se ha concluido la relevancia creciente de las bicicletas de gravel, así como los sistemas de asistencia eléctrica al pedaleo más utilizados. En base a esto, se ha procedido a detallar las principales características de una bicicleta gravel, centrándonos en aspectos tales como los materiales de fabricación utilizados y su geometría, parámetros y estándares dimensionales.

En segundo lugar y partiendo de todos los datos recogidos en apartados anteriores, se ha procedido a diseñar el ya mencionado cuadro de bicicleta autoensamblable, para lo cual se ha utilizado el programa de diseño Siemens NX. En complemento al modelado en 3D se han descrito las técnicas de fabricación y los materiales seleccionados para elaborar dicho cuadro. Además, se ha redactado el manual de ensamblaje para el montaje completo del cuadro.

Por último, y atendiendo al requerimiento mencionado en el título del trabajo sobre la compatibilidad con sistemas de asistencia eléctrica de motores de buje, se han descrito los pasos necesarios para convertir el cuadro diseñado en el de una bicicleta eléctrica.

Como conclusión, se ha realizado un plan de viabilidad y un breve estudio económico utilizando herramientas tales como un Business Model Canvas y un DAFO; y se han detallado las perspectivas de futuro, tanto mejoras técnicas como de producto, del proyecto.

### **Palabras clave:**

Cuadro de bicicleta, diseño 3D, manual de ensamblaje,

## **ABSTRACT**

The aim of this final project is the design and development of a self-assembly bicycle frame compatible with hub motor electric assistance systems using the knowledge acquired during the mechanical engineering degree.

First of all, it has been decided to briefly present the context in which this work will be framed, highlighting aspects such as what is a bicycle, what is its principle of operation and the most common types of bicycles on the current market.

In this regard, a market study was carried out and, analyzing the data obtained from AMBE, it was concluded that gravel bicycles are becoming increasingly important, as well as the most widely used electric pedal assistance systems. Based on this, main characteristics of a gravel bike were detailed, focusing on aspects such as the manufacturing materials used and their geometry, parameters and dimensional standards.

Secondly, and based on all the data collected in previous sections, the self-assembly bicycle frame was designed, for which we used the Siemens NX design program. As a complement to the 3D modeling, the manufacturing techniques and the materials selected to manufacture the frame have been described. In addition, the assembly manual for complete assembly of the frame has been written.

Finally, and attending to the requirement mentioned in the title of the work about the compatibility with hub motor electric assistance systems, the necessary steps to convert the designed frame into an electric bicycle frame have been described.

To sum up, a feasibility plan and a brief economic study have been carried out using tools such as a Business Model Canvas and a SWOT; and the future prospects of the project, both technical and product improvements, have been detailed.

### **Key words:**

Bicycle frame, 3D design, assembly manual,

## RESUMEN

- Palabras clave

## ABSTRACT

- Keywords

**ÍNDICE GENERAL**

- Índice de contenidos
- Índice de figuras

**ÍNDICE DE CONTENIDOS****Contenido**

1. INTRODUCCIÓN .....	12
1.1. Objetivo del proyecto .....	12
1.2. Motivación y justificación del proyecto .....	12
1.3. Definición del Proyecto - Alcance y metodología .....	12
1.4. Estructura del documento .....	13
2. CONTEXTO .....	15
2.1. ¿Qué es una bicicleta?.....	15
2.2. Principio de funcionamiento.....	16
2.3. Historia y evolución hasta la actualidad .....	16
2.4. Tipos de bicicletas.....	18
2.4.1. Montaña .....	19
2.4.2. Ruta .....	24
2.4.3. Urbanas.....	28
2.4.4. BMX (Bicycle Motocross) .....	31
2.4.5. Otras .....	33
2.4.5.1. Pista .....	33
2.4.5.2. Tándem.....	34
2.4.5.3. Trial .....	34
3. ESTUDIO DE MERCADO.....	36
3.1. Tendencias y volumen de ventas - AMBE .....	36
3.2. Gravel. La bicicleta total.....	41
3.3. Fabricantes y modelos.....	43
3.4. Sistemas de asistencia al pedaleo.....	49
3.4.1. Specialized SL 1.1.....	50
3.4.2. Bosch Performance Line CX .....	51

3.4.3.	Mahle ebikemotion X35+ .....	51
4.	CARACTERÍSTICAS DE UNA GRAVEL .....	53
4.1.	Materiales de fabricación.....	55
4.1.1.	Acero .....	56
4.1.2.	Aluminio (6061 y 7075).....	57
4.1.3.	Carbono.....	59
4.1.4.	Titanio .....	61
4.2.	Geometría y parámetros dimensionales.....	63
4.2.1.	Ángulo de dirección .....	64
4.2.2.	Ángulo del tubo del sillín .....	64
4.2.3.	Longitud de vainas .....	66
4.2.4.	Longitud del tubo superior .....	66
4.2.5.	Distancia entre ejes.....	67
4.2.6.	Longitud de la pipa de la dirección .....	67
4.2.7.	Altura del eje pedalier .....	68
4.2.8.	Caída del eje pedalier .....	69
4.2.9.	Otros parámetros .....	69
4.2.9.1.	Reach .....	69
4.2.9.2.	Stack .....	70
4.2.10.	Horquilla .....	71
4.2.10.1.	Longitud.....	71
4.2.10.2.	Offset.....	71
4.2.10.3.	Trail .....	72
4.3.	Estándares dimensionales de un cuadro comercial .....	73
4.3.1.	Dirección .....	73
4.3.2.	Tubo de sillín.....	75
4.3.3.	Abrazadera del tubo de sillín .....	75
4.3.4.	Pinza de freno .....	75
4.3.5.	Tamaño de rueda .....	76
4.3.6.	Eje trasero .....	78
4.3.7.	Caja pedalier.....	82
5.	DISEÑO DEL CUADRO .....	84
5.1.	Estándares comerciales.....	84
5.1.1.	Dirección .....	84
5.1.2.	Tubo se sillín .....	85

5.1.3.	Abrazadera del tubo de sillín.....	85
5.1.4.	Pinza de freno .....	86
5.1.5.	Tamaño de rueda.....	86
5.1.6.	Eje trasero.....	87
5.1.7.	Caja pedalier .....	89
5.2.	Geometría del cuadro .....	90
6.	FABRICACIÓN .....	98
6.1.	Técnicas de fabricación .....	98
6.1.1.	Laminado .....	98
6.1.2.	Soldadura TIG.....	98
6.1.3.	Soldadura fuerte.....	99
6.1.4.	Devanado.....	100
6.1.5.	Racores.....	101
6.2.	Materiales.....	103
7.	MODELADO DEL CUADRO.....	105
7.1.	Descripción del programa .....	105
7.2.	Dimensionado.....	105
7.2.1.	Dirección .....	106
7.2.2.	Tubo de sillín .....	107
7.2.3.	Abrazadera de tubo de sillín .....	107
7.2.4.	Pinza de freno .....	108
7.2.5.	Tamaño de rueda.....	108
7.2.6.	Eje trasero y patilla UDH™ .....	109
7.2.7.	Caja pedalier .....	110
7.2.8.	Conjunto de requisitos dimensionales.....	110
7.3.	Diseño de las partes.....	111
7.4.	Empaquetado .....	111
7.5.	Manual de ensamblaje .....	112
7.5.1.	Lista de materiales .....	112
7.5.2.	Guía de montaje .....	114
7.6.	Montaje completo .....	120
7.7.	CONVERSIÓN A BICICLETA ELÉCTRICA .....	121
8.	PLAN DE VIABILIDAD Y ESTUDIO ECONOMICO .....	122
8.1.	Business Model Canvas .....	122
8.2.	D.A.F.O.....	123

8.3.	Coste de desarrollo.....	124
8.3.1.	Licencias.....	124
8.3.2.	Equipos.....	125
8.3.3.	Materiales.....	126
8.3.4.	Fabricación.....	126
8.3.5.	Validación.....	127
9.	PERSPECTIVAS DE FUTURO.....	128
9.1.	Mejoras técnicas.....	128
9.2.	Mejoras de producto.....	129
10.	CONCLUSIONES.....	130
11.	BIBLIOGRAFÍA.....	132
	ANEXOS.....	142

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- Componentes de una bicicleta [2] [elaboración propia] .....	16
Figura 2- Historia de la bicicleta [7].....	18
Figura 3 - Tipos de bicicletas (elaboración propia).....	18
Figura 4- Bicicleta cross country Orbea Oiz M Pro [12].....	20
Figura 5- Bicicleta Down Country Orbea Oiz M Pro TR [14].....	20
Figura 6- Bicicleta trail Orbea Occam M-Ltd [16].....	21
Figura 7- Bicicleta Enduro Orbea Rallon M-Ltd [17].....	22
Figura 8- Bicicleta Freeride Ghost FR AMR 8.7 AL [19] .....	22
Figura 9- Bicicleta descenso Mondraker Summum Carbon RR [21].....	23
Figura 10- Bicicleta fatbike Kona Woo [23] .....	23
Figura 11- Bicicleta escaladora Orbea Orca M20 [27].....	25
Figura 12- Bicicleta larga distancia Orbea Avant H40D [29].....	25
Figura 13- Bicicleta aerodinámica Orbea ORCA AERO M20LTD [31].....	26
Figura 14- Bicicleta contrarreloj Orbea Ordu M10iLTD [33] .....	27
Figura 15- Bicicleta de ciclocross RX Team 5.0 [35].....	27
Figura 16- Bicicleta gravel gravelx evo 4.5 [39] .....	28
Figura 17- Bicicletas cargo [41], [42].....	29
Figura 18- Bicicleta plegable Brompton [43].....	29
Figura 19- Bicicleta fixie SantaFixie Fabric [46] .....	30
Figura 20- Bicicleta de paseo Conor Malibú [47] .....	30
Figura 21- Bicicleta híbrida Canyon Commuter 5 [48].....	31
Figura 22- Bicicleta Haro Downtown 18 [50].....	31
Figura 23- Bicicleta BMX Street Haro Dana [51] .....	32
Figura 24- Bicicleta de Dirt Jump Haro Thread [52].....	32
Figura 25- Bicicleta BMX race Haro Blackout [53] .....	33
Figura 26- Bicicleta de pista Planet X Pistard Air [55].....	34
Figura 27- Bicicleta tándem Verso [57].....	34
Figura 28- Bicicleta de trial Echo Pure [59] .....	35
Figura 29- Volumen de ventas en el sector de la bicicleta [63]. .....	37
Figura 30- Puntos de comercialización en el sector del ciclismo [63].....	38
Figura 31- Volumen de negocio por categoría de producto en el sector del ciclismo [63].....	38
Figura 32- Volumen de ventas y precios medios de bicicletas por modalidad [63].....	40
Figura 33- Specialized Diverge 2017 (izquierda) versus 2023 (derecha) [74].....	42
Figura 34- Tabla de marcas y modelos de estudio.....	48
Figura 35- Cuadro resumen de las bicicletas estudiadas.....	48
Figura 36- Bicicletas analizadas según marcas .....	48
Figura 37- Motores de los modelos de bicicleta eléctrica analizados .....	49
Figura 38- Esquema genérico de un sistema de asistencia al pedaleo.....	49
Figura 39- Sistema Specialized SL 1.1 [97].....	50
Figura 40- Sistema Bosch Performance Line CX [98]. .....	51
Figura 41- Sistema Mahle ebikemotion X35+ [100].....	51
Figura 42- Ejemplos de modelos de diferentes estratos: Specialized® Aethos versus Tarmac [74]. .....	53
Figura 43- Materiales de las bicicletas analizadas [elaboración propia].....	55
Figura 44- Ribble® CGR 725 [104]. .....	57
Figura 45- Tabla comparativa de aleaciones de aluminio .....	58

Figura 46- Ribble CGR Al [111].	59
Figura 47- Máquina de trenzado de fibra de carbono.	60
Figura 48- Ribble CGR SL [112].	61
Figura 49- Tabla comparativa entre acero y titanio.	62
Figura 50- Ribble CGR Ti [113].	63
Figura 51- Triángulos de un cuadro [115].	64
Figura 52- Ángulo del tubo de la dirección [115].	64
Figura 53- Ángulo del tubo del sillín [115].	65
Figura 54- Longitud de vainas [115].	66
Figura 55- Longitud del tubo superior [115].	67
Figura 56- Distancia entre ejes.	67
Figura 57- Longitud de la pipa de la dirección [115].	68
Figura 58- Altura del eje pedalier [115].	68
Figura 59- Caída del eje pedalier [115].	69
Figura 60- Reach o avance del cuadro [115].	70
Figura 61- Stack o altura del cuadro [115].	70
Figura 62- Longitud de horquilla [115].	71
Figura 63- Offset de la horquilla [115].	72
Figura 64- Trail de la rueda delantera [115].	72
Figura 65- Representación de estándares dimensionales de un cuadro comercial [elaboración propia].	73
Figura 66- Tipos de dirección: semiintegrada (izq.) e Integrada (der.) [117].	74
Figura 67- Comparación de tijas: tubular (izq.) y huella en D (der.) [120], [121].	75
Figura 68- Comparación de abrazaderas: cuña (izq.) y abrazadera (der.) [120], [121].	75
Figura 69- Representación de soporte plano para pinza de freno de disco [123].	76
Figura 70- Normas ETRTO [124].	77
Figura 71 - Comparación de ruedas: 700C (izq.) y 650B (der.) [127].	78
Figura 72- Diferentes tamaños de llanta y balón de neumático [126].	78
Figura 73- Dimensiones buje NoBoost [elaboración propia].	79
Figura 74- Catálogo de patillas de cambio del fabricante VAR [130].	79
Figura 75- Patilla de cambio Sram® UDH™ [131].	80
Figura 76- Eje pasante del fabricante estadounidense Sram® [133].	80
Figura 77- Huella de cabeza de ejes pasantes: plana (izq.) y cónica (der.) [134].	81
Figura 78- Catálogo de ejes pasantes traseros del fabricante Carbon-Ti [134].	81
Figura 79- Comparación de tipos de pedalier: a presión (izq.) y roscado (der.).	82
Figura 80- Cajas de pedalier a presión (elaboración propia).	82
Figura 81- Comparación de tipos de pedalier: rodamientos externos (izq.) e internos (der.).	83
Figura 82- Cajas de pedalier roscadas (elaboración propia).	83
Figura 83- Requerimientos dimensionales del fabricante FSA® para su dirección NO.94-HBS/CR [138].	85
Figura 84- Medidas de diámetros de tijas disponibles en el mercado [140], [141].	85
Figura 85- Requerimientos dimensionales del fabricante Sram® para soporte plano de pinza de freno [142].	86
Figura 86- Dimensiones de vainas del cuadro Ican X-gravel [143].	87
Figura 87- Requerimientos dimensionales del fabricante Sram® para bujes NoBoost [133].	87
Figura 88- Requerimientos dimensionales del fabricante Sram® para patillas UDH™ [144].	88
Figura 89- Requerimientos dimensionales del fabricante Sram® para patillas UDH [144].	88
Figura 90- Requerimientos dimensionales del fabricante Sram® para ejes UDH™ [144].	89

Figura 91- Requerimientos dimensionales del fabricante Sram® para PF46 [142] .....	89
Figura 92- Tabla resumen de tallas por cada fabricante del estudio de mercado .....	91
Figura 93- Gráfico de tallas por cada fabricante del estudio de mercado.....	91
Figura 94- Tabla de alturas recomendables por modelo para la talla M de cada fabricante .....	92
Figura 95- Resultados análisis de alturas recomendables.....	93
Figura 96- Parámetros dimensionales de un cuadro de bicicleta [148].....	93
Figura 97- Parámetros dimensionales de tallas M por marca y modelo 1 .....	94
Figura 98 - Parámetros dimensionales de tallas M por marca y modelo 2 .....	95
Figura 99- Valores promedio para cada parámetro dimensional según la talla M .....	95
Figura 100- Parámetros dimensionales principales.....	96
Figura 101- Parámetros dimensionales de la horquilla (clase 2).....	96
Figura 102- Parámetros dimensionales secundarios (clase 3) .....	96
Figura 103- Parámetros dimensionales dependientes (clase 4) .....	97
Figura 104- Parámetros dimensionales indirectos (clase 5).....	97
Figura 105- Dimensiones geométricas del cuadro final .....	97
Figura 106- Tipos de molde para la fabricación de cuadros de carbono: cerrado (Izq.) y abierto (der.).....	98
Figura 107: Soldadura tipo TIG.....	99
Figura 108- Soldadura TIG en cuadro de titanio [153] .....	99
Figura 109- Ejemplo y resultado de soldadura fuerte[155] .....	100
Figura 110- Proceso de devanado [157] .....	101
Figura 111: Ejemplo de bicicleta construida con racores[160]. .....	102
Figura 112- Muestra de racores elaborados por fabricación aditiva de titanio [161].....	102
Figura 113.- Boceto base para el diseño del cuadro. ....	106
Figura 114.- Curva y solido de la envolvente de la dirección.....	107
Figura 115.- Curva y solido de la envolvente de la tija de sillín.....	107
Figura 116.- Curva y solido de la envolvente para la abrazadera de la tija de sillín. ....	108
Figura 117.- Curva y sólido del soporte para la pinza de freno. ....	108
Figura 118.- Sección y sólido de la envolvente de la cubierta.....	109
Figura 119.- Modelo 3D de puntera UDH™.....	109
Figura 120.- Semisección de requerimientos dimensionales de la caja pedalier.....	110
Figura 121.- Conjunto de envolventes de requerimientos dimensionales .....	110
Figura 122.- Estimación de volumen de caja de envío. ....	112
Figura 123.- Lista de herramientas y consumibles necesarios para el montaje del cuadro.....	112
Figura 124.- Lista de elementos de fijación necesarios para el ensamblaje del cuadro. ....	113
Figura 125.- Lista de tubos unitarios que conforman el cuadro. ....	113
Figura 126.- Conjunto de racores que conforman el cuadro.....	113
Figura 127.- Explosionado completo del cuadro [elaboración propia].....	114
Figura 128.- Pasos a seguir de la guía de ensamblaje[elaboración propia].....	119
Figura 129.- Modelo 3D del cuadro final ensamblado.....	120
Figura 130.- Estimación del volumen del cuadro en aluminio. ....	120
Figura 131.- Propuesta de diseño y montaje de bicicleta completa. ....	121
Figura 132.- Business Model Canvas del proyecto del diseño del cuadro .....	123
Figura 133.- Gráfico D.A.F.O.....	124
Figura 134.- Lista de herramientas de taller [176] .....	125
Figura 135.- Referencias de medidas y coste por tubo de aluminio [177] .....	126

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Objetivo del proyecto

El objetivo de este Trabajo de Fin de Grado es la utilización de los conocimientos, herramientas y técnicas aprendidos durante el Grado en Ingeniería Mecánica de la Universidad de Valladolid para la realización de un caso práctico en el ámbito de la movilidad sostenible.

Concretamente, se realizará la concepción y desarrollo de un cuadro de bicicleta modular, autoensamblable y compatible con sistemas de asistencia eléctrica al pedaleo, para lo cual son especialmente relevantes los contenidos impartidos en asignaturas tales como “Diseño Asistido por Ordenador”, “Fabricación Mecánica”, etc.

## 1.2. Motivación y justificación del proyecto

En un mundo cada vez más globalizado y cambiante, la movilidad juega un papel fundamental. La manera en la que se realizan los desplazamientos personales toma especial relevancia al tener en cuenta el contexto geopolítico y socioeconómico actual, donde una de las grandes preocupaciones a medio y largo plazo es frenar el cambio climático. Para ello, en los últimos años se vienen proponiendo, entre otras soluciones, un aumento de soluciones sostenibles en detrimento de otros medios más clásicos. Esto incluye la reducción y optimización del uso de combustibles fósiles en diversos vehículos ya motorizados (motocicletas, coches...) y la electrificación y potenciación de otros medios de transporte, entre los que destacan como ejemplo, las bicicletas.

Este proyecto surge de unificar el contexto actual descrito con mi interés por el mundo del ciclismo. Además, siento especial motivación en poner en práctica los conocimientos adquiridos durante mi formación académica y aunarlos con toda aquellos adquiridos posteriormente en el mundo empresarial.

Es por ello por lo que, de todas las partes que conforman una bicicleta, he elegido centrarme en el diseño del cuadro. Considero que este es su elemento más representativo, el que aporta mayor estética y el que describe el comportamiento general de la bicicleta. Además, con el fin de satisfacer la necesidad detectada en mi ámbito laboral de ser compatible con diversos fabricantes del sector, he decidido que sea autoensamblable y compatible con sistemas de asistencia eléctrica al pedaleo de motores de buje, los más utilizados en el mercado.

## 1.3. Definición del Proyecto - Alcance y metodología

De acuerdo con el objetivo mencionado en el anterior punto “Objetivo del proyecto”, se ha fijado el alcance final del TFG en el diseño y presentación de los distintos elementos que conforman un cuadro de bicicleta tipo gravel, así como de su manual de ensamblaje.

Además, se pretende que el cuadro diseñado sea compatible con distintas marcas comerciales y con sistemas de asistencia eléctrica de motores de buje, de tal forma que la bicicleta resultante final se pudiera electrificar en caso deseado.

Para ello, se ha realizado, en primer lugar, un estudio de mercado en el cual se han analizado los tipos de bicicletas más vendidas actualmente y sus geometrías, materiales y otros aspectos relevantes.

A continuación, en base a los datos obtenidos, se ha propuesto un diseño de cuadro de bicicleta que respete las normativas y los requerimientos comerciales analizados, así como los estándares de fabricación correspondientes. Una vez acotados los requerimientos de diseño y usando el software comercial Siemens NX se ha modelado en 3D las distintas partes de las que se compone el cuadro: tuberías, racores y punteras.

Por último, una vez completado el diseño se ha propuesto un manual de ensamblaje de las piezas diseñadas utilizando para ello el explosionado en 3D de dicho diseño y se han presentado brevemente las conclusiones y perspectivas de futuro del proyecto realizado.

## 1.4. Estructura del documento

La memoria que se presenta en este TFG se ha estructurado de acuerdo con la metodología descrita en el apartado anterior y se compone de las siguientes partes:

- 1) En primer lugar, una breve introducción en la que se explican aspectos genéricos tales como el objetivo y la motivación del proyecto a desarrollar, su alcance y metodología y la manera en la que se estructuran los contenidos en el documento.
- 2) En segundo lugar, una presentación del contexto que incluye una definición e introducción de las bicicletas, de su principio básico de funcionamiento, de su historia y evolución hasta la actualidad y de los distintos tipos de bicicletas existentes actualmente en el mercado.
- 3) En tercer lugar, un estudio de mercado en el que se determina el tipo de bicicleta más vendida en la actualidad, así como cuáles son los principales fabricantes, las distintas partes que componen una bicicleta y qué geometrías y materiales se utilizan. La base de datos obtenida se puede consultar en el Anexo 1.
- 4) A continuación, y en base a los datos obtenidos en el apartado anterior, se proponen los requisitos de diseño para un cuadro de bicicleta autoensamblable y compatible con sistemas de asistencia eléctrica de motores de buje.
- 5) En los siguientes apartados, se modela el diseño propuesto en 3D utilizando el programa comercial Siemens NX, describiendo por separado cada una de las partes que conforman el cuadro de la bicicleta. Los planos de cada una de las piezas se pueden consultar en el Anexo 2. Además, con vistas a la fabricación del cuadro, se adjunta un explosionado, un descriptivo de las herramientas necesarias para su fabricación y un manual de ensamblaje de las piezas diseñadas.
- 6) En sexto lugar se plantea, utilizando herramientas de gestión de proyectos tales como el Business Model Canvas y el DAFO, aquellas objeciones a considerar para llevar el proyecto a la producción junto con un estudio económico.

- 7) Por último, se concluye presentando brevemente las perspectivas de futuro y las posibles aplicaciones de este Trabajo de Fin de Grado, refiriéndonos tanto a mejoras técnicas como de producto.

## 2. CONTEXTO

En este apartado se va a realizar una introducción al concepto la de bicicleta como vehículo un vehículo de transporte exponiendo cuáles son sus componentes y principio de funcionamiento junto con una breve introducción a su historia y tipos que existen en la actualidad.

### 2.1. ¿Qué es una bicicleta?

Una bicicleta, según la definición de la Real Academia Española, es un “Vehículo de dos ruedas, normalmente de igual tamaño, cuyos pedales transmiten el movimiento a la rueda trasera por medio de un plato, un piñón y una cadena” [1].

Así pues, se trata de un vehículo de transporte personal de propulsión humana: es impulsado por el propio viajero con el esfuerzo muscular de las piernas a través de pedales o manivelas.

De forma genérica, el conjunto de todos los componentes que forman una bicicleta puede agruparse en cuatro familias distintas (figura 1):

1. Cuadro [verde]: es el elemento estructural de la bicicleta e integra el resto de los componentes.
2. Transmisión y freno [azul]: proporciona un sistema de propulsión mediante pedales y un sistema de frenado manual.
3. Ruedas [morado]: normalmente de igual tamaño y dispuestas en línea.
4. Periféricos [amarillo]: aglutina el manillar para dar la dirección a la bicicleta y el sillín donde se sentará el ciclista.

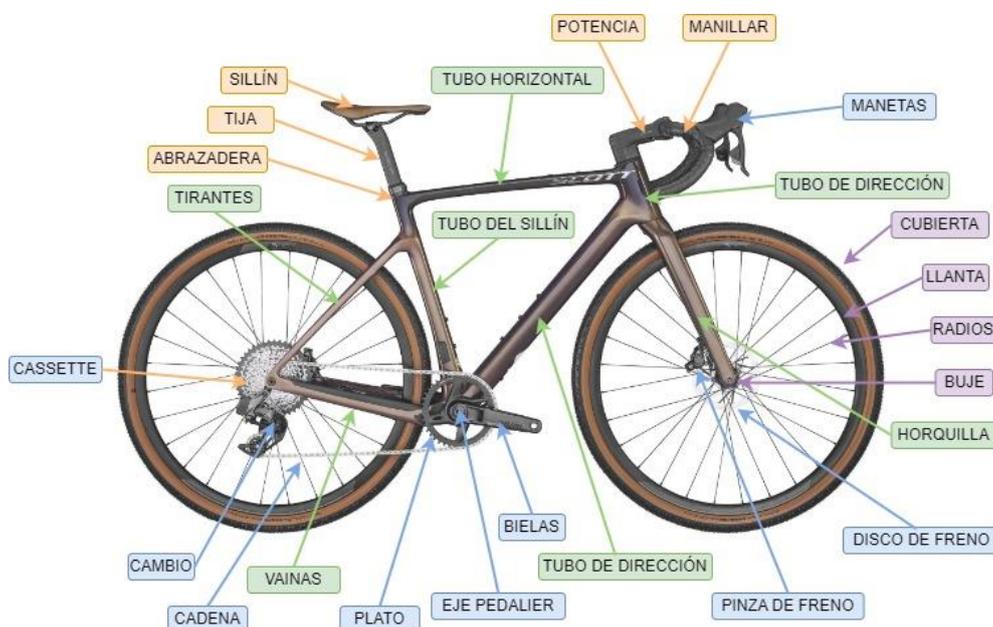


Figura 1- Componentes de una bicicleta [2] [elaboración propia]

## 2.2. Principio de funcionamiento

En una bicicleta clásica, el desplazamiento se obtiene al accionar con las piernas los pedales dispuestos de forma asimétrica, cada uno con una palanca conocida como biela. Estos pedales están ensamblados mediante la caja de pedalier en el cuadro, y en general el pedal derecho es el que tiene la estrella mayor o plato donde se monta la cadena debido a que la mayoría de población es diestra. Dicha cadena engrana sobre el plato y hace girar, a su vez, el piñón, el cual transmite el movimiento a la rueda trasera a través de la piñonera o casete haciéndola girar sobre el suelo y provocando su movimiento.

Las bicicletas eléctricas, por su parte, no son más que una bicicleta clásica a la que se le ha acoplado un motor eléctrico para ayudar en el avance de esta. La energía de este motor es habitualmente suministrada por una batería que se recarga en la red eléctrica o mediante paneles solares, y dentro de los motores que se pueden acoplar a las bicicletas se pueden distinguir dos tipos según la definición que especifica la Dirección General de Tráfico de España [3]: EPAC (*Electronically Power Assisted Cycles*), o comunmente conocidos como pedelec, y *speed ebikes*. Los motores pedelec requieren del accionamiento mecánico de los pedales para funcionar mientras que, en cambio, en un motor eBike se puede activar su acelerador de forma independiente al pedaleo [4], [5].

## 2.3. Historia y evolución hasta la actualidad

Las primeras bicicletas, surgidas alrededor de 1817 de la mano del barón alemán Karl Drais y denominadas en su honor “Draisianas”, constituían una estructura base que, formada por un carrito, un manillar y dos ruedas que se impulsaban apoyando los pies alternativamente sobre el suelo.

El invento se basaba en la idea de que una persona al caminar desperdicia mucha fuerza por tener que desplazar su peso en forma alternada de un pie al otro y tuvo una amplia acogida bajo el nombre de velocípedo, hasta que en 1839 apareció en Escocia la primera bicicleta a pedales.

Este modelo, creado por Kirkpatrick Macmillan, fue ampliamente difundido por Europa Occidental y Norteamérica por el también escocés Gavin Dalzell a partir de 1846, llegando a alcanzar una gran popularidad. En 1861, el francés Pierre Michaux incorporó los pedales en la rueda delantera, causando así un problema de equilibrio que fue solucionado en 1879 por el inglés James Starley, quien propuso que la rueda delantera fuese un poco más grande que la trasera con el fin de aportar estabilidad.

Sin embargo, este diseño seguía siendo peligroso e incómodo, por lo que en torno a 1885, Jhon Kemp Starley creó la ‘safety bicycle’, una bicicleta con ruedas de igual tamaño y un sistema que transmitía la potencia de los pedales a la rueda trasera mediante una cadena. Poco después, cerca de 1890, el inglés John Boyd Dunlop inventó una cámara de tela y

caucho, que se inflaba con aire y se colocaba en la llanta con una cubierta de caucho para evitar pinchazos.

A partir de 1900, tras un largo periodo experimental, la bicicleta alcanzó su madurez. La geometría y el diseño de sus formas han seguido evolucionando sobre estas configuraciones iniciales, buscando siempre la optimización del rendimiento y la adaptación y especialización de la herramienta a distintos usos, terrenos, etc. Sin embargo, a pesar de los avances en los procesos de fabricación e innovación, la estructura básica de doble triángulo se ha mantenido hasta el presente.

Las mejoras tecnológicas que han sufrido las bicicletas desde que se estandarizó su concepto tal y como lo conocemos hoy en día se han centrado en la incorporación de nuevos materiales, mejora de características mecánicas y herramientas de diseño y fabricación, lo que ha permitido que sea una industria mucho más especializada que fuera capaz de crear nuevos conceptos de bicicleta para dar cabida a la demanda de la población.

Tras la Segunda Guerra Mundial, la organización de competiciones tales como el Tour de Francia popularizaron el deporte. En la década de 1960 se crearon en EEUU las primeras bicicletas destinadas específicamente a carretera, y en los años 70 aparecieron las primeras bicicletas BMX. A principios de 1980 se fabricó la primera bicicleta de montaña, diseñada específicamente para el ciclismo todoterreno, y a la cual se le fueron añadiendo sucesivas mejoras, tales como amortiguadores, horquillas de suspensión y neumáticos más anchos y con mayor agarre.

Por último, ya en el siglo XXI, el mayor interés por un estilo de vida saludable, así como el elevado precio de los combustibles y la necesidad de formas de transporte baratas y sostenibles han impulsado especialmente el ciclismo, desarrollando enormemente el segmento de mercado asociado a ello e impulsando la creación de numerosas marcas, tanto de bicicletas (Orbea, Specialized, Megamo, Giant, BH, Trek, etc.) como de componentes (Campagnolo, Shimano, Sram, etc.).

Actualmente existen gran variedad de cuadros y geometrías, así como materiales y configuraciones con diversas características técnicas que permiten al ciclista elegir entre un amplio abanico de posibilidades y llevan a una elevada competitividad y un alto nivel de especialización en el sector.

En la siguiente imagen (figura 2) se muestra, en forma de línea del tiempo, las principales evoluciones de la bicicleta desde su invención en 1818 hasta la década de 1970 [6].

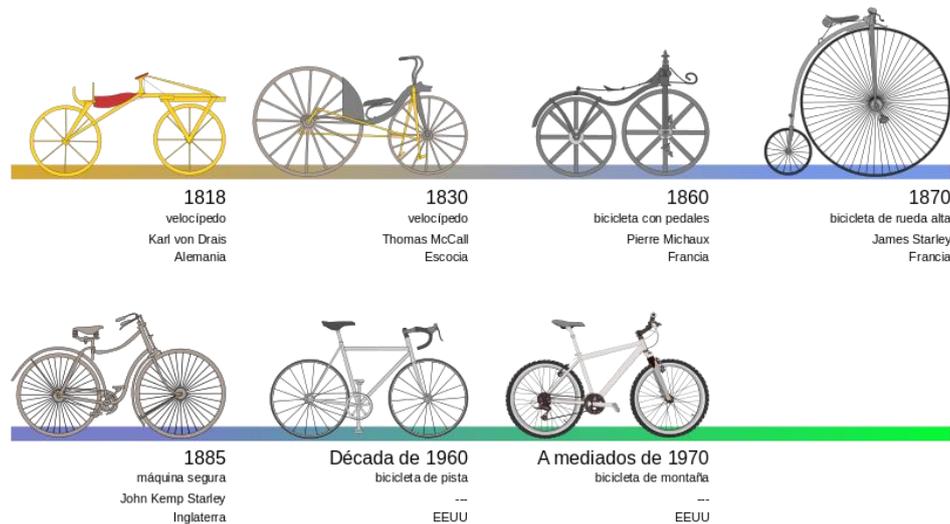


Figura 2- Historia de la bicicleta [7]

## 2.4. Tipos de bicicletas

En la actualidad hay una enorme diversidad de clases y tamaños de bicicletas. La innovación y automatización en los procesos de fabricación unido a la aparición de los programas de diseño 3D que han reducido los tiempos de desarrollo de la bicicleta como producto han hecho que hoy en día exista prácticamente una bicicleta para cada tipo de necesidad y usuario.

Intentar categorizar las bicicletas resulta complejo debido a que muchas veces un solo tipo es una mezcla de otros dos, o simplemente una evolución en la que se ha variado las características de los componentes que utiliza. Sin embargo, en otras situaciones se trata de un segmento totalmente nuevo. Por esta razón se han clasificado en cuatro grupos los tipos de bicicletas más representativos del mercado (figura 3) [8]:

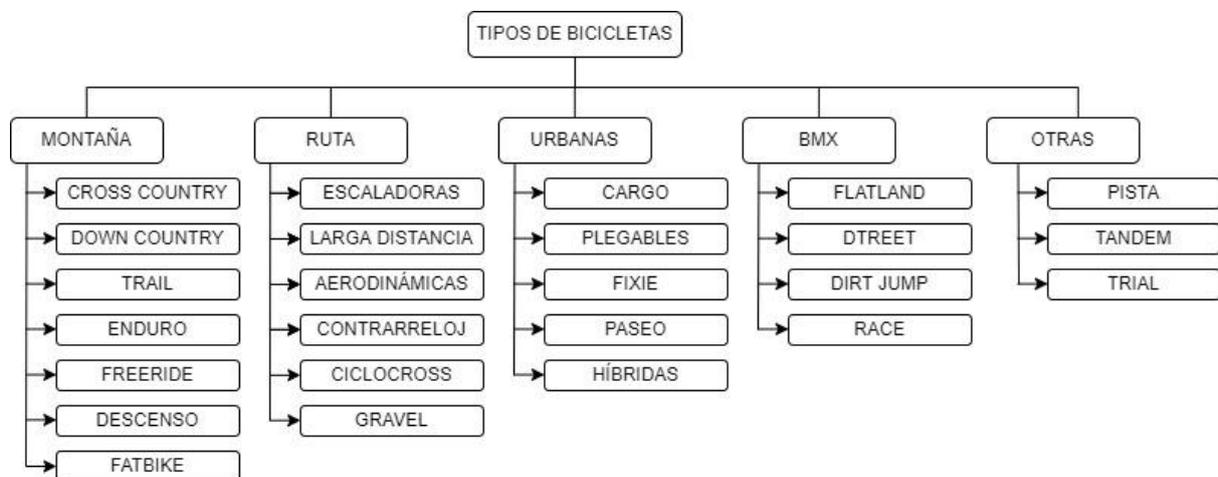


Figura 3 - Tipos de bicicletas (elaboración propia)

### 2.4.1. Montaña

El ciclismo de montaña, también llamado mountain bike o BTT, es un tipo de ciclismo muy versátil que consiste, a grandes rasgos, en recorrer sobre una bicicleta vías, caminos o sendas en espacios naturales al aire libre y con diversos grados de dificultad técnica. Una bicicleta de montaña típica está pensada para ser resistente y duradera, con suspensiones que amortigüen las irregularidades del terreno y neumáticos taqueados cuya anchura depende del terreno por el que se va a circular. Las secciones anchas (de 2.25 a 2.50 pulgadas) se utilizan en terrenos técnicos y rocosos, mientras que las secciones más estrechas (de 1.90 a 2.25 pulgadas) se utilizan en pistas o senderos más rodadores.

Con carácter general, las disciplinas de ciclismo de montaña suelen catalogarse conforme al recorrido de sus suspensiones, a excepción de las Fatbikes, en la que su factor diferenciador es el tamaño de los balones de neumático. Dichos recorridos parten desde los 80/100 mm que utilizan las bicicletas de Cross Country hasta los 220 mm de las de descenso [9], [10].

#### 2.4.1.1. Cross Country

También conocido como XC, en esta disciplina los ciclistas recorren a toda velocidad senderos y caminos de elevada complejidad técnica, pero sin grandes descensos, si no más enfocados en terrenos llanos o en subidas con zonas de alta montaña y trialeras. Por esta razón las bicicletas de Cross Country (figura 4) deben de ser ligeras y muy rígidas, ya que la eficiencia de pedaleo es un factor relevante.

Los cuadros de XC están fabricados en su mayoría en carbono y pueden ser de doble suspensión o totalmente rígidos, y sus recorridos oscilan entre los 80 y los 100 milímetros. La geometría de este tipo de bicicletas está optimizada para ser competitiva, pero a la vez ergonómica ya que a diferencia de otras modalidades en el XC pueden recorrerse distancias de más de 200 kilómetros. Por esta razón, fue la primera disciplina en estandarizar el uso de las ruedas de 29 pulgadas en detrimento de otras de menor tamaño. El peso de estas bicicletas se comprende desde 8 a 11 Kg, siendo las de 8 Kg aquellas consideradas de alta gama ya que en esta modalidad deportiva el peso del usuario y de la bicicleta es de vital importancia [11].



Figura 4- Bicicleta cross country Orbea Oiz M Pro [12]

#### 2.4.1.2. Down Country

Se trata de la última disciplina que se ha incorporado al ciclismo de montaña. Es el resultado de la fusión de dos modalidades, el Cross Country y el Descenso (Downhill).

Básicamente se trata de bicicletas de XC con mejores prestaciones para afrontar terrenos técnicamente más exigentes y en los que la doble suspensión es indispensable para mejorar el agarre y la estabilidad en los descensos (figura 5). El recorrido de amortiguación más común es de 120 mm y lo más extendido es que se utilice el mismo cuadro de XC que utiliza un sistema de 100mm, pero actualizando los componentes que afectan a la geometría de la bicicleta. Incorporan también tijas telescópicas, manillares más anchos y ruedas de mayor balón para conferir un mayor aplomo y bajar el centro de gravedad. Respecto a las ruedas, utilizan llantas de 29 pulgadas junto con un set de frenos hidráulicos con discos de un tamaño similar a sus hermanas de XC [13].



Figura 5- Bicicleta Down Country Orbea Oiz M Pro TR [14]

#### 2.4.1.3. Trail

Es un tipo de disciplina deportiva dentro del ciclismo de montaña. Son bicicletas muy polivalentes (figura 6) que están concebidas para encontrar el equilibrio de prestaciones que permita subir y bajar senderos con seguridad y comodidad buscando situarse entre una bicicleta de Cross Country y una de enduro. Al categorizarse como una rama del ciclismo de montaña más recreativa que competitiva, no hay una serie de características

que definan claramente el Trail ya que pueden encontrarse bicicletas con doble suspensión o solo con la delantera, con recorridos que van desde los 120 a los 140 milímetros. No hay un material predominante como en otras disciplinas, en el Trail el carbono y el aluminio se dividen de forma equitativa al igual que en el tamaño de sus ruedas que se reparten entre 27,5 y 29 pulgadas. Dependiendo del material del cuadro y de la gama de componentes puede haber un amplio abanico de opciones, pero la mayoría de las bicicletas de Trail se sitúan entre los 13 y los 16 kg [11], [15].



Figura 6- Bicicleta trail Orbea Occam M-Ltd [16]

#### 2.4.1.4. Enduro

Es una disciplina que fusiona el trail y el descenso. Son bicicletas pensadas para no penalizar subiendo pendientes, pero sobre todo están concebidas para bajar por pistas de un nivel técnico elevado con seguridad ya que este tipo de bicicletas permiten afrontar amplios desniveles y realizar saltos sin llegar a las necesidades que requieren las de descenso.

Junto con el XC es la disciplina que más éxito tiene en el ciclismo de montaña, siendo la primera que empezó a utilizar motores eléctricos que ayudaran al ciclista en los tramos de subida. Es la categoría de ciclismo que más provecho consigue al respecto de una bicicleta pulmonar.

Una bicicleta de enduro (figura 7) utiliza siempre doble suspensión, con recorridos delanteros y traseros de 140 a 160 mm, o incluso 170 mm en los casos extremos junto una tija telescópica que permita al ciclista buscar una posición más adaptada para realizar el descenso. El cuadro tiene una dirección lanzada para dar estabilidad a altas velocidades y un triángulo trasero corto que permite realizar cambios de dirección con mayor reactividad. Respecto a las ruedas, los tamaños más utilizados son 27,5 y 29 pulgadas, sin embargo, es junto al descenso la única categoría en la que la rueda delantera y la trasera pueden ser diferentes. En la actualidad se ha encontrado que la combinación más eficiente es con una rueda de 29 pulgadas delante y 27,5 detrás unido a un set de frenos de cuatro pistones. Un peso adecuado para este tipo de bicicletas oscila entre los 15 kg si el cuadro es de carbono y los 18 kg en el caso del aluminio o incluso acero [9], [11].



Figura 7- Bicicleta Enduro Orbea Rallon M-Ltd [17]

#### 2.4.1.5. Freeride

Son bicicletas (figura 8) que llevan al límite la geometría del cuadro y sus componentes. Su diseño está enfocado exclusivamente en descensos de elevada pendiente y habitualmente sin hacer uso de los senderos marcados que en muchas ocasiones están poblados de saltos y peraltes. Los cuadros de freeride son en un gran porcentaje fabricados en aluminio ya que como son bicicletas con tendencia a poder sufrir daños por caídas no compensa el coste de su fabricación en carbono. Utilizan sistemas de doble suspensión con recorridos de 160 a 200 mm, pero a diferencia de otras disciplinas se instalan resortes de diferentes durezas en vez de sistemas de cámara de aire. Además, las bicicletas de freeride son las únicas de entre todas las disciplinas de montaña que pueden llegar a utilizar transmisión single speed ya que no hay necesidad de realizar ascensos y de esta forma se evitan problemas. Su sistema de frenos es incluso de mayores prestaciones que los utilizados en descenso y el tamaño de sus ruedas oscila entre las 24 pulgadas y las 27,5 con montajes mixtos en muchas ocasiones [18].



Figura 8- Bicicleta Freeride Ghost FR AMR 8.7 AL [19]

#### 2.4.1.6. Descenso

Estas bicicletas (figura 9) están orientadas a recorrer tramos de pendiente negativa a elevadas velocidades, por lo que su diseño es robusto y estable, orientado a soportar golpes, baches en el terreno, etc. Para ello disponen de un sistema de doble suspensión

con un amplio rango de movimiento de hasta 220 mm para absorber con seguridad cualquier impacto e irregularidad del terreno. Los discos de frenos utilizados son normalmente de 200 o 223 mm, los estándares más grandes disponibles. Van colocados sobre ruedas de 26 o 27,5 pulgadas con neumáticos de hasta 75 mm de balón. Respecto al cuadro se busca un ángulo de dirección lanzado que permita mantener el control durante el descenso, unido a un tubo horizontal largo para darle estabilidad a grandes velocidades. Debido a que son hechas para soportar grandes cargas estructurales, son las bicicletas de montaña más pesadas y generalmente se sitúan entre los 17 y los 19 kg, en función del material utilizado para su fabricación [20].



Figura 9- Bicicleta descenso Mondraker Summum Carbon RR [21]

#### 2.4.1.7. Fatbike

Son bicicletas de montaña pensadas para terrenos difíciles, tales como barro, nieve, arena, etc. (figura 10). Se caracterizan por tener ruedas anchas (entre 3,8" y 5") de 26 pulgadas de diámetro que a baja presión proporcionan un extra de suspensión y estabilidad, no siendo necesario en algunos casos amortiguación en la propia horquilla delantera. Sin embargo, son bicicletas pesadas (aproximadamente entre 15 y 18kg de promedio), caras y con rendimientos en asfalto mejorables, lo cual limita mucho su utilización. Utilizan una transmisión característica de montaña y sus cuadros suelen ser de aluminio o acero [22].



Figura 10- Bicicleta fatbike Kona Woo [23]

## 2.4.2. Ruta

Las bicicletas de ruta o carretera están diseñadas y construidas para favorecer la velocidad y son utilizadas tanto a nivel competitivo como deportivo. Por lo general tienen una batalla corta, ángulos de asiento y frontales muy verticales, un eje pedalier alto y muy poca curvatura de la horquilla, buscando favorecer la aerodinámica y optimizar la transferencia de potencia a los pedales.

Las diferencias entre los diversos tipos de bicicletas de ruta son mínimas en lo que al cuadro se refiere, pero cada clase tiene sus particularidades en cuanto a la geometría y formas para optimizar su rendimiento particular. Sin embargo, puede decirse que el material dominante utilizado en las bicicletas de ruta es la fibra de carbono ya que prima la ligereza y la ratio rigidez/peso [24]-[26].

### 2.4.2.1. Escaladoras

Este es el término con el que tradicionalmente se conocen a las bicicletas de ruta o carreras. Están enfocadas a la competición, siendo el máximo exponente en cuanto a rigidez, ligereza y rendimiento. Esta clase de bicicletas suele ser la que consta de los cuadros y componentes más ligeros de cualquier marca, así que es el motivo por el que se utilizan para rutas y etapas de montaña donde el factor más importante es el peso y no la aerodinámica.

Debido a que son bicicletas orientadas a la eficiencia de pedaleo su geometría se caracteriza por ángulos de dirección lanzados, una altura de pipa baja, vainas cortas y un tubo horizontal largo (figura 11). Todas estas características hacen que sean bicicletas muy reactivas a la forma de conducción del ciclista y que otorgan estabilidad en las bajadas a altas velocidades. Los desarrollos en la transmisión son polivalentes, buscando un equilibrio entre velocidad y capacidad de adaptación a fuertes pendientes y diseñados para resistir las torsiones generadas por el pedaleo. Respecto a las ruedas, se busca también que sean lo más ligeras posibles, por lo que suelen ser de perfil bajo unidas a unos neumáticos cada vez de mayor tamaño balón. Actualmente los tamaños más normales de cámara van de 25 a 28mm, aunque existen modelos que permiten pasos de rueda de hasta 30 y 32mm [24].



Figura 11- Bicicleta escaladora Orbea Orca M20 [27]

#### 2.4.2.2. Larga distancia

Puede definirse como una ramificación de las bicicletas escaladoras pero enfocadas al uso deportivo no competitivo. También llamadas gran fondo, la geometría de su cuadro permite una posición de pedaleo más relajada y ergonómica, enfocada a ciclistas no profesionales (figura 12). La comodidad es la premisa de este tipo de bicicletas por lo que se busca que un cuadro con mejores propiedades en cuanto a la absorción de las irregularidades del terreno mediante el uso de fibras de carbono menos rígidas o cuadros de metal; incluso, los modelos más innovadores incluyen sistemas de microsuspensión que ayudan a mejorar esas propiedades.

Al ser muy similares a las bicicletas escaladoras comparten características y desarrollos de transmisión. La única diferencia notable es el mayor tamaño de balón de rueda de hasta 32 mm para aumentar la absorción de vibraciones procedentes de la carretera. En definitiva, es la bicicleta que cualquier persona que no se dedique profesionalmente al ciclismo debería usar ya que es ideal para largas distancia y permite soportar mejor la fatiga sin repercutir en el rendimiento [28].



Figura 12- Bicicleta larga distancia Orbea Avant H40D [29]

#### 2.4.2.3. Aerodinámicas

Se trata de un híbrido entre una bicicleta de ruta tradicional y una de contrarreloj. Este tipo de bicicletas (figura 13) han sido diseñadas para rodar a grandes velocidades sobre terrenos llanos, por lo que se priorizan todas aquellas características que favorecen la eficiencia aerodinámica en contra, por ejemplo, del peso o de una postura ergonómica para el ciclista. Su diseño se centra especialmente en la forma agresiva del cuadro, utilizando tubos rígidos y perfilados, y en la posición inclinada del ciclista para disminuir al máximo la resistencia al avance. Con un simple acople, también pueden utilizarse en triatlones. Como contra, los cuadros demasiado rígidos hacen disminuir la capacidad de maniobra. En cuanto a componentes, se buscan transmisiones con mayor desarrollo y ruedas de perfil alto que generan una inercia mayor que las utilizadas en las bicicletas escaladoras [30].



*Figura 13- Bicicleta aerodinámica Orbea ORCA AERO M20LTD [31]*

#### 2.4.2.4. Contrarreloj

Se consideran la punta de lanza del ciclismo, es decir, las bicicletas de esta modalidad son las primeras que incorporan cualquier avance tecnológico que haya surgido en el mercado y que afecte a cualquier parte de la bicicleta ya sea en cuanto a forma o material siempre con la finalidad de ayudar al ciclista de obtener una postura más aerodinámica que ayude a reducir al máximo su tiempo en la competición que dispute.

Este tipo de bicicletas (figura 14) son consideradas las más rápidas de entre todas las de ruta ya que buscan que la resistencia al aire del conjunto ciclista-bicicleta sea lo menor posible, por lo que su cuadro, componentes y accesorios, específicos de esta categoría, suelen tener formas aplanadas y ser de materiales extremadamente ligeros, por lo que para la fabricación de su cuadro se utiliza exclusivamente la fibra de carbono. Se utilizan transmisiones estándares de carretera, pero con relaciones más extremas que permitan alcanzar una mayor velocidad en conjunto con ruedas de perfil o lenticulares que facilitan la aerodinámica y la estabilidad [32].



Figura 14- Bicicleta contrarreloj Orbea Ordu M10iLTD [33]

#### 2.4.2.5. Ciclocross

El ciclocross es una modalidad competitiva de ciclismo que consiste en dar varias vueltas a un mismo circuito en el que se incluyen pistas pavimentadas, adoquines, prados o caminos de tierra además de obstáculos, escaleras, saltos y desniveles. Las primeras bicicletas de consistían en bicicletas de ruta comunes a las que se les colocaban neumáticos más anchos y con tacos para mejorar la tracción sobre el terreno. Sin embargo, en estos últimos años han surgido cuadros específicos de cliclocross con ligeras modificaciones para mejorar el rendimiento de la bicicleta que incluyen un triángulo delantero de mayor tamaño (figura 15) para poder echársela al hombro cuando es imposible pedalear, algo bastante común en esta modalidad, y una caja pedalier más elevada respecto del suelo que facilite la superación de obstáculos [34].



Figura 15- Bicicleta de ciclocross RX Team 5.0 [35]

#### 2.4.2.6. Gravel

Una bicicleta gravel (figura 16) se caracteriza por poseer un aspecto y capacidades rodadoras muy similar al de una bicicleta de carretera convencional, pero que además permite rodar por caminos de tierra y terrenos sin asfaltar de poco nivel técnico. Su forma y geometría son un poco menos extremas que la de las demás bicicletas de carretera y por lo tanto, son más cómodas. Los ángulos del cuadro son menores, y el posicionamiento en la bicicleta es un poco más vertical, la distancia entre los ejes es mayor y sus cubiertas

son más voluminosas. Es un diseño polivalente, que posee cuadros con un paso de rueda muy amplio (aceptan cubiertas de hasta 40-42mm), con frenos de disco, una pipa alta y un ángulo de dirección muy relajado. De todas las bicicletas de carretera, es la que más se acerca, por sus características, a las geometrías de Mountain Bike [36]–[38].



*Figura 16- Bicicleta gravel gravelx evo 4.5 [39]*

### 2.4.3. Urbanas

Las bicicletas urbanas están concebidas para facilitar la movilidad dentro de las urbes. Las características de este tipo de bicicletas están enfocadas a que la posición de pedaleo sea cómoda y relajada, mucho más ergonómica que la de otro tipo de bicicletas. Además, el hecho de buscar una conducción más erguida proporciona una mejor visión para ver por encima de la mayoría de los vehículos con los que se comparte calzada [40].

#### 2.4.3.1. Cargo

Surgieron como una evolución de las bicicletas de paseo. Son el intento de profesionalizar la movilidad en las ciudades, y ofrecen la solución perfecta para transportar todo tipo de carga y afrontar el reparto de última milla. Es sin dudas el tipo de bicicletas que mayor diversidad de geometrías tiene o sobre la que se han volcado la mayoría de las ideas surgidas en el ciclismo estos últimos años.

Hay bicicletas de carga de dos y tres ruedas, con carga delantera o trasera (figura 17), con suspensión y sin ella, eléctricas y no. En definitiva, una infinidad de configuraciones para adaptarse a las necesidades de cada empresa y usuario. El límite de peso suele situarse entre los 150 y 180 kg, por lo que es común que también se utilice como transporte infantil como puede observarse en la imagen inferior izquierda, en la que se ha aprovechado el espacio disponible para colocar un asiento para niño con una carpa para protegerle de las inclemencias del tiempo.



Figura 17- Bicicletas carga [41], [42]

#### 2.4.3.2. Plegables

Es la solución práctica a muchos de los inconvenientes que presenta el uso de la bicicleta en una ciudad. Este tipo de bicicletas son muy utilizadas en aquellos casos en los que el espacio de almacenamiento es limitado, no se quiere aparcar en la calle o se debe compartir con otros medios de transporte. A pesar de su tamaño compacto se ha conseguido que puedan utilizar transmisiones de 7 u 8 velocidades además de guardabarros o portabultos. Lo más normal es que se plieguen por el centro del cuadro e incluso se suele plegar el manillar y el conjunto de la tija y el sillín (figura 18). Tienen ruedas de 16 a 20 pulgadas, por lo que son más sensibles que otros tipos de bicicletas a las irregularidades y obstáculos del terreno. En la imagen inferior aparece una bicicleta Brompton, la primera marca que apostó por un diseño compacto para sus diseños [40] .



Figura 18- Bicicleta plegable Brompton [43]

#### 2.4.3.3. Fixie

También denominadas de piñón fijo, por su traducción literal al castellano, son bicicletas de una sola marcha y sin punto muerto (figura 19). Se debe avanzar, frenar y dar marcha atrás con el uso de los pedales. Dado que no tienen cambios y su eficacia en la transmisión es elevada, apenas requieren mantenimiento y son ideales para circular en terrenos llanos. Sin embargo, requieren de un buen manejo del ciclista, por lo que es común que muchas de ellas lleven incorporado un sistema en el buje trasero que permita montar un piñón fijo y un piñón libre a cada lado de una misma rueda. Esto permite convertir la misma bicicleta al gusto, pudiendo añadir además dos frenos, uno delantero y otro trasero [44], [45].



*Figura 19- Bicicleta fixie SantaFixie Fabric [46]*

#### 2.4.3.4. Paseo

También llamadas bicicletas holandesas, son bicicletas que se usan para un fin más recreativo que deportivo y mantienen una estética clásica. Suelen disponer de un manillar ancho y curvo que permite pedalear en una posición más cómoda y una postura más erguida (figura 20). Suelen utilizar una transmisión sencilla, de pocas velocidades, aunque también las podemos encontrarlas con una sola marcha, lo que simplifica su mantenimiento. Incorporan frenos, que pueden ser de disco o de zapata, además de guardabarros y un protector que cubre cadenas y platos, cuya función es evitar roces y manchas en la ropa. Además, suele incorporar accesorios menos vistos en otros tipos de bicicletas, como portabultos o dinamos para un sistema de luces.



*Figura 20- Bicicleta de paseo Conor Malibú [47]*

#### 2.4.3.5. Híbridas

Son bicicletas enfocadas para el transporte urbano rápido, con las que es posible moverse por cualquier zona sin problemas, ya sea en llano o en pendiente. Montan una relación de marchas bastante generosa de hasta 24 velocidades, una caja de pedalier más alta y tubos de dirección cortos. Esta geometría (figura 21) hace que este tipo de bicicletas

tengas una conducción ágil y sean reactivas a los movimientos del ciclista, lo cual es ideal para las necesidades de moverse en una ciudad. Disponen de cubiertas anchas y con dibujo, proporcionando un gran agarre al circular sobre asfalto mojado, y si es necesario, también por tierra o grava. Suelen venir de fábrica con manillar recto y amplio, pata de cabra, guardabarros e incluso, en algunos casos, con cesta portabultos [40].



Figura 21- Bicicleta híbrida Canyon Commuter 5 [48]

#### 2.4.4. BMX (Bicycle Motocross)

El BMX es una disciplina del ciclismo que se practica con bicicletas bajas y con ruedas de 20 pulgadas de diámetro. Esto permite al ciclista ganar en aceleración y precisión en sus movimientos. Hay distintas modalidades que pueden agruparse en acrobáticas o de carrera, según las cuales los cuadros tienen diferentes medidas del tubo superior [49]:

##### 2.4.4.1. Flatland

Consiste en que los ciclistas hacen acrobacias sobre una bicicleta en una superficie plana, para lo cual las bicicletas suelen tener en el cuadro un tubo superior más corto que se fabrica según la medida del ciclista y va de 17 a 18 pulgadas (figura 22). Esto permite maniobrar mejor la bicicleta para hacer giros con el volante. Además, suelen incluir en sus ruedas unas piezas llamadas pegs (clavijas en inglés), que sirven para apoyar los pies y mantener el equilibrio fuera de los pedales [49].



Figura 22- Bicicleta Haro Downtown 18 [50]

#### 2.4.4.2. Street

En esta modalidad, los ciclistas realizan acrobacias aprovechando las calles y el mobiliario urbano (escaleras, muros, bancos, etc.) y en parques de skateboard. Son bicicletas más “cortas”, con cuadros que miden cerca de 20 pulgadas (figura 23), ya que así permiten tener equilibrio y facilitan poder girar el manubrio [49].



Figura 23- Bicicleta BMX Street Haro Dana [51]

#### 2.4.4.3. Dirt jump

En esta modalidad BMX, consistente en realizar saltos acrobáticos altísimos a partir de rampas de tierra de 2 a 3 metros de altura, se utilizan los cuadros más largos y resistentes, con el centro de gravedad más bajo y llantas reforzadas (figura24) [49].



Figura 24- Bicicleta de Dirt Jump Haro Thread [52]

#### 2.4.4.4. Race

Este tipo de bicicletas BMX también tienen el cuadro más largo de hasta 24 pulgadas (figura 25), y sirven para correr carreras en pistas de motocross con suelos de tierra, para lo que se requiere más estabilidad y velocidad. Además, suelen estar más reforzadas, tienen un único freno y no incluyen pegs en sus ruedas [49].



Figura 25- Bicicleta BMX race Haro Blackout [53]

### 2.4.5. Otras

Como se ha explicado anteriormente, es muy complicado categorizar todas las clases de bicicletas que existen actualmente, por lo que en este apartado se muestran algunos tipos con características lo suficientemente diferenciadas como para no pertenecer a ninguna de las tres categorías anteriores.

#### 2.4.5.1. Pista

Las bicicletas utilizadas para pista tienen unas características muy particulares y su uso se realiza de forma exclusiva en velódromos o pistas específicas para ello. Su transmisión consta de un sistema de piñón fijo solidario a las bielas, por lo que carecen de frenos y para ser frenar es necesario ir reduciendo la cadencia de pedaleo (figura 26). Los cuadros utilizados deben de ser muy rígidos, por lo que suelen ser fabricados en carbono de una sola pieza, al igual que las ruedas, en su mayoría lenticulares o de palos. Otra diferencia notable son los neumáticos que se montan en este tipo de bicicletas, que son tubulares de un perfil muy estrecho y lisos con el objetivo de aplicarle enormes presiones para evitar todo lo posible las pérdidas de energía debido al rozamiento con la pista.

Todas las modalidades de ciclismo de pista están regladas por la UCI (Unión Ciclista Internacional) que especifica que el tamaño máximo de la bicicleta sea de 2 metros y su peso mínimo de 6,8 kg., valor que comparte con las bicicletas de ruta [54].



Figura 26- Bicicleta de pista Planet X Pistard Air [55]

#### 2.4.5.2. Tándem

Es un tipo de bicicleta diseñada para ser utilizada por dos personas simultáneamente (figura 27). En sus orígenes, cuando solamente existían cuadros de acero, su construcción elemental que se basaba en la soldadura de dos cuadros de bicicleta juntos. Hoy en día, la tecnología ha permitido que haya tándems en cualquier material y para todas las modalidades (montaña, ruta, urbana, etc.). Son dos las principales diferencias respecto a una bicicleta unipersonal: la primera es que el manillar del segundo ciclista es estático manteniendo el control de la dirección el situado en cabecera; y la segunda, que el esfuerzo al pedalear se divide en dos, ya que las transmisiones de ambos usuarios están conectadas en serie [56].



Figura 27- Bicicleta tándem Verso [57]

#### 2.4.5.3. Trial

Es una modalidad del ciclismo que requiere de unas bicicletas con unas características muy particulares. El trial se suele practicar al aire libre y consiste en un recorrido en el que hay situados una serie de obstáculos como rocas, troncos o pendientes y que tienen que ser salvados apoyando los pies en el suelo el menor número de veces posibles. El equilibrio y la estabilidad son los factores más importantes por lo que suelen utilizarse ruedas que van desde las 20 hasta las 26 pulgadas con neumáticos de gran adherencia. Su transmisión no cuenta con cambios de marchas sino con una única marcha con un

recorrido muy corto unido a un sistema de frenos hidráulicos que asegure la frenada en situaciones extremas.

Las bicicletas de trial tienen un diseño muy reconocible (figura 28) porque carecen de sillín para facilitar la posición del ciclista. Además, es necesario que sus cuadros sean ligeros y resistentes a los golpes por caídas por lo que serán fabricados en titanio o aleaciones de magnesio [58].



Figura 28- Bicicleta de trial Echo Pure [59]

### 3. ESTUDIO DE MERCADO

En este apartado se analiza el comportamiento y tendencias del mercado en el sector del ciclismo español durante el 2021 con el objetivo de obtener la información necesaria para seleccionar el tipo de bicicleta cuyo cuadro se diseñará en este proyecto.

#### 3.1. Tendencias y volumen de ventas - AMBE

La Asociación de Marcas y Bicicletas de España (AMBE) es una asociación sin ánimo de lucro compuesta por fabricantes nacionales, importadores y distribuidores tanto de bicicletas como de componentes y accesorios [60]. Esta asociación, con sede en Madrid, aglutina a más de 45 empresas del sector de la bicicleta en España y tiene como objetivo la promoción del uso de la bicicleta como medio de transporte, ocio, turismo y deporte, así como la promoción de políticas públicas a favor de la bicicleta. Publica anualmente, desde 2013 y en colaboración con Cofidis, un informe sobre los datos del mercado de la bicicleta en España (volumen de negocio, cifras de ventas, etc.). Es la única que proporciona anualmente estudios estadísticos fiables de las ventas y su evolución en nuestro país.

Para este Trabajo de Fin de Grado se ha considerado la información del último informe publicado correspondiente al ejercicio del 2021, disponible para su consulta pública en la web de la Asociación [61]. En dicho documento se muestra tanto información de carácter general como por sectores y tipos de bicicletas que será mostrada a continuación.

En primer lugar, el informe describe el posicionamiento del ciclismo frente a otros sectores deportivos, situando al ciclismo como el tercer deporte más practicado por detrás del fútbol y la natación. Además de este dato, obtenido de un informe del Ministerio de Cultura y Deporte, también se destaca el hecho de que, en el año 2021, las ventas de artículos deportivos a nivel nacional fueron de 8.545 millones de euros, de los que 2.888 pertenecen al sector de la bicicleta. Esto representa un 33.80%, un porcentaje mucho mayor que el de cualquier otro campo deportivo, por encima incluso de deportes mayoritarios como el running y el fútbol [62].

La siguiente figura (figura 29) muestra un grafo en el que puede verse la evolución de las ventas del sector de la bicicleta en España [63].



Figura 29- Volumen de ventas en el sector de la bicicleta [63].

Desde que se comenzó a publicar este estudio puede observarse una evolución positiva y constante hasta la actualidad tanto en el número de bicicletas vendidas como en el volumen de negocio asociado a ello. Cabe destacar el rápido crecimiento del sector desde 2018 en adelante, con cifras de ventas muy significativas especialmente durante la pandemia y un aumento de volumen de negocio de casi el 50% en apenas dos años. De forma más concreta, llama la atención un dato: entre 2020 y 2021 el número de bicicletas vendidas apenas aumentó un 0,39%, sin embargo, el volumen de negocio se incrementó en un 10,76%, lo que se traduce en un incremento total de 281 millones de euros. Estas cifras tienen dos causas fundamentales, descritas a continuación:

En primer lugar, el incremento en las ventas de artículos de ciclismo tales como ropa, accesorios, equipamiento, etc., especialmente en los adquiridos en tiendas especializadas, tales como Mamooth [64] o BuhoBikes [65], lo que actualmente supone un 84,37% del volumen de negocio del sector, tal y como se puede consultar en la siguiente gráfica (figura 30). Como dato, hay que destacar que en España en 2021 han operado en el mercado ciclista 3.028 tiendas de venta, reparación o alquiler de bicicletas, lo que supone un +1,58% más que en el año anterior [63].



Figura 30- Puntos de comercialización en el sector del ciclismo [63].

En la siguiente gráfica (figura 31) podemos ver, de forma desglosada, el porcentaje de volumen de negocio correspondiente a cada una de las categorías de producto, observando que el mayor porcentaje de ventas, después de las bicicletas completas (un 44,46%), corresponde a los componentes de bicicletas, recambios y piezas (un 29,37%).



Figura 31- Volumen de negocio por categoría de producto en el sector del ciclismo [63].

En segundo lugar, la otra razón que justifica este aumento de volumen de negocio es el aumento progresivo del valor de las bicicletas vendidas, especialmente en algunos tipos de bicicletas, tal y como veremos más adelante. Esta subida responde, a su vez, a varias razones:

Por una parte, el valor de las bicicletas ha aumentado debido a la complicada situación económica y sociopolítica a nivel mundial causada, entre otros, por la pandemia COVID-

19, la guerra en Ucrania, etc., que afecta a los mercados internacionales, entre los que se encuentra, por supuesto, el mercado del ciclismo.

La consecuencia más clara de la pandemia COVID-19 ha sido la reducción del número de unidades fabricadas debido a los parones de la producción en las factorías, especialmente en Asia, a causa de las restricciones sanitarias. Esta disminución en la producción, que no ha sido coherente con la demanda creciente descrita en los datos anteriores, se ha visto agravada por el contexto post-pandémico, la falta de componentes electrónicos y la guerra entre Rusia y Ucrania, que han limitado muchos mercados y afectado a numerosas vías de distribución. Todo ello, unido a la inflación y el aumento del precio de las materias primas, han provocado la subida del coste de la cadena logística y la escasez de stocks, así como los retrasos en las fechas de entrega de muchos productos destinados al mercado europeo. A cierre de 2021, por ejemplo, los precios medios del mercado habían subido un 6,5% [66], y actualmente continúan en alza con unas previsiones del Banco Central Europeo de que, para final de este año, la inflación llegue a alcanzar el 7,1% [67].

Por otra parte, el valor de las bicicletas también se ha incrementado a causa del rápido crecimiento de la demanda nacional, pues el aumento de las restricciones por contaminación en el centro de las ciudades, las reticencias a la hora de utilizar transporte público debido al miedo al COVID-19 y los elevados precios de los combustibles fósiles han propiciado que cada vez más ciudadanos utilicen las bicicletas como medio de desplazamiento, especialmente en entornos urbanos. De hecho, el último informe barómetro de la bicicleta en España, elaborado por la Red de Ciudades por la Bicicleta y la Dirección General de Tráfico y publicado a finales de 2019, dice que las razones que llevan a los ciudadanos a utilizar la bicicleta son el deporte y ejercicio saludable (41,1%), la ecología y el deseo de protección del medio ambiente (25,6%), la movilidad (18,4%), los motivos económicos (6,6%) y el ocio y diversión (2,3%) [68]. Además, en ese sentido cabe destacar que, tras la pandemia, se ha observado un aumento en el número de gente que utiliza la bicicleta como medio recreativo, relacionándose este dato con el uso del deporte como escapatoria psicológica tras el estrés sufrido por la población debido al COVID.

Por estos motivos, del mismo informe se obtiene que hay una tendencia a nivel nacional de creación de nuevas empresas relacionadas o asociadas al mundo del ciclismo. Esto se ha traducido en la aparición de 23 nuevos negocios (un 6,78% más respecto al año pasado), de los cuales 12 son fabricantes (un 7,14% más), lo que da que pensar que esta tendencia al alza se mantendrá en los años venideros. Actualmente existen en España 362 empresas y 180 fabricantes nacionales dedicados al sector, que dan empleo a 23.221 personas, de las cuales 9.323 trabajan en empresas del sector y 13.898 lo hacen en comercios [63].

La siguiente figura (figura 32) muestra las unidades vendidas por modalidad de bicicleta y su precio medio junto con su variación porcentual respecto al informe del 2020. Además, se incluye la cuota de mercado asociada a cada una.

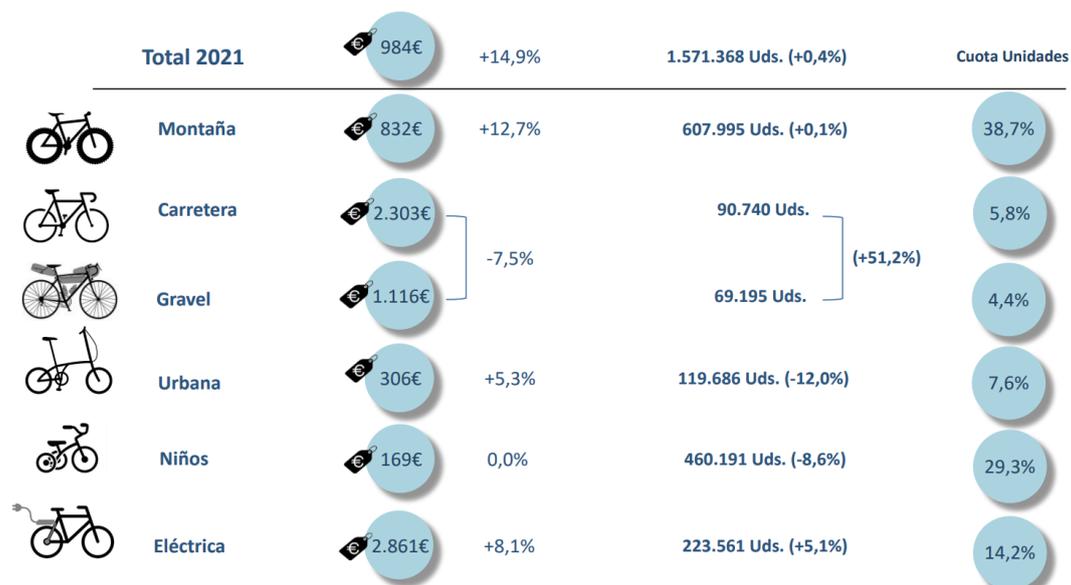


Figura 32- Volumen de ventas y precios medios de bicicletas por modalidad [63].

De la figura anterior puede obtenerse que la modalidad de ciclismo que ha sufrido un mayor incremento en ventas ha sido resultado del cómputo de las bicicletas de carretera y gravel con un espectacular 51,2%. Notorio es también el aumento de las bicicletas eléctricas con un incremento del 5,1%, llegando a ocupar el 14,2% del total de la cuota de mercado. En el extremo contrario cabe destacar el importante descenso, de un 12%, en las cifras de ventas de las bicicletas urbanas [63].

En cuanto a precios, las bicicletas de montaña y eléctricas son las que más han aumentado sus precios (un 12,7% y un 8,1%, respectivamente), seguidas de cerca por las urbanas, cuyo precio ha subido un 5,3%. Esto se contrapone directamente con los precios de las bicicletas de carretera y gravel, que han descendido un 7,5% desde el año anterior [63].

Por último, respecto a las cuotas de mercado de cada uno de los tipos de bicicletas, observamos que el mayor volumen de ventas absoluto se corresponde a aquellas destinadas al ciclismo de montaña, seguidos por las bicicletas para niños. En cambio, las bicicletas de carretera, con un 5,8%, y gravel, con un 4,4%, siguen siendo segmentos minoritarios, pero cuyo rápido crecimiento no podemos desdeñar [63].

Así pues, viendo estos datos podemos concluir que las bicicletas destinadas a carretera, gravel y eléctricas son, por tanto, las únicas modalidades que han visto incrementadas las unidades vendidas y que parece que tendrán una evolución positiva en comparación con el resto de los tipos de bicicletas. Cabe destacar el caso de las bicicletas tipo gravel y de carretera, cuyo descenso de precios sin duda ha sido decisivo para conseguir que, en un contexto económico complejo como el descrito anteriormente, aumenten su número de ventas.

### 3.2. Gravel. La bicicleta total.

Los resultados mostrados en el apartado anterior extraídos del informe AMBE [63] evidencian que el gravel es la modalidad de ciclismo que mayor crecimiento tuvo el año pasado con respecto a años anteriores. Si contrastamos este resultado con los artículos publicados en las revistas o blogs de mayor relevancia a nivel mundial, como bien pueden ser Tuvalum [69], Outside [70], Pedalia [71], Bikeradar [72] o Bikester [36], se puede llegar al mismo término.

Dada las conclusiones del apartado anterior, tiene sentido y está justificado que esta modalidad sea la que caracterice el diseño del cuadro realizado para este trabajo.

Las razones por las que el gravel está triunfando en los últimos años son numerosas. Como muchas otras modas surgió en el 2000 en Estados Unidos, pero no fue hasta el 2017 cuando comenzó a tener cierta fama; desde entonces ha crecido sin pausa. La explosión de éxito que ha sufrido el ciclismo desde que se empezaron a reducir las medidas de confinamiento consecuencia el COVID-19 también ayudaron a que esta modalidad aumentase su repercusión en todo el mundo [70].

Uno de los principales motivos de este crecimiento exponencial es que muchas de las personas iniciadas después de la pandemia tienen miedo de rodar en vías pavimentadas compartidas con vehículos a motor y buscan caminos o senderos que den mayor seguridad. Este razonamiento lo siguen también ciclistas experimentados que han visto como las carreteras son cada vez más peligrosas a pesar de los esfuerzos que realiza la Dirección General de Tráfico y diferentes asociaciones con el objetivo de concienciar a conductores y a los propios ciclistas a compartir el mismo espacio [70], [73].

La ventaja principal de las bicicletas gravel respecto al resto de modalidades es que son polivalentes y es por muchos considerada la bicicleta total. Es evidente que no tiene las ventajas de una bicicleta de carretera en asfalto ni de una de montaña en senderos, pero logra una combinación de características tan buena que es capaz de desenvolverse perfectamente en todos los terrenos [73].

En la situación actual, el gravel ha permitido en muchos casos aumentar los kilómetros disponibles para circular. Cuando antes era necesario tener dos bicicletas en el mejor de los casos (carretera y montaña), ahora con la incorporación de los modelos gravel una sola es suficiente para acceder a los mismos recorridos. Esto es una ventaja ya que con el aumento de precios que se está sufriendo en la actualidad se divide por dos el coste al comprar una única bicicleta.

Lo que convierte a un modelo gravel en una bicicleta realmente versátil es la cohesión de una geometría y componentes adaptados a su función. Las primeras bicicletas tenían que usar elementos de otras modalidades, pero en la actualidad nuevos cuadros y componentes han sido diseñados específicamente para cumplir con el propósito que se les estipula a estas bicicletas [36].

La posición de conducción erguida, característica de las gravel, hace que sean bicicletas muy aptas para trayectos de medio y largo recorrido ya que fatigan menos el cuerpo que otras modalidades. Por esto mismo, además de ser modelos destinados a rodar por carretera y pistas también suelen usarse como bicicletas urbanas o para ir a trabajar [71].

Después de varios años en los cuales las bicicletas gravel eran variaciones de cuadros de bicicletas de carretera, en la actualidad han empezado a surgir modelos con geometría y componentes optimizados. Por esta razón la información considerada a estudio en este trabajo corresponde al año 2022.

En la figura 33, en la que se contraponen dos bicicletas gravel de la misma marca, pero distintos años de fabricación, se puede observar la diversidad de geometrías del cuadro.



*Figura 33- Specialized Diverge 2017 (izquierda) versus 2023 (derecha) [74].*

Con el propósito de obtener una información de partida que ayude a caracterizar el cuadro se ha realizado un estudio de las marcas y modelos de mayor relevancia a nivel europeo que será expuesto en el siguiente apartado.

### 3.3. Fabricantes y modelos

Como ya se ha comentado anteriormente, para la obtención de los datos de ventas generales se ha utilizado el informe anual de la Asociación de Marcas y Bicicletas de España (AMBE) [63]. Sin embargo, dicho informe no contempla el desglose de las marcas ni los modelos más vendidos en nuestro país, y tampoco existe ningún informe oficial que contemple este aspecto a nivel europeo.

Por lo tanto, lo que se ha considerado para este trabajo es una lista con los modelos de las bicicletas gravel, pulmonares y eléctricas, de las nueve marcas a nivel europeo que más bicicletas venden conforme a publicaciones de algunas de las grandes cadenas de distribución y revistas especializadas en el sector, tales como Tuvalum [69], Outside [70], Pedalia [71], Bikeradar [72], Bikester [36], Sanferbike [75], Maillot Magazine [76], Off-road [77], Cycling Weekly [78], [79] o Solobici [80].

La siguiente tabla (figura 34) muestra una lista de marcas y modelos utilizados para generar una base de datos de la cual se han extraído las características que debe cumplir el cuadro para aglutinar al mayor número de compradores posible. Se han contemplado aspectos como el tipo (eléctrica/pulmonar) o el material (carbono, aluminio, titanio o acero). Todas las características técnicas sobre los modelos se han extraído directamente páginas web y documentos técnicos de las propias marcas [74], [81]–[89].

Marca	Modelo	Tipo	Material	Bicicleta
BMC [85] [Suiza]	URS	Pulmonar	Carbono	
	URS AL	Pulmonar	Aluminio	
Cannondale [86] [Estados Unidos]	Topstone Carbon	Pulmonar	Carbono	

Concepción y desarrollo de un cuadro de bicicleta modular compatible con sistema de asistencia eléctrica al pedaleo.

	Topstone	Pulmonar	Aluminio	
Cannondale [86] [Estados Unidos]	Topstone Neo	Eléctrica	Carbono	
	Topstone Neo SL	Eléctrica	Aluminio	
Canyon [87] [Alemania]	Grizl CF SLX/SL	Pulmonar	Carbono	
	Grizl AL	Pulmonar	Aluminio	
	Grail AL	Pulmonar	Aluminio	
Merida [81] [Taiwan]	Silex 1000 Series	Pulmonar	Carbono	

	Silex 100 Series	Pulmonar	Aluminio	
	eSilex+ Series	Eléctrica	Aluminio	
Orbea [82] [España]	Terra M series	Pulmonar	Carbono	
	Terra H series	Pulmonar	Aluminio	
	Gain M IX series	Eléctrica	Carbono	
	Gain D IX series	Eléctrica	Aluminio	
Ribble [83] [Reino Unido]	Gravel SL	Pulmonar	Carbono	

Concepción y desarrollo de un cuadro de bicicleta modular compatible con sistema de asistencia eléctrica al pedaleo.

	Gravel AL	Pulmonar	Aluminio	
	Gravel AL e	Eléctrica	Aluminio	
	Gravel Ti	Pulmonar	Titanio	
	CGR SL	Pulmonar	Carbono	
	CGR AL	Pulmonar	Aluminio	
	CGR AL e	Eléctrica	Aluminio	
	CGR Ti	Pulmonar	Titanio	

	CGR 725	Pulmonar	Acero	
Scott [84] [Estados Unidos]	Addict Gravel	Pulmonar	Carbono	
	Speedster Gravel	Pulmonar	Aluminio	
Specialized [74] [Estados Unidos]	Diverge	Pulmonar	Carbono	
	Diverge E5	Pulmonar	Aluminio	
	Turbo Creo SL	Eléctrica	Carbono	
Trek [89] [Estados Unidos]	Checkpoint SLR/SL	Pulmonar	Carbono	

	Checkpoint ALR	Pulmonar	Aluminio	
--	----------------	----------	----------	--

Figura 34- Tabla de marcas y modelos de estudio

Como resumen, de las nueve marcas consideradas en el análisis se han obtenido un total treinta y dos modelos diferentes, desglosados por marcas y tipo de la siguiente manera (figuras 35 y 36):

Marca	País	Eléctrica	Pulmonar	Total
BMC	Suiza	0	2	2
Cannondale	EE. UU.	2	2	4
Canyon	Alemania	0	3	3
Merida	Taiwan	1	2	3
Orbea	España	2	2	4
Ribble	Reino Unido	2	7	9
Scott	EE. UU.	0	2	2
Specialized	EE. UU.	1	2	3
Trek	EE. UU.	0	2	2
<b>Total</b>		<b>8</b>	<b>24</b>	<b>32</b>

Figura 35- Cuadro resumen de las bicicletas estudiadas

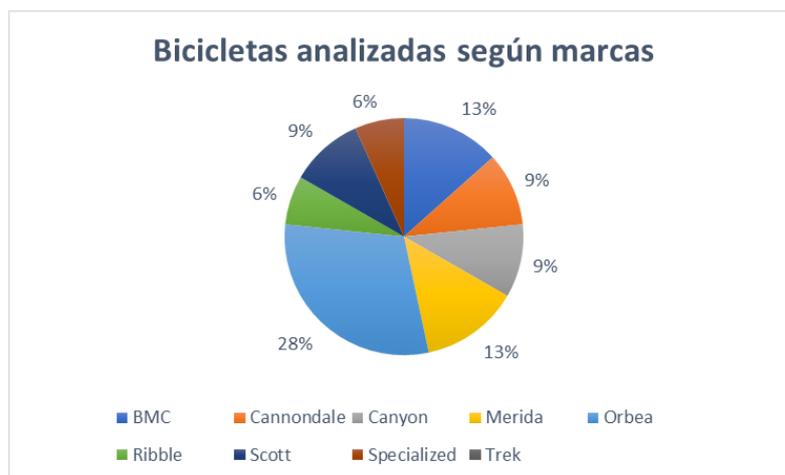


Figura 36- Bicicletas analizadas según marcas

Así, como podemos ver, si bien tan solo el 44% de las marcas analizadas son europeas (BMC®, Canyon®, Orbea® y Ribble®), estas disponen de más modelos entre los top ventas según las webs y revistas especializadas: 18 de las 32 bicicletas seleccionadas son europeas, lo que supone el 56% los sujetos de estudio.

### 3.4. Sistemas de asistencia al pedaleo

Las ocho bicicletas gravel eléctricas consideradas en el apartado de marcas y modelos para la caracterización del cuadro diseñado para este trabajo utilizan tres motores de distintas marcas y con montajes diferenciados [90]–[92]. Estos tres motores pueden dividirse en dos categorías a su vez: motores centrales y motores de buje trasero. En la siguiente tabla (figura XX), se describe qué motores montan cada uno de los modelos estudiados:

Marca	Modelo	Motor	Tipo
Specialized	Turbo Creo SL	Specialized SL	Central
Cannondale	Topstone Neo	Mahle Ebikemotion X35+	Central
	Topstone Neo SL		Buje trasero
Mérida	eSilex+ Series		
Orbea	Gain M IX series		
	Gain D IX series		
Ribble	Gravel AL e		
	CGR AL e		

Figura 37- Motores de los modelos de bicicleta eléctrica analizados

Sin embargo, independientemente de la clase del motor ambos tipos comparten el mismo esquema de componentes con el cableado correspondiente mostrado a continuación:



Figura 38- Esquema genérico de un sistema de asistencia al pedaleo

IHM es el acrónimo de Interfaz Hombre-Máquina. Es el módulo encargado de gestionar los niveles de asistencia que desea el usuario. Suele indicar el porcentaje de batería y el modo de en el que se encuentra el sistema. Es necesario que su posición sea de fácil acceso para el ciclista por lo que las marcas lo sitúan en el manillar o en el tubo superior. Puede

presentarse en forma de pantalla, o simplemente con una botonera con indicadores led incorporados [93]

El puerto de carga se suele colocar cerca del conjunto del pedalier de forma que las bielas lo oculten y liberen el diseño en la parte visible de la bicicleta. A través de este conector se realiza la carga de la batería [94].

La batería de las bicicletas de las marcas más comerciales está colocada en el interior del tubo diagonal. Dentro de la batería está situado el módulo controlador que gestiona el nivel de asistencia comunicado por el IHM y proporciona la energía necesaria al motor [95].

El motor, como se ha comentado anteriormente, puede ser central, lo que quiere decir, situado en el pedalier, o de buje trasero. Independientemente de que tipo sea, los motores están rodeados ciertos sensores, como los de velocidad y par, o incluso temperatura que el sistema utiliza para caracterizar la asistencia en cada unidad de tiempo que el sistema utilice [96].

Los tres motores que montan los ocho modelos de bicicletas eléctricas consideradas a estudio son los siguientes:

#### 3.4.1.Specialized SL 1.1

Es el sistema utilizado por el modelo Specialized® Turbo Creo SL. Pueden verse los elementos que lo componen en la figura 39. Es un sistema exclusivo de la marca propia marca. Consta de un motor central de 250 W que sustituye al pedalier y asiste directamente sobre las bielas. Tiene el punto de carga situado de manera lateral al lado contrario de la transmisión, batería de 320 Wh con el módulo controlador correspondiente en el interior del tubo diagonal y IHM se sitúa en el tubo superior [97].



Figura 39- Sistema Specialized SL 1.1 [97].

### 3.4.2. Bosch Performance Line CX

El Bosch® Performace Line CX (figura 40) es utilizado por el modelo Topstone Neo de la marca Cannondale® es montado en otras muchas bicicletas. Su motor de 250 W, al igual que el de Specialized® es central y de igual manera asiste sobre las bielas. Tiene el punto de carga situado de manera lateral al lado contrario de la transmisión en lo alto del tubo diagonal. La batería de este sistema es de 500 Wh y junto con su módulo controlador este situado en el interior de la bicicleta. El IHM en este caso consta de una botonera situada en el manillar [98].



Figura 40- Sistema Bosch Performance Line CX [98].

### 3.4.3. Mahle ebikemotion X35+

Al contrario que los dos modelos de sistemas anteriores, el Mahle® ebikemotion X35+ (figura 41) es un motor de buje trasero. Es el sistema más exitoso ya que lo utilizan los seis modelos de bicicletas eléctricas restantes considerados en el estudio del apartado previo, por lo tanto, no es exclusivo de una sola.



Figura 41- Sistema Mahle ebikemotion X35+ [100]

Su motor es de 250 W, que sustituye al propio buje trasero, hace este sistema sea el más ligero de los tres presentados en este apartado. En los seis modelos el punto de carga está situado en el plano de simetría del cuadro y cercano al pedalier siguiendo el mismo razonamiento que el sistema de Specialized®. Su batería de 250 Wh y módulo controlador esta colocados en el interior del tubo diagonal. Respecto al IHM este sistema presenta una ventaja y es que tiene dos dispositivos complementarios que pueden ejercer esta función: un botón multifunción colocado en el tubo superior o una botonera colocada en el manillar [90].

La configuración de este sistema es la menos intrusiva y la que requiere de una menor cantidad de modificaciones en lo que respecta a una bicicleta no eléctrica para realizar la conversión de un cuadro convencional.

## 4. CARACTERÍSTICAS DE UNA GRAVEL

Con el objetivo de comprender cuales son los elementos que intervienen en el diseño de un cuadro, los siguientes apartados pretenden explicar qué consideraciones debe de tener en cuenta un fabricante de bicicletas.

Si hacemos una analogía con el mundo del motor, un cuadro es el chasis; es la parte principal sobre la que se ensamblan los componentes, ruedas y periféricos de la bicicleta. Además, es el elemento que otorga la personalidad y las características mecánicas a la bicicleta, siendo uno de los factores más importantes que intervienen en su comportamiento y manejabilidad.

Cuando una marca pretende iniciar la comercialización de un nuevo modelo de bicicleta, lo primero que debe hacer es definir en qué estrato del mercado quiere posicionarla, y eso definirá el precio de venta. En función de ese precio se elegirán los componentes de la transmisión, ruedas y demás por un lado y el material de fabricación del cuadro por otro.

Cada material tiene procesos de fabricación diferentes y dependiendo de cuál sea el elegido se tienen más o menos libertades de diseño [99], [100]. Una vez escogido el material, los diseñadores podrán comenzar a definir las formas del cuadro.

La envoltura del cuadro tiene por tanto dos características principales: geometría y forma de los tubos. La geometría es la de mayor importancia y la que define de qué tipo de bicicleta se trata y cómo se comporta. Por el contrario, la forma de la sección de los tubos está asociada a la rigidez de la bicicleta y a la estética [101].

En la figura 42 se muestran dos modelos diferentes de bicicletas marca Specialized® de diferentes categorías:

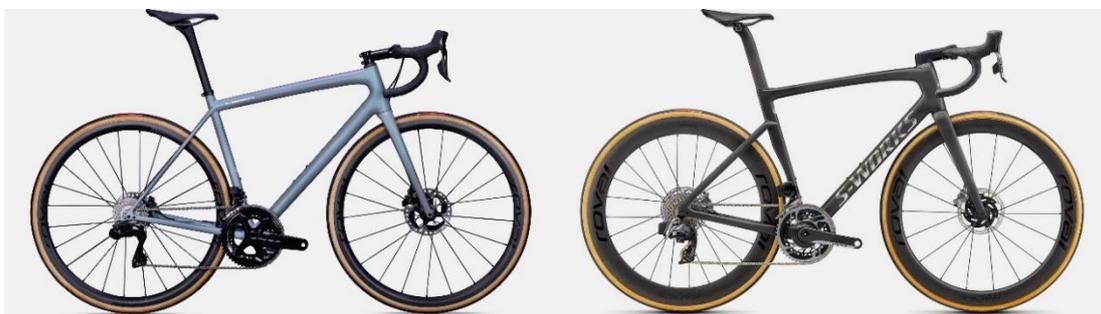


Figura 42- Ejemplos de modelos de diferentes estratos: Specialized® Aethos versus Tarmac [74].

Un ejemplo práctico de las afirmaciones anteriores son los dos modelos de bicicletas mostrados en la figura previa. Ambos tienen el mismo precio y material (fibra de carbono). Respecto al cuadro, únicamente se diferencian en la geometría y en la forma y sección de sus tubos. En el caso del modelo Aethos, se trata de una bicicleta escaladora, por lo que

prima la ligereza del cuadro y la rigidez de éste. Sin embargo, el Tarmac es una bicicleta aero enfocada a etapas llanas y de velocidad elevada, por lo que en este caso la aerodinámica y la absorción de vibraciones serán los factores diferenciadores.

En este apartado se pretende dar a conocer dos de los tres factores, los de mayor importancia, necesarios para tener en cuenta en el momento de comenzar el diseño de un cuadro: el material y la geometría. El tercer factor, la forma de la sección de los tubos no será considerada para este trabajo debido a que es el de menor influencia y es más subjetivo.

## 4.1. Materiales de fabricación

Los avances tecnológicos realizados en los procesos y mecanismos de fabricación unido a la aparición de nuevos materiales han permitido que los materiales con los que se puede construir un cuadro de bicicleta tan diversos como mkgéneos.

Los cuadros de las bicicletas gravel pueden ser construidos en cualquier material común en cualquier otro tipo de bicicletas, pero cada uno de ellos tiene unas características determinadas con pros y contras y debe de ser el usuario quien en función de sus necesidades escoja el adecuado. Los factores para tener en cuenta son diversos, incluyendo el precio, peso, prestaciones de la bicicleta, o incluso estética y longevidad [104].

Los modelos del estudio seleccionados en el apartado anterior y calificados como los más vendidos por las diversas webs y revistas han sido considerados con el fin de realizar un análisis de los materiales de fabricación de sus cuadros. La figura 43 sintetiza el número de bicicletas para cada material existente en el estudio previo.

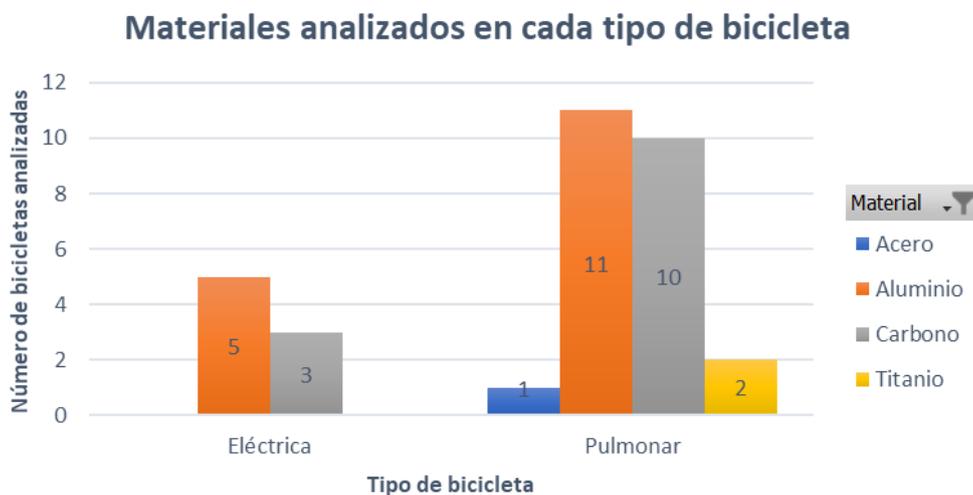


Figura 43- Materiales de las bicicletas analizadas [elaboración propia]

De estos resultados se puede obtener que el material más utilizado, tanto en bicicletas pulmonares como eléctricas, es el aluminio con 16 de los 32 modelos analizados, lo que supone un 50% del total de modelos analizados. A continuación, el segundo material más frecuente es el carbono, del que encontramos 13 de los 32 modelos, es decir, un 41%. El titanio y el acero quedan relegados a porcentajes marginales, ya que respecto al volumen total estudiado suponen tan solo un 9% entre ambos. Comentar, además, como curiosidad, que el titanio y el acero solo se han encontrado presentes en bicicletas pulmonares de la marca Ribble® (Reino Unido).

A continuación, se van a analizar brevemente las propiedades [99], [100], [102], [103] que hacen que sean estos cuatro materiales los que se encuentran presentes en casi en la totalidad de los modelos que hay actualmente en el mercado:

#### 4.1.1. Acero

Puede decirse que es el material más utilizado en la historia para la fabricación de cuadros de bicicletas y que ha sido utilizado desde los albores del ciclismo hasta la actualidad; aunque ahora se usa en menor medida.

El acero es un material resistente y a la vez muy versátil. Sus puntos fuertes son la enorme capacidad de carga, resistencia a la fatiga y la facilidad de reacción en caso de rotura, lo que hace que sea el escogido para bicicletas de aventura. Las mayores desventajas son su alto peso (es el más pesado de los cuatro materiales que se exponen) y su facilidad de corrosión en caso de no proteger correctamente su superficie mediante pintura o barnices. Sin embargo, su coste de fabricación puede ser un factor tanto positivo como negativo en función de la aleación escogida para la construcción del cuadro.

Las propiedades mecánicas del acero que derivan en sus cualidades de amortiguación y conducción, rigidez, peso o robustez pueden variar mucho en función de la aleación de la tubería utilizada para la fabricación del cuadro. Los elementos más comunes con los que se suele alear son el cromo, el molibdeno, el níquel, el tungsteno y el manganeso. Se cuentan por centenas las aleaciones utilizadas en función de las características que busca cada marca para sus cuadros.

Hoy en día, la totalidad de las bicicletas construidas con cuadros de acero se fabrican con aceros convencionales o inoxidables:

- Aceros convencionales: Dentro de este tipo podemos encontrar los *Hi-Ten*, aceros de alta resistencia y que están presentes en bicicletas baratas y de gama baja; y los *chromoly*, aceros de alta calidad en los que el acero sea alea con cromo y molibdeno para mejorar sus propiedades. La ventaja de ambos tipos es que tanto su fabricación como el coste del acero resultan baratos y ventajosos respecto a otros materiales.
- Aceros inoxidables: hay dos fabricantes históricos de tuberías: Reynolds, de origen británico, y Columbus, proveniente de Italia. Ambas tienen aleaciones de composiciones específicas para ciclismo que venden a marcas y artesanos y que permiten construir cuadros con paredes inferiores al milímetro y ultraligeros, pero con las características mecánicas similares al aluminio o al carbono. Al contrario que con el acero convencional, tanto su fabricación como el coste del acero inoxidable resulta mucho más caro ya que se tratan de aleaciones con composiciones específicas y que necesitan de procesos de soldadura concretos.

Junto al titanio, es el material con la vida útil más larga. Y es muy común verlo en bicicleta de aventura debido a su resistencia de rotura tan elevada y a su facilidad de reparación, ya que no se necesitan máquinas de soldar ni electrodos específicos para reparar un cuadro. Un ejemplo de bicicleta con cuadro de acero es la Ribble® CGR 725 (figura 44):



Figura 44- Ribble® CGR 725 [104].

#### 4.1.2. Aluminio (6061 y 7075)

El aluminio es sin dudas el material más utilizado por la industria del ciclismo. La mayor parte de las marcas lo utilizan para sus gamas medias y bajas. Además, es también el más común para la fabricación de periféricos y componentes.

Mecánicamente posee una de las mejores ratios rigidez/peso y resistencia a la corrosión. Sin embargo, es un metal demasiado blando para la fabricación de los perfiles con los que se fabrican las bicicletas, por lo que ha de alearse con otros elementos para suplir esas deficiencias dando lugar a diferentes series con sus nomenclaturas correspondientes.

Junto a la fibra de carbono es el material que más en constante evolución se encuentra. Nuevas aleaciones surgen cada día mejorando sus propiedades mecánicas frente a otros elementos.

Fue el segundo material con el que se comenzaron a construir bicicletas de forma industrial. En sus inicios sobre la década de los ochenta se utilizaban tubos de calibres gruesos con una gran sección para lograr resistencia, durabilidad y rigidez. Hoy en día, esos tubos originales se han sustituido por perfiles de menor espesor y nuevas aleaciones que le otorgan al cuadro resultante unas características mecánicas mucho mejores a la par de otros materiales.

Estas aleaciones que se utilizan en la actualidad son relativamente sencillas de manipular para conseguir diferentes propiedades a lo largo de la longitud de la tubería que se vaya a utilizar. Junto a ello, los nuevos procesos que permiten fabricar perfiles hidroformados con los cuales se pueden conseguir geometrías poligonales partiendo de tubos redondos, e incluso mecanizados de conificado para aligerar peso, han conseguido que los cuadros de aluminio sean los más propicios para robotizar su fabricación.

Actualmente son dos las aleaciones más utilizadas por la industria del ciclismo [105]–[107]:

- 6061 – T4/T6: se trata de una aleación que contiene silicio y magnesio y es el aluminio utilizado para la fabricación de casi la totalidad de las bicicletas del mercado. Tiene dos variantes T4 y T6 en función del proceso de templado. Es barato y tiene una buena relación rigidez/peso. Es fácilmente modulable. Y lo más importante de todo, a diferencia del 7075 se puede soldar.
- 7075: aleado con cinc y al igual que el titanio, es un material dedicado a pequeños volúmenes de fabricación por dos razones principales: es mucho más caro que el 6061 y no se puede soldar. Es necesario utilizar un material auxiliar para realizar la unión de sus tuberías. Sin embargo, sus propiedades mecánicas son mucho mejores que las del aluminio 6061. Esta es la razón por la que también se utiliza para la fabricación de componentes como manillares, tijas, etc.

Un ejemplo práctico de las características del aluminio puede observarse si tomamos dos de los modelos considerados a estudio de la marca Ribble. Sus bicicletas CGR Al y CGR 725 utilizan aluminio y acero respectivamente del fabricante de tubería inglés Reynolds.

Esta diferencia podemos hacerla visible si tomamos dos de las bicicletas consideradas en la lista de modelos a estudio, en concreto si tomamos los modelos del fabricante inglés Ribble, concreto los CGR Ti y CGR 725. Ambas bicicletas utilizan cuadros elaborados con tuberías Reynolds, un fabricante de la misma nacionalidad especializado en el sector. A continuación (figura 45), se muestra una tabla comparativa de ambos metales.

Modelo	Aleación	Resistencia máxima a tracción	Densidad
CGR Al	Al 6061 – T6	262 MPa	2,78 g/cc
CGR 725	Acero 725	1000 - 1250 MPa	7,78 g/cc

Figura 45- Tabla comparativa de aleaciones de aluminio

La tabla muestra que la resistencia máxima a la tracción del aluminio es casi cinco veces menor que la del acero 725 y su densidad representa un 35% de este, sin embargo, esta comparativa está basada en las propiedades del metal. La ventaja del aluminio se basa en que los procesos mecánicos asociados que se le pueden aplicar a las tuberías como hidroformados o conificados pueden hacer que el aluminio iguale las características del

acero. Un ejemplo de bicicleta con cuadro de aluminio es la Ribble CGR Al (figura 46):



Figura 46- Ribble CGR Al [111].

#### 4.1.3. Carbono

Destinado a las gamas altas de cualquier fabricante de bicicletas, siempre se relaciona con el rendimiento y la competición. No hay ningún otro material en el mercado con una relación rigidez/peso mejor que la de la fibra de carbono; quizás algunas aleaciones pueden llegar a una rigidez similar, pero a cambio de una mayor cantidad de material y el incremento de peso que ello conlleva.

La fibra de carbono (figura 47), a diferencia del resto de materiales, no es un metal, sino un tipo de composite sintético compuesto por átomos de carbono en forma de filamentos, posteriormente trenzados y finalmente unidos mediante resinas. Si tomamos el dato de ejemplo de una fibra de carbono comercial del fabricante Tenax, la densidad de una fibra comercial puede situarse sobre los 1,7 g/cc lo que es una quinta parte de los 7,78 g/cc en los que se sitúan muchos de los aceros usados en ciclismo.

Los primeros cuadros que se comenzaron a fabricar en la década de los ochenta de la mano del fabricante japonés Toray se quedaban lejos de las prestaciones que podía ofrecer el acero o el aluminio, pero tras años de investigación han surgido diferentes técnicas que han permitido conseguir procesos lo suficiente fiables y económicos como para producir cuadros por debajo del kilogramo de peso.



*Figura 47- Máquina de trenzado de fibra de carbono.*

Varias de estas técnicas están relacionadas con la forma en la que las fibras de carbono son combinadas y trenzadas. El grado de perfeccionamiento de estas tecnologías ha permitido que para la fabricación de un cuadro puedan utilizarse láminas de diferente tipo en función de los requerimientos de rigidez de cada zona del cuadro.

Cada marca utiliza el proceso de fabricación más adecuado a las características que necesita. En este sentido, existen varios procesos: moldes internos a los que se va pegando laminas o sobre moldes externos en los que posteriormente se introduce una vejiga soluble en la que se inyectara aire a presión para posteriormente cocinarlo y prensarlo para obtener su forma definitiva y características finales.

Este mecanismo de fabricación permite a las marcas elaborar piezas del cuadro sin estar restringidas a los por la forma y estructura del material de partida, como es el caso de las tuberías metálicas de los cuadros de aluminio, acero o titanio. Por este motivo, el carbono es el elegido para las bicicletas de gama alta, ya que cualquier elemento del cuadro puede modelarse sin grandes restricciones de diseño con las mejores características mecánicas. Esto es aprovechado por las marcas para proporcionar a sus bicicletas una identidad propia.

Las ventajas de los cuadros de fibra de carbono no acaban aquí, y es que los diseñadores tienen programas de diseño específicos con los que pueden diseñar el cuadro implementado las láminas de fibra en diferentes direcciones para buscar una mayor rigidez o flexibilidad en diferentes puntos de la geometría. Estas características, junto con la habilidad de los diseñadores para dimensionar la bicicleta pueden influir directamente en el comportamiento de la bicicleta, su conducción y comodidad final, pudiendo igualar o incluso superar las cualidades de bicicletas con amortiguación.

El gran inconveniente de este material es el costoso proceso de fabricación. Primeramente, es necesario fabricar la materia prima como son los filamentos de carbono. Posteriormente se realiza el proceso de tejido para obtener la laminas mediante maquinaria muy especializada. En tercer lugar, la inversión en el diseño y fabricación del molde del cuadro. Y finalmente el propio proceso de elaboración del cuadro con el posterior cocido en un horno autoclave para dale su forma definitiva. Todo esto hace que fabricar un cuadro de carbono sea mucho más caro que con cualquier otro material metálico.

No menos importante es el hecho de que es el material de entre todos los usados en ciclismo con la tasa de reciclabilidad más baja de todas. El hecho de que no se trate de una aleación sino de componentes sintéticos con composiciones muy variables dificulta y encarece enormemente sus procesos de reciclado. Además, la huella de carbono total (huella de la producción de la fibra más la huella del proceso de manufactura) es el triple para un cuadro de carbono que su equivalente en aluminio [Informe trek]. Un ejemplo de bicicleta con cuadro de carbono es la Ribble CGR SL (figura 48):



Figura 48- Ribble CGR SL [112]

#### 4.1.4. Titanio

De los cuatro materiales, los cuadros fabricados en titanio son los más caros de todos. Son diversas las razones por las que el coste de las bicicletas que usan este metal se duplica o triplica en comparación con otros elementos.

El titanio es un metal abundante en la naturaleza pero que no se encuentra en estado puro, sino que siempre aparece en forma de los minerales conocidos como rutilo u óxido de titanio ( $TiO_2$ ) e ilmenita ( $FeO \cdot TiO_2$ ). La extracción del titanio puro de estos minerales es compleja, lo que encarece en primer término las bicicletas construidas con este metal.

Las características mecánicas son abrumadoramente mejores que las de cualquier otro metal. El titanio posee una gran resistencia y dureza. Es mucho más robusto y ligero que el acero. Esta diferencia podemos hacerla visible si tomamos dos de las bicicletas consideradas en la lista de modelos a estudio, en concreto si tomamos los modelos del fabricante inglés Ribble®, concreto los CGR Ti y CGR 725. Ambas bicicletas utilizan

cuadros elaborados con tuberías Reynolds, un fabricante de la misma nacionalidad especializado en el sector. A continuación, se muestra una tabla comparativa (figura 49) de ambos materiales.

Modelo	Aleación	Resistencia máxima a tracción	Densidad
CGR Ti	Titanio 3-2.5Ti	810-960 MPa	4,48 g/cc
CGR 725	Acero 725	1000-1250 MPa	7,78 g/cc

Figura 49- Tabla comparativa entre acero y titanio

Como se ve en la tabla, la resistencia máxima a la tracción del acero 725 es ligeramente superior al del Titanio puro. Esto es debido a que se trata de una elección con cromo y molibdeno que mejora sus propiedades. Sin embargo, lo más representativo es que casi para la misma resistencia, la densidad del titanio supone un 58% de la del acero, con lo que se pueden llegar a conseguir cuadros mucho más ligeros.

Otras características de especial relevancia es que el titanio no sufre corrosión y tiene el estigma de que las bicicletas fabricadas con este material son para toda la vida. Además, su resistencia a las tensiones y torsiones repetidas hacen que sea el material con las mejores cualidades de amortiguación y absorción de las irregularidades del terreno.

Respecto a la fabricación de los cuadros de titanio se realiza de manera totalmente artesanal ya que es un metal tan duro y complejo de trabajar que se necesitan herramientas y maquinaria muy específica. Además, es necesario fabricar los cuadros unitariamente ya que es común que la geometría del cuadro pueda variar debido a las tensiones producidas por los procesos de corte o soldadura (en condiciones libres de oxígeno) y es necesario que el operario sepa adaptar los elementos faltantes para conseguir la geometría definitiva. Por lo tanto, el propio proceso de fabricación encarece en segundo término el coste final.

Debido a todo lo anterior, la construcción de un cuadro de titanio queda relegada a fabricantes artesanales o grandes marcas con el poder económico suficiente como para poder asumir el coste de fabricación tan elevado. Por esta razón, la mayoría de las bicicletas de titanio se fabrican bajo demanda ya que sería imposible para cualquier marca tener paralizado el gasto de fabricación en forma de stock. Un ejemplo de bicicleta con cuadro de titanio es la Ribble® CGR Ti (figura 50):



Figura 50- Ribble CGR Ti [113]

## 4.2. Geometría y parámetros dimensionales

Como se ha explicado en la introducción de este apartado, toda bicicleta tiene una geometría específica, concebida y desarrollada en función del uso al que estará destinada. Esa geometría particular le dará al conjunto de la bicicleta el comportamiento y características idóneas para el terreno en el que tendrá que rodar y la que hace diferenciarse de las diferentes categorías del ciclismo [37].

Se puede definir la geometría de un cuadro como el conjunto de ángulos y medidas de los tubos que conforman las dimensiones de éste. Todos estos parámetros de la geometría están relacionados entre sí y es necesario conectarlos adecuadamente, ya que al modificar uno pueden verse afectados otros muchos.

Los diseños de cuadros en la actualidad pueden ser muy diferentes, omitiendo tubos total o parcialmente o cambiándoles de lugar. Sin embargo, por regla general las bicicletas gravel utilizan el clásico diseño de dos triángulos. El triángulo delantero es el encargado de determinar la talla de la bicicleta que se ajusta a la altura del ciclista. El triángulo trasero conserva sus dimensiones en todas las tallas y es el encargado de definir la

agresividad de la bicicleta (figura 52) [114].



Figura 51- Triángulos de un cuadro [115]

Los principales parámetros que sirven para la caracterización de un cuadro gravel se exponen a continuación.

#### 4.2.1. Ángulo de dirección

Es el ángulo del tubo de la dirección respecto a la horizontal (figura 53). Los cuadros gravel utilizan ángulos situados entre  $70^\circ$  y  $73^\circ$ . Las bicicletas que utilizan un ángulo situado en este intervalo son más manejables y reactivas ante cambio de velocidad, y además permiten rodar a elevada velocidad con estabilidad. Lo que se busca en un modelo gravel.

El ángulo de la dirección trabaja en sintonía con las características de la horquilla delantera, por lo que si la bicicleta tiene suspensión o es modelo en el que el eje no coincide con la proyección del tubo de la dirección el ángulo puede verse afectado puntualmente modificando el comportamiento inicial de la bicicleta [115].



Figura 52- Ángulo del tubo de la dirección [115]

#### 4.2.2. Ángulo del tubo del sillín

Es el ángulo que define la inclinación respecto a la horizontal e indica el retraso del sillín

sobre el eje del pedalier (figura 54). Es uno de los parámetros que menor variación porcentual tiene pero que más influencia posee en el comportamiento de la bicicleta.



Figura 53- Ángulo del tubo del sillín [115]

En los modelos gravel actuales, este ángulo se sitúa en un intervalo entre  $72^\circ$  y  $74^\circ$ . Los más pequeños suelen estar asociados a tallas grandes ya que retrasa la posición de pedaleo. Además, el hecho de que el ángulo sea más cerrado incrementa la estabilidad en bajadas, pero reduciendo la reactividad y manejabilidad de la bicicleta en terrenos complejos y la eficiencia de pedaleo en general. Todo lo contrario, pasará si el ángulo del tubo es abierto [115].

#### 4.2.3. Longitud de vainas

Se define como longitud de vainas la distancia entre el eje pedalier y el eje de la rueda trasera (figura 55). Es una medida condicionada por el diámetro de la rueda y el tamaño del balón del neumático que se quiere colocar.

Unas vainas compactas aumentan la eficiencia del pedaleo al hacer el cuadro más rígido. Además, la cadena necesaria es más corta, por lo que las pérdidas por rozamiento son menores. Esto hace que la carga recibida por la rueda trasera sea mayor, aumentando la tracción y la reactividad de la bicicleta.



Figura 54- Longitud de vainas [115]

Al contrario, un cuadro con las vainas largas tiene una mayor estabilidad y confort de marcha ya que aumenta el material que absorbe las irregularidades del terreno y permite la instalación de ruedas de mayor tamaño y balón de neumático [115].

#### 4.2.4. Longitud del tubo superior

La longitud del tubo superior se interpreta como la distancia en el plano horizontal entre la parte superior del eje del tubo de la dirección y el tubo del sillín (figura 56).

En la geometría tradicional, el tubo superior es completamente horizontal. Sin embargo, en la actualidad la mayoría de los cuadros producidos en serie presentan *sloping*. El *sloping* es el término que se utiliza comercialmente para indicar la inclinación del tubo superior del cuadro. Al presentar este tubo una inclinación y no ser totalmente horizontal se desvirtúa esa medida al no coincidir con ningún tubo real. Por esta razón, nuevos parámetros han surgido para intentar obtener un valor que pueda dimensionar el avance del cuadro [115].



Figura 55- Longitud del tubo superior [115]

#### 4.2.5. Distancia entre ejes

Una distancia entre ejes elevada proporciona una mayor estabilidad a cambio de empeorar la manejabilidad y reactividad. Una bicicleta gravel, al contrario, busca una distancia entre ejes relativamente corta que le ayude a desenvolverse adecuadamente en terrenos complicados como una de montaña (figura 57).

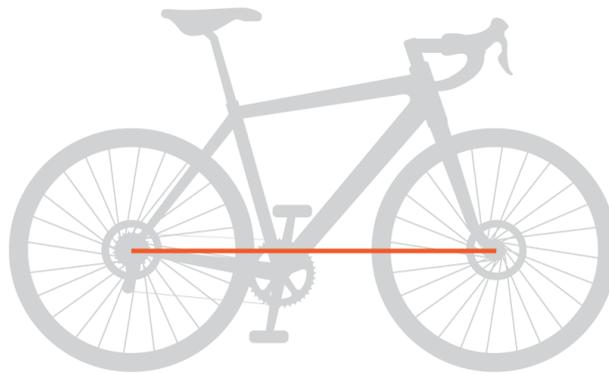


Figura 56- Distancia entre ejes.

Esta distancia, aunque pueda ser medida físicamente sobre la bicicleta es la resultante de la suma de componentes de otros parámetros, como el ángulo de la dirección, longitud del tubo superior o de las vainas [115].

#### 4.2.6. Longitud de la pipa de la dirección

Se refiere a la longitud del tubo sobre el que se apoya la horquilla de la bicicleta (figura 58). Esta medida interviene directamente en la postura del ciclista. En una bicicleta gravel se busca que sea grande para que la posición de pedaleo sea lo más relajada y cómoda posible [115].



Figura 57- Longitud de la pipa de la dirección [115]

#### 4.2.7. Altura del eje pedalier

Es la distancia libre entre el eje del pedalier y el suelo (figura 59). Está determinada por la talla y geometría del cuadro y el tamaño de las ruedas. Es uno de los parámetros de mayor importancia ya que afecta directamente al centro de gravedad de la bicicleta.

En una bicicleta bien concebida, el centro de gravedad debe recaer sobre un punto concreto, que es el centro del eje pedalier. Posteriormente, el centro de gravedad del sistema bicicleta-ciclista debería de situarse en el plano de simetría del cuadro y en recaer en la vertical del eje pedalier, aunque esto resulta más complicado debido a la postura que utilice el ciclista. La distancia entre dichos centros de gravedad se denomina balanceo y se procura reducir debido a que empeora el comportamiento de la bicicleta.



Figura 58- Altura del eje pedalier [115]

Cuando una bicicleta tiene la altura del eje pedalier alta, se eleva el centro de gravedad haciendo la bicicleta menos estable complicando su manejo. Sin embargo, es la mejor forma de evitar obstáculos que puedan chocar con las bielas provocando una caída. Pasa lo contrario si reducimos esta distancia.

Una bicicleta gravel tiende a tener una altura del eje pedalier más similar a una bicicleta de carretera que a una de montaña debido a que a pesar de que se enfrentará a obstáculos éstos no serán lo suficientemente grandes como para necesitar una muy elevada del suelo [115].

#### 4.2.8. Caída del eje pedalier

Es la distancia vertical entre el eje pedalier y la línea horizontal proyectada entre los ejes de las ruedas (figura 60). Influye en la estabilidad de la bicicleta y en los modelos gravel suele ser algo menor que en los cuadros de carretera [115].

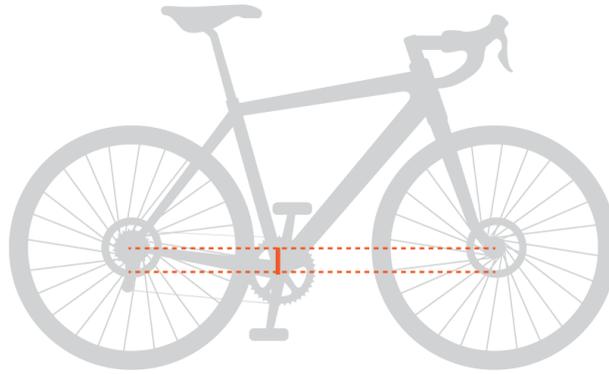


Figura 59- Caída del eje pedalier [115]

#### 4.2.9. Otros parámetros

Consecuencia de los continuos cambios que ha habido en el diseño de los cuadros respecto a las geometrías tradicionales, algunos de los parámetros expuestos anteriormente pasaron a ser virtuales dando lugar a otros nuevos que pretenden aglutinar las medidas del cuadro de una forma más genérica.

Hoy en día ya no es posible tomar las medidas de los tubos directamente sobre éstos como en un cuadro con la geometría tradicional, si no que los nuevos parámetros surgidos utilizan proyecciones o líneas imaginarias para dimensionar las proporciones de la bicicleta.

La necesidad de medir la altura y alcance de los cuadros de una manera independiente que pueda absorber cualquier variación dimensional hace que dos parámetros recientes tomen relevancia: el *stack* y el *reach*. Estos nuevos indicadores son actualmente los más importantes de la industria para dimensionar la talla y caracterizar el comportamiento de la bicicleta [115].

##### 4.2.9.1. Reach

Es la medida horizontal entre el eje de la pipa de la dirección en su punto más alto y la línea vertical proyectada desde el eje del pedalier (figura 61). Este parámetro está relacionado directamente con la talla de la bicicleta. Un mayor reach implica por regla general una mayor longitud de cuadro y aumento de talla, y es invariable ante cualquier variación en el ángulo del tubo superior o tubo del del sillín [115].

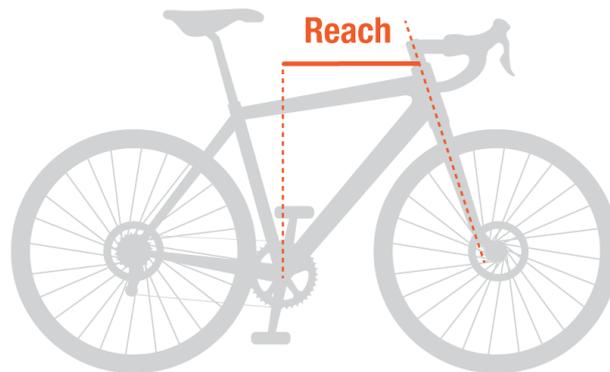


Figura 60- Reach o avance del cuadro [115]

#### 4.2.9.2. Stack

Es la distancia vertical entre el eje pedalier y línea de la proyección horizontal que parte del punto más alto del eje del tubo de la dirección (figura 62). Este parámetro salvaguarda cualquier posible modificación que afecte al pedalier y proporciona la altura real del cuadro.

El valor del *stack* determina la posición de pedaleo. Uno elevado permitirá que el ciclista vaya más erguido sobre la bicicleta y uno reducido estará más enfocado a competición debido a buscar una posición avanzada que facilite la aerodinámica.

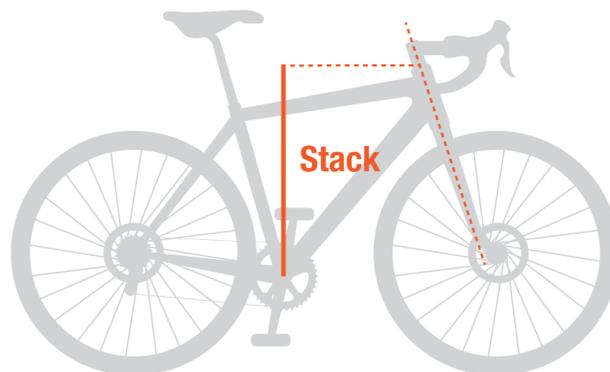


Figura 61- Stack o altura del cuadro [115]

Aunque se puede ajustar la posición de pedaleo óptima para el ciclista ajustando elementos como la altura del sillín, anchura del manillar y demás, deben ser el *stack* y el *reach* los parámetros indispensables para tener en cuenta a hora de la fabricación del cuadro [115].

#### 4.2.10. Horquilla

No se puede diseñar un cuadro sin tener en consideración el otro elemento que conforma la estructura de la bicicleta. Al igual que el propio cuadro interactúa con la rueda trasera, la horquilla lo hace con la delantera y ambos elementos conforman las dimensiones completas de la bicicleta.

En líneas generales la horquilla suele tener un peso en el diseño de la bicicleta mucho menor debido en parte a que no se trata del elemento principal pero también a que puede ser considerada como un componente a parte ya que existen horquillas comerciales con medidas generalistas que son compatibles con casi la totalidad de los cuadros.

Aunque sea de manera menos directa, las dimensiones de la horquilla no dejan de ser importantes para caracterizar correctamente un cuadro. Relativo a esto, existen tres parámetros que definen sus proporciones [115].

##### 4.2.10.1. Longitud

Es la distancia entre el plano de contacto entre cuadro y horquilla y la proyección normal del eje de la rueda delantera sobre la línea del eje del tubo de la dirección (figura 63). No es un parámetro que sufra grandes variaciones ya que está directamente relacionado con el tamaño de la rueda [115].

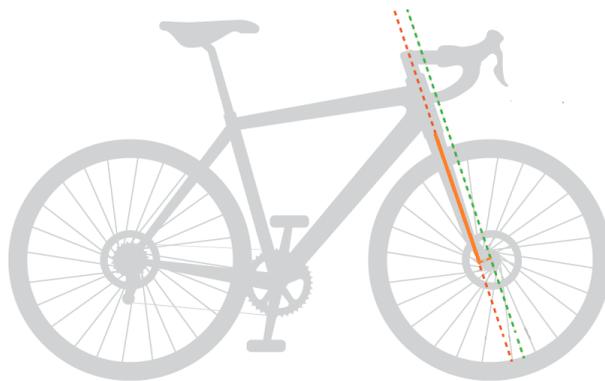


Figura 62- Longitud de horquilla [115]

##### 4.2.10.2. Offset

Se trata del avance de la horquilla (figura 64). En otras palabras, la distancia entre el eje del tubo de la dirección y la posición en la que se encuentra el eje de la rueda delantera respecto a este [115].

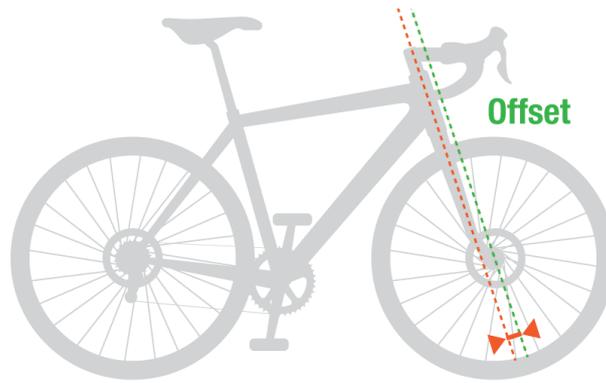


Figura 63-Offset de la horquilla [115]

#### 4.2.10.3. Trail

Puede considerarse como la distancia virtual y horizontal desde el punto de apoyo de la rueda, que coincide con la vertical del eje de la rueda, y la proyección del eje del tubo de la dirección (figura 65). Comúnmente se suele conocer como la huella de la horquilla.

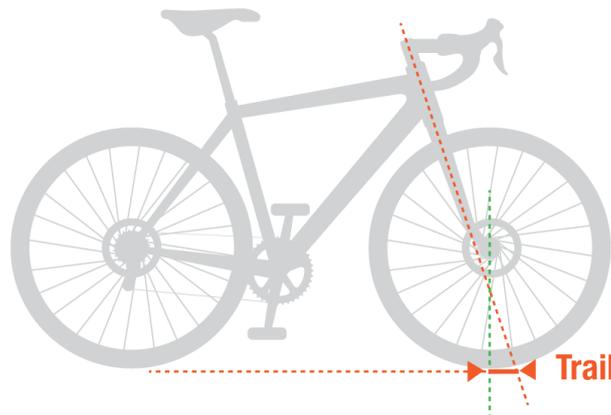


Figura 64-Trail de la rueda delantera[115]

El trail determina la conducción y estabilidad de la bicicleta. Cuanto mayor sea el valor del trail más estabilidad tendrá la dirección de la bicicleta a alta velocidad, pero empeorando a su vez la manejabilidad a bajas [115].

En resumen, el trail es el parámetro virtual resultante de la combinación del ángulo del tubo de la dirección y el offset de la horquilla. Para hacer una bicicleta equilibrada es fundamental encontrar una combinación adecuada de estos parámetros en función del comportamiento que se desee que tenga la bicicleta.

La geometría de una bicicleta gravel busca situarse entre una de bicicleta de carretera y una de rígida montaña. Sin embargo, si tenemos en cuenta una geometría tradicional de una bicicleta de ruta la geometría de una gravel tendrá:

1. Un ángulo del tubo de la dirección mayor para aumentar su estabilidad.
2. Altura del eje pedalier aumentada para salvar posibles obstáculos del terreno.
3. Un *reach* más corto para otorgarle a la bicicleta una mayor reactividad.

En definitiva, una bicicleta gravel debe de ser polivalente, así que los cambios en las medidas del cuadro deben de facilitar los movimientos del ciclista ante eventualidades del terreno y cambios de velocidad. Por eso mismo se huye geometrías aerodinámicas y se buscan aquellas configuraciones que faciliten una posición que no fatigue el cuerpo en trayectos largos pensando en la comodidad.

Ninguno de los parámetros mostrados hasta ahora es determinante por sí solo, sino que el comportamiento de la bicicleta depende de la asociación que tienen todos ellos entre sí.

### 4.3. Estándares dimensionales de un cuadro comercial

Para que un cuadro sea compatible con los componentes, periféricos y ruedas que conforman el conjunto de una bicicleta completa es necesario que dicho cuadro cumpla con una serie de estándares dimensionales disponibles en el mercado y que proporcionan las marcas de esos elementos con el objetivo de que su fabricación no sea un quebradero de cabeza para su montaje. Los puntos de un cuadro que contemplan estándares de fabricación pueden verse en la figura mostrada a continuación (figura 66) [116]:



Figura 65- Representación de estándares dimensionales de un cuadro comercial [elaboración propia]

Las medidas y estándares más comunes utilizados en las bicicletas gravel para cada punto de la bicicleta son los siguientes:

#### 4.3.1. Dirección

Se denomina dirección al conjunto de todas las piezas que componen los elementos que

permiten el giro de la horquilla. Éstos son principalmente los rodamientos, casquillos, tapa y espaciadores.

Existen dos tipos de direcciones en las bicicletas gravel (figura 67) que se diferencian en la forma en la que quedan integradas en el tubo de la dirección.

- Integrada: los rodamientos se colocan sobre unos alojamientos específicos que forman parte del propio diseño del tubo de la dirección. Esta dirección es la que menos elementos contiene y oculta todos ellos a la vista. Tiene el diseño más limpio y es la única utilizada en cuadros de carbono, siendo además muy común en cuadros metálicos.
- Semi-Integrada: es muy similar a la integrada. Se utilizan cazoletas metálicas para alojar los rodamientos que quedan colocadas en el interior del tubo de la dirección ocultando casi por completo el conjunto. Este tipo es el más montado en cuadros de aluminio, acero y titanio.

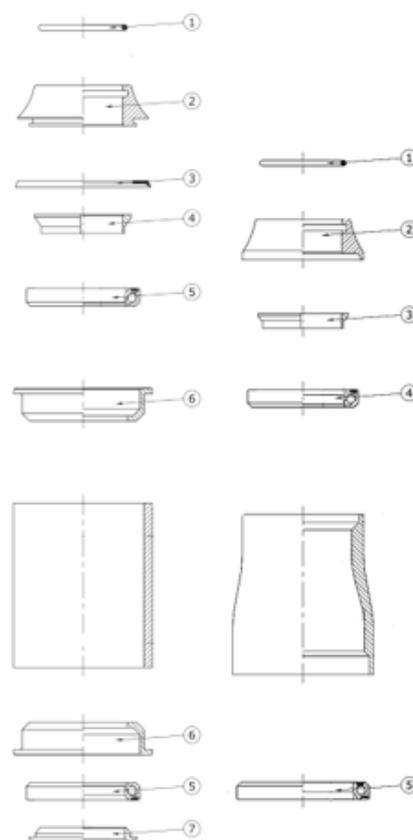


Figura 66- Tipos de dirección: semiintegrada (izq.) e Integrada(der.) [117]

El tubo de la dirección puede tener dos diseños diferenciados, pueden ser cónicos o rectos. Los primeros se utilizan exclusivamente en las bicicletas de gama alta de carbono y aluminio, ya que el material y las tecnologías de fabricación lo permiten. Este diseño busca una mejora estética y aerodinámica respecto al recto, que es relegado a las bicicletas de gama media y baja de los mismos materiales, además de para los cuadros fabricados en acero y titanio [118].

La forma del tubo de la dirección se extrapola a las medidas tanto de las cazoletas como de los rodamientos compatibles. Cada tipo de dirección tiene una medida de rodamiento

asociado. En el caso de las bicicletas gravel se utilizan conjuntos de 1" 1/8" con rodamientos de 42 mm y 1" 1/2" con rodamientos de 52 mm [117].

#### 4.3.2. Tubo de sillín

El diámetro del tubo del sillín se dimensiona conforme al diámetro de la tija (figura 68). Es una de las medidas que mayor distorsión tiene de todos los parámetros a considerar en el dimensionamiento de un cuadro. Sin embargo, existen tres medidas muy comunes en las bicicletas gravel:  $\varnothing$  27,2 mm,  $\varnothing$  30,9 mm y  $\varnothing$  31,8 mm, aunque las nuevas tecnologías y procesos de fabricación del carbono que hay en la actualidad han permitido que un nuevo diseño de tija en forma de D se vaya instaurando en las bicicletas de gama alta con el propósito de buscar una ganancia aerodinámica [119].



Figura 67- Comparación de tijas: tubular (izq.) y huella en D (der.) [120], [121]

#### 4.3.3. Abrazadera del tubo de sillín

Hay dos sistemas de fijación de la tija del sillín. El primero y más común es la abrazadera simple, cuyo tamaño está condicionado por el diámetro de la tija y el espesor del tubo en ese punto. Es el utilizado en los cuadros fabricados con metales y en algunos cuadros de carbono. El segundo y menos usual, es el sistema de cuña. Este método es el que montan los cuadros de carbono de carácter competitivo y requieren de una preforma específica en el interior del cuadro, que permite que esta pieza quede oculta a la vista y las líneas de diseño sean más limpias [119].



Figura 68- Comparación de abrazaderas: cuña (izq.) y abrazadera (der.) [120], [121]

#### 4.3.4. Pinza de freno

Las bicicletas gravel utilizan un único estándar de anclaje para las pinzas de freno sobre el cuadro llamado soporte plano (figura 70). Las dimensiones de los puntos de fijación se

caracterizan respecto del eje trasero y serán mostradas más adelante [122].

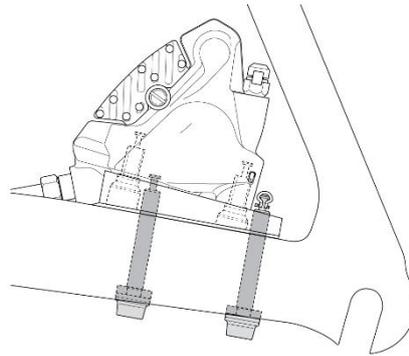


Figura 69- Representación de soporte plano para pinza de freno de disco [123].

#### 4.3.5. Tamaño de rueda

Es uno de los factores más importantes y a pesar de que no forma parte de la geometría de la bicicleta incide directamente sobre ella. El tamaño de una rueda se determina en función de la unión de sus dos componentes: la llanta y el neumático.

Estos dos elementos se rigen por las normas ETRTO [*European Tyre and Rim Technical Organisation*] que categorizan en forma de estándar el tamaño de cada neumático en función del diámetro de la llanta y el ancho del balón [124]. La siguiente tabla (figura 71) muestra algunas de las medidas disponibles en el mercado y como puede observarse existe una inmensa variedad opciones:

	ETRTO	Pouces	Indication Française	
12"	47-203	12 x 1.75		
		12 x 1.90		
		12 1/2 x 1.75		
		12 1/2 x 1.90		
	50-203	12 x 2.00		
	54-203	12 x 1.95		
	57-203	12 1/2 x 2 1/4		
	62-203	12 1/2 x 2 1/4		
	14"	47-254	14 x 1.75	
			14 x 1.90	
		14 x 2.00		
50-279		14 x 1 1/2	350 x 388	
37-288		14 x 1 3/8	350 x 35A	
		14 x 1 5/8 x 1 3/8		
40-288		14 x 1 5/8	350 x 38A	
44-288		14 x 1 5/8 x 1 3/8	350 x 42A	
47-288		14 x 1.75		
32-298		14 x 1 1/2	350 x 32A	
16"	40-305	16 x 1.50		
	47-305	16 x 1.75		
		16 x 1.90		
	50-305	16 x 2.00		
	54-305	16 x 1.95		
		16 x 2.00		
	57-305	16 x 2.125		
	40-330	16 x 1 1/2	400 x 388	
	28-340		400 x 30A	
	32-340	16 x 1 3/8 x 1 1/4	400 x 32A	
17"	32-357	17 x 1 1/2		
	32-369	17 x 1 1/2		
	18"	28-355	18 x 1 1/8	
		32-355	18 x 1.25	
		35-355	18 x 1.35	
		40-355	18 x 1.50	
		42-355	18 x 1.60	
		47-355	18 x 1.75	
			18 x 1.90	
		50-355	18 x 2.00	
37-387		18 x 1 1/2		
28-390		18 x 1 1/8	450 x 28A	
20"	37-390	18 x 1 3/8	450 x 35A	
	55-390		450 x 55A	
	57-390		450 x 55A	
	37-400	18 x 1 3/8		
	54-400	20 x 2 x 1 1/2		
	23-406	20 x 0.90		
	25-406	20 x 1.00		
	28-406	20 x 1.10		
		20 x 1 1/8		
	32-406	20 x 1.25		
22"	35-406	20 x 1.35		
	37-406	20 x 1.40		
		20 x 1 3/8		
	40-406	20 x 1.50		
	42-406	20 x 1.60		
	44-406	20 x 1.50		
	44-406	20 x 1.625		
	47-406	20 x 1.75		
	47-406	20 x 1.90		
	50-406	20 x 2.00		
24"	54-406	20 x 2.10		
		20 x 2.00		
	55-406	20 x 2.15		
	57-406	20 x 2.25		
		20 x 2.125		
	60-406	20 x 2.35		
	54-428	20 x 2.00		
	40-432	20 x 1 1/2		
	37-438	20 x 1 3/8		
	40-438	20 x 1 3/8 x 1 1/2		
26"	28-440		500 x 28A	
	37-440		500 x 35A	
	40-440	20 x 1 1/2 NL	500 x 38A	
	23-451	20 x 0.90		
		20 x 1.00		
	28-451	20 x 1 1/8		
	37-451	20 x 1 3/8 B.S.		
	44-457	22 x 1.75		
	44-454	22 x 1 5/8 x 1 1/2		
	25-489	22 x 1.00		
37-489	22 x 1 3/8 NL			

	ETRTO	Pouces	Indication Française
24"	40-507	24 x 1.50	
	44-507	24 x 1.625	
		24 x 1.75	
	47-507	24 x 1.75	
		24 x 1.85	
		24 x 1.90	
	50-507	24 x 2.00	
		24 x 1.90	
		24 x 2.125	
	54-507	24 x 2.10	
25"	55-507	24 x 2.15	
	57-507	24 x 2.25	
		24 x 2.125	
	60-507	24 x 2.35	
	62-507	24 x 2.40	
	23-520	24 x 0.90	
		24 x 1.00	
	44-531	24 x 1 5/8 x 1 1/2	
	40-534	24 x 1 1/2	
	20-540	24 x 1/4	
26"	23-540	24 x 0.90	
		24 x 1.00	
	25-540	24 x 1.00	
	30-540	24 x 1.20	
	32-540	24 x 1 3/8 x 1 1/4	
	37-540	24 x 1 3/8	
	40-540	24 x 1 3/8 x 1 1/2	
	23-541		600 x 25A
	25-541		600 x 25A
	28-541	24 x 1 3/8 x 1 1/4 NL	600 x 32A
37-541		600 x 35A	
27"	57-520	25 x 2.25	
	20-559	26 x 3/4	
	23-559	26 x 0.90	
		26 x 1.00	
	25-559	26 x 1.00	
	28-559	26 x 1.10	
	30-559	26 x 1.20	
	32-559	26 x 1.25	
	35-559	26 x 1.35	
	37-559	26 x 1.40	
28"		26 x 1.50 x 1 3/8	
	40-559	26 x 1.50	
	42-559	26 x 1.60	
	44-559	26 x 1.625	
	44-559	26 x 1.75	
	47-559	26 x 1.75	
		26 x 1.80	
		26 x 1.85	
		26 x 1.90	
	50-559	26 x 2.00	
29"		26 x 1.90	
		26 x 1.95	
	54-559	26 x 2.10	
		26 x 1.95	
		26 x 2.125	
	57-559	26 x 2.25	
		26 x 2.125	
		26 x 2.20	
	60-559	26 x 2.35	
	62-559	26 x 2.40	
30"		26 x 2.50	
	64-559	26 x 2.50	
	65-559	26 x 2.60	
	70-559	26 x 2.75	
	75-559	26 x 3.00	
	95-559	26 x 3.70	
		26 x 3.80	
	100-559	26 x 4.00	
	115-559	26 x 4.50	
	120-559	26 x 4.80	
32"	20-571	26 x 3/4	
	23-571	26 x 3/8	650 x 23C
	40-571	26 x 1 1/2 CS	650 x 38C
		26 x 1 3/8 x 1 1/2 NL	
	47-571	26 x 1 1/2	650 x 45C
		650 CS Confort	
	54-571	26 x 2 x 1 1/2	650 x 50C
	20-590	26 x 1/4	650 x 20A
	25-590	26 x 1.00	650 x 25A
	28-590	26 x 1 3/8 x 1 1/8	650 x 28A
34"	32-590	26 x 1 3/8 x 1 1/2	650 x 32A
	37-590	26 x 1 3/8	650 x 35A
	40-590	26 x 1.50	650 x 38A
		26 x 1 3/8 x 1 1/2	
	42-590	26 x 1.56	650 x 40A
	32-597	26 x 1 1/4	

	ETRTO	Pouces	Indication Française	
27"	40-609	27 x 1 1/2		
	20-630	27 x 1/2		
	23-630	27 x 2/8		
	25-630	27 x 1.00		
		27 x 1 1/16		
	28-630	27 x 1 1/8		
	32-630	27 x 1 1/4		
	35-630	27 x 1 3/8		
	27.5"	28-584	26 x 1 1/8 x 1 1/2	650 x 288
		32-584		650 x 328
35-584		27 1/2 x 1.35	650B	
		26 x 1 3/8 x 1 1/2	650 x 358	
37-584		27 1/2 x 1.40	650B	
		26 x 1 1/2 x 1 3/8	650 x 358	
		650 Standard		
40-584		27 1/2 x 1.50	650B	
		26 x 1 5/8 x 1 1/2	650 x 388	
44-584		27 1/2 x 1.65	650B	
28"		26 x 1 5/8 x 1 3/4	650B Semi-Confort	
			650B 1/2 Ballon	
	47-584	27 1/2 x 1.75	650B	
	50-584	27 1/2 x 2.00	650B	
	54-584	27 1/2 x 2.10	650B	
		26 x 1 1/2 x 2		
	57-584	27 1/2 x 2.25	650B	
	60-584	27 1/2 x 2.35	650B	
	62-584	27 1/2 x 2.40	650B	
	64-584	27 1/2 x 2.50	650B	
28"	65-584	27 1/2 x 2.60	650B	
	70-584	27 1/2 x 2.75	650B	
	74-584	27 1/2 x 2.90	650B	
	75-584	27 1/2 x 3.00	650B	
	18-622	28 x 1/4	700 x 18C	
	19-622		700 x 19C	
			700 x 19	
	20-622	28 x 1/2	700 x 20C	
	22-622	28 x 2/8	700 x 22C	
			700 x 22	
23-622	28 x 0.90	700 x 23C		
28"		28 x 2/8		
	24-622		700 x 24C	
	25-622	28 x 1.00	700 x 25C	
		28 x 1 1/16		
	26-622		700 x 26C	
	28-622	28 x 1.10	700 x 28C	
		28 x 1 5/8 x 1 1/8		
	30-622	28 x 1.20	700 x 30C	
	32-622	28 x 1.25	700 x 32C	
		28 x 1 5/8 x 1 1/4		
33-622	28 x 1.30	700 x 33C		
35-622	28 x 1.35	700 x 35C		
37-622	28 x 1.40	700 x 35C		
28"		28 x 1 5/8 x 1 3/8		
	40-622	28 x 1.50	700 x 38C	
		28 x 1 5/8 x 1 1/2		
	42-622	28 x 1.60	700 x 40C	
	44-622	28 x 1.625	700 x 42C	
	47-622	28 x 1.75	700 x 45C	
	50-622	28 x 2.00		
		29 x 2.00		
		28 x 1.90		
	55-622	28 x 2.15		
	29 x 2.15			
60-622	28 x 2.35			
	29 x 2.35			
32-635	28 x 1 1/2 x 1 1/8	770 x 288		
		700 x 288		
		700B Course		
40-635	28 x 1 1/2	700 x 388		
	28 x 1 1/2 x 1 5/8	700B Standard		
44-635	28 x 1 5/8 x 1 1/2	700 x 428		
28-642	28 x 1 5/8 x 1 1/2	700 x 28A		
37-642	28 x 1 3/8	700 x 35A		
29"	50-622	29 x 2.00		
		28 x 2.00		
	54-622	29 x 2.10		
		28 x 2.10		
	55-622	29 x 2.15		
		28 x 2.15		
	57-622	29 x 2.25		
	60-622	29 x 2.35		
		28 x 2.35		
	75-622	29 x 3.00		

Figura 70- Normas ETRTO [124]

En gravel se utilizan dos configuraciones de conjuntos llanta-neumático. Ambas tienen circunferencias de rodadura muy similares, sin embargo, se utilizan para propósitos en función del tipo de terreno [125].

En primer lugar, se encuentran las llantas de 700C que tienen un diámetro de 622 mm y están asociadas a neumáticos con un balón que oscila entre los 37 y los 47 mm, siendo los 42 mm la medida más utilizada. Las bicicletas con esta configuración están enfocadas a pistas de tierra en buen estado, por lo que son más rodadoras, rápidas y estables debido a que van infladas a una mayor presión y su banda de rodadura es más pequeña.

En segunda instancia se encuentran las llantas denominadas 650B, menos usuales, pero también muy utilizadas. Su diámetro consta de 584 mm y se combina con neumáticos de 1,5 a 2,1 pulgadas equivalentes a balones de 38 a 54 mm. Su menor tamaño proporciona una mayor aceleración y manejabilidad, lo hace que la bicicleta sea mucho más ágil y se oriente hacia terrenos más técnicos y exigentes [126].



Figura 71 - Comparación de ruedas: 700C (izq.) y 650B (der.) [127]

El tamaño de rueda afecta al dimensionamiento del cuadro ya que puede llegar a variar la longitud de la bicicleta y la altura al suelo. Sin embargo, en multitud de ocasiones las marcas utilizan la misma geometría (figuras 72 y 73) para ambos tipos de rueda variando únicamente el paso de rueda para permitir un neumático de mayor tamaño.

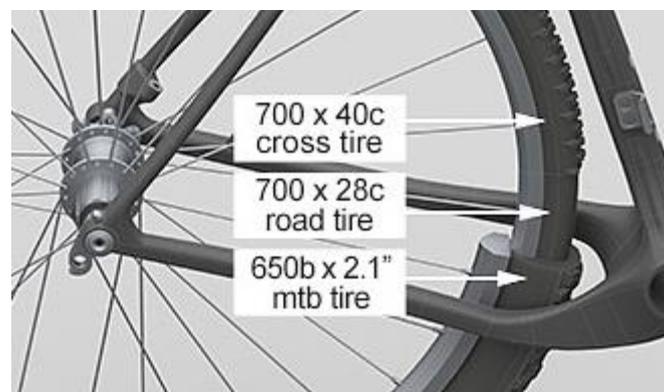


Figura 72- Diferentes tamaños de llanta y balón de neumático [126]

#### 4.3.6. Eje trasero

La caracterización del eje trasero se determina en función de los tres elementos que se colocan sobre esta parte del cuadro: el buje, el cierre y la patilla de cambio. Cada uno de ellos tiene un tipo de estándar específico que será comentado a continuación.

El elemento más importante de los tres es el buje trasero ya que sus dimensiones condicionan las cotas principales de la parte trasera del cuadro. Las bicicletas gravel utilizan un único estándar denominado NoBoost (figura 74) que se caracteriza por tener una distancia entre las caras internas del cuadro de 142 mm y estar preparado para ejes pasantes internos de 12 mm de diámetro [128].

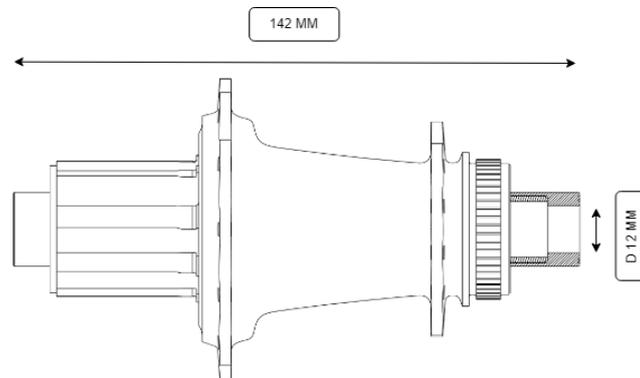


Figura 73- Dimensiones buje NoBoost [elaboración propia]

Junto con el buje, la otra pieza que interviene en el diseño del cuadro es la patilla del cambio. Es un componente que sirve de interfaz entre el propio cuadro y el cambio trasero, y su propósito es ejercer de mártir, partiéndose, cuando por accidente el cambio recibe un golpe. De esta forma se salvaguarda la integridad del cuadro y el cambio recibiendo la patilla toda esa energía. Desgraciadamente existen una infinidad de opciones, ya que cada marca concibe en muchas ocasiones su propia patilla para optimizar la integración de ésta en el diseño específico de su cuadro. A continuación, se muestra como ejemplo el catálogo de la marca VAR que muestra esta diversidad (figura 74) [129].



Figura 74- Catálogo de patillas de cambio del fabricante VAR [130]

Sin embargo, el año 2019 el fabricante estadounidense Sram®, uno de los gigantes de la fabricación de componentes de ciclismo presentó la patilla UDH™ (Universal Derailleur

Hanger) mostrada a continuación (figura 76), con el propósito de unificar criterios y simplificar el diseño del eje trasero del cuadro [131].



Figura 75- Patilla de cambio Sram® UDH™ [131]

Por último, el tercer componente que toma partido en el diseño del eje trasero es el propio eje pasante (figura 77). Junto a la dirección o a la caja pedalier es el componente que mayor diversidad de medidas y formatos tiene. Son cuatro los parámetros que caracterizan un cierre pasante de bicicleta: diámetro, longitud, paso de rosca y huella de la cabeza [132]:

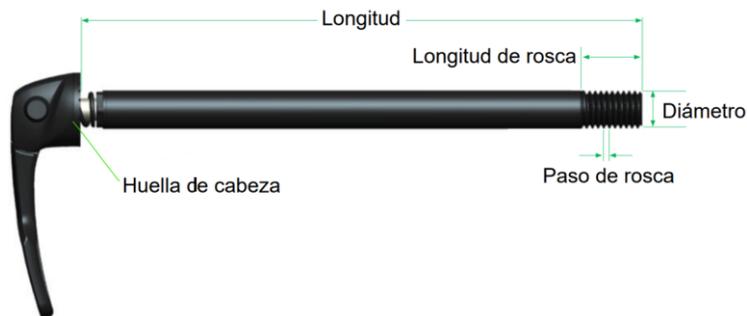


Figura 76- Eje pasante del fabricante estadounidense Sram® [133]

- Diámetro: lo caracteriza el propio estándar del buje. Para un formato *NoBoost* el diámetro del eje pasante es de 12 mm.
- Longitud: depende del propio estándar del buje y del ancho de las punteras del cuadro. Consta de dos segmentos: la propia longitud eficaz del eje que atraviesa todas las partes y la longitud roscada.
- Paso de rosca: existen cuatro pasos de rosca diferentes. Cada uno de ellos ha sido promocionado por diferentes marcas por cuestiones de patentes, pero hoy en día las cuatro medidas son utilizadas indistintamente. Estos son paso 1 mm (rosca fina), paso 1,25 mm (Orbea), paso 1,5 mm (E-THRU) y paso 1,75 (MAXLE).
- Huella de cabeza: de los dos formatos disponibles (figura 78) el más utilizado es el de diseño de cabeza plana. Sin embargo, los ejes de cabeza cónica cada vez tienen mayor relevancia en aquellos cuadros de mayores prestaciones.



Figura 77- Huella de cabeza de ejes pasantes: plana (izq.) y cónica (der.) [134]

A continuación, se muestra el catálogo (figura 79) de ejes pasantes traseros del fabricante italiano Carbon-Ti®, uno de los referentes en el sector y que dispone de uno de los listados más amplios disponibles en el mercado:

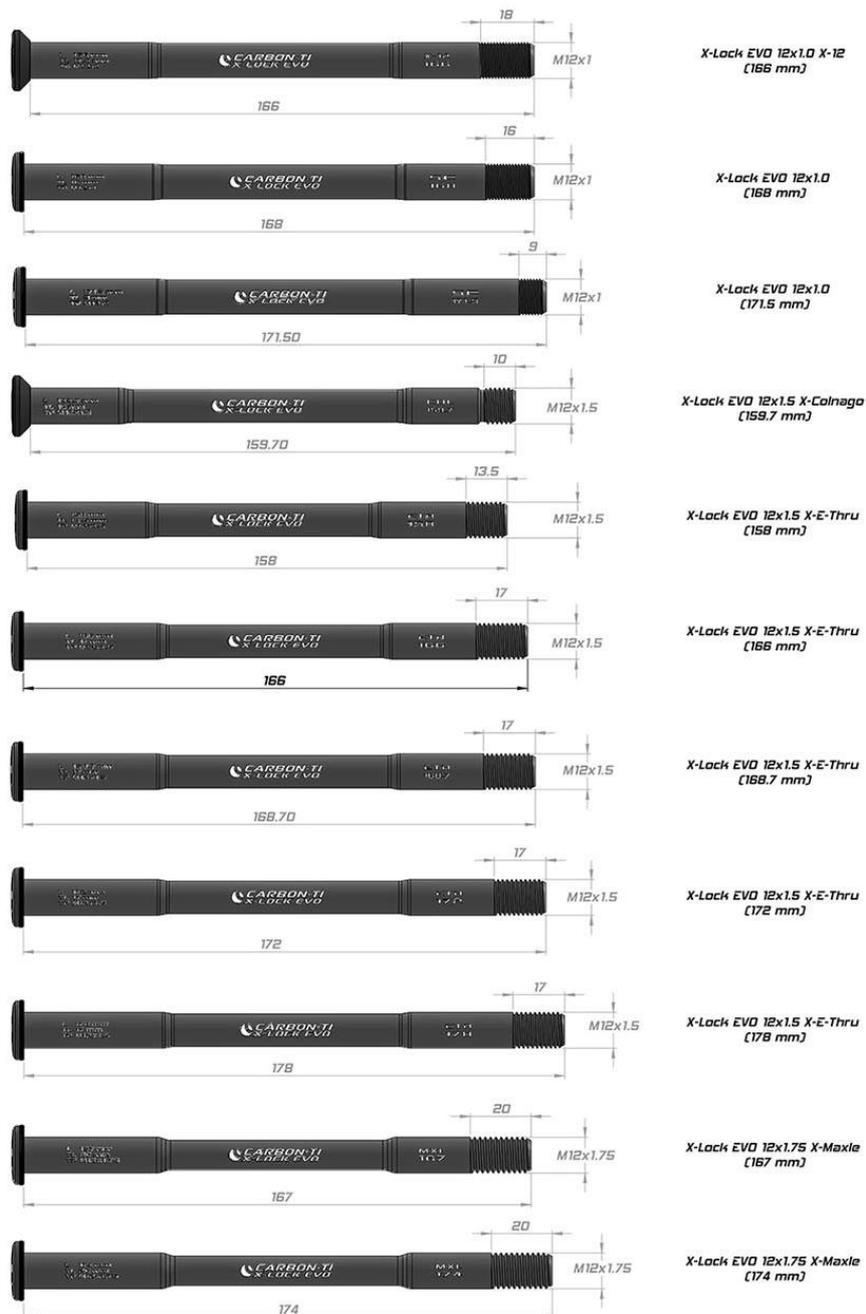


Figura 78- Catálogo de ejes pasantes traseros del fabricante Carbon-Ti [134]

#### 4.3.7. Caja pedalier

Para dimensionar correctamente una caja de pedalier es necesario tener en cuenta tres parámetros que caracterizan esta parte de la bicicleta: la longitud, el diámetro y el standard del eje de las bielas que serán montadas. A pesar de que las dimensiones de las bielas no intervienen directamente en el diseño del pedalier, sí que lo hacen de forma indirecta debido a que condicionan el rodamiento utilizado y por ende, el diámetro.

Un pedalier esta formados por tres elementos: dos piezas extremas donde se alojan los rodamientos y una central llamada guardapolvos que asegura cumplir las dimensiones en cuanto a anchura. Respecto a las características de las cazoletas existen dos tipos de conjuntos que usan todas las bicicletas: pedalier a presión o pedalier roscado (figura 80). Cada tipo de caja pedalier tiene sus pros y contras en cuanto a facilidad de montaje, mantenimiento y coste de fabricación, por lo que queda a elección de las marcas [135].



Figura 79- Comparación de tipos de pedalier: a presión (izq.) y roscado (der.).

Ambos tipos de pedalier deben de cumplir en función de su montaje una premisa dimensional de 86,5 mm de longitud total, que es el utilizado por prácticamente la mayoría de las modelos comerciales [135].

Las cajas sobre las que se instalan pedalieres a presión miden exactamente 86,5 mm debido a que el rodamiento estaría situado de manera interna. Existen dos estándares de pedalieres a presión en función del diámetro: el BB86 con 41 mm y el PF46 con 46 mm (figura 81) [135].

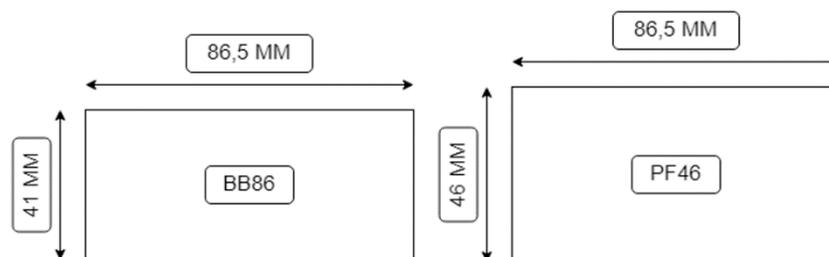


Figura 80- Cajas de pedalier a presión (elaboración propia).

Respecto a las cajas sobre las que se instalan pedalieres roscados pueden tener dos anchos diferentes: 68 mm para pedalieres con rodamientos exteriores y 86,5 mm (figura 82) en el caso de que éstos sean interiores al igual que en los modelos a presión [136],

[137].



Figura 81- Comparación de tipos de pedalier: rodamientos externos (izq.) e internos (der.)

En cuanto al diámetro de la caja pedalier existen dos medidas que utilizan los modelos considerados para el estudio de caracterización del cuadro elaborado en este trabajo: BSA y T47. El BSA utiliza una rosca de 1,37" x 24 T.P.I. (hilos por pulgada) y el T47 una rosca métrica M47 x 1 (figura 83) [135].

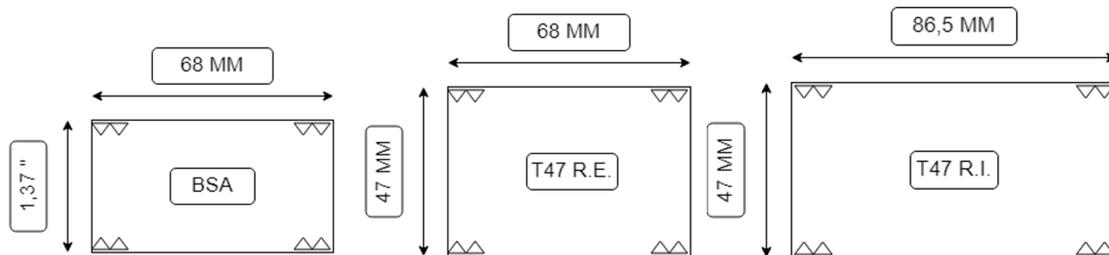


Figura 82- Cajas de pedalier roscadas (elaboración propia).

## 5. DISEÑO DEL CUADRO

El diseño de un cuadro tradicional, como es el caso de las bicicletas gravel debe regirse por una serie de formas, parámetros y dimensiones estandarizados para que sea compatible con el resto de los elementos que conforman la bicicleta.

Para la caracterización del cuadro realizado para este proyecto serán considerados los estándares y geometrías dimensionalmente más polivalentes o usuales en bicicletas gravel. El objetivo es que la configuración de valores escogida permita conseguir que un diseño lo más versátil posible que se adecue a las necesidades del mayor número de potenciales compradores.

### 5.1. Estándares comerciales

En el apartado 4.3 de este documento se han comentado los principales estándares que diseñadores y marcas deben de tener en cuenta para que el cuadro sea compatible con el resto de los elementos que conforman una bicicleta completa. Es posible fabricar un cuadro fuera de las dimensiones normalizadas, pero requeriría de piezas específicas no comerciales que encarecerían el precio final de la bicicleta, algo indeseable.

Como se describió en el capítulo inicial de introducción, este proyecto busca diseñar un cuadro auto-ensamblable lo más polivalente posible buscando que su construcción sea rápida y sencilla. Para ello, de todas las posibles opciones en cuanto a diseño se han escogido los estándares que permiten una mayor compatibilidad a pesar de que puedan ser o no los más representativos de cada parte de la bicicleta.

#### 5.1.1. Dirección

De entre las opciones y medidas presentadas en el apartado 4.3.1 de este documento el tubo recto presenta una facilidad de fabricación respecto al tubo cónico, por lo que resulta ser el diseño escogido.

Se sigue la misma lógica para la selección del tipo de dirección. Se ha seleccionado el tipo dirección semi-integrada que es menos intrusiva en el diseño de la dirección y no requiere de formas ni mecanizados adicionales como sí ocurre con la integrada.

Respecto a las dimensiones de los rodamientos y, por ende, del propio tubo, el de modelo de 52 mm, la mayor dimensión resulta ser el más compatible. Esto es porque se dispone de una gran variedad de adaptadores que permiten multitud de conversiones entre diferentes tamaños y tipos de direcciones y rodamientos.

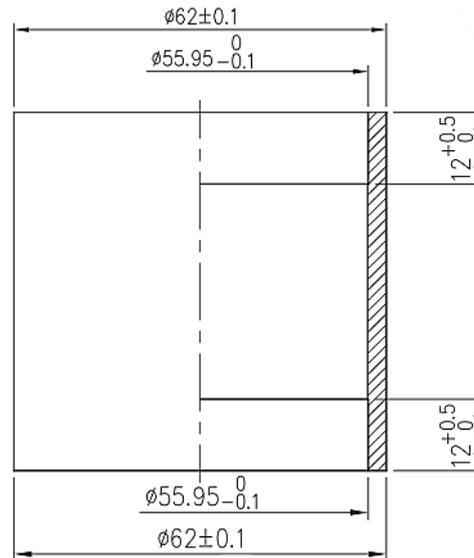


Figura 83- Requerimientos dimensionales del fabricante FSA® para su dirección NO.94-HBS/CR [138]

En la imagen superior, se muestra un modelo de conjunto de dirección del fabricante taiwanés FSA® (figura 84) que especifica las dimensiones y tolerancias que debe de cumplir un tubo de dirección para permitir su instalación y correcto funcionamiento.

### 5.1.2. Tubo de sillín

De las tres medidas disponibles:  $\varnothing 27,2$  mm,  $\varnothing 30,9$  mm y  $\varnothing 31,6$  mm, la de mayor valor resulta ser la que ofrece una mejor compatibilidad. Esto es debido a que existen adaptadores comerciales para reducir el tamaño de la tija en relación con el tubo del sillín desde su diámetro original [139]. A continuación, se muestran todas las medidas de diámetros de tijas que se utilizan en el mercado:

Diámetros de tija disponibles [mm]								
21,15	24	25,8	26,6	27,7	29	30	30,9	31,6
22	25	26	26,8	27,8	29,2	30,2	31	31,8
22,2	25,4	26,2	27	28	29,4	30,4	31,2	32
23,4	25,5	26,4	27,2	28,6	29,6	30,6	31,4	33,9
23,8	25,6	26,5	27,4	28,8	29,8	30,8	31,5	34,9

Figura 84- Medidas de diámetros de tijas disponibles en el mercado [140], [141]

Cualquier medida por debajo de  $\varnothing 31,6$  mm puede ser por tanto utilizada mediante un simple adaptador. Lo que significa 34 de las 42 opciones, un 80%, de modelos de tijas serán compatibles con el diseño del cuadro de este trabajo.

### 5.1.3. Abrazadera del tubo de sillín

El sistema de fijación de la tija más sencillo y que requiere de una menos intrusión en el diseño del cuadro es el de abrazadera simple. Este método no requiere de un alojamiento interno del cuadro, por lo que facilita el proceso y es el escogido.

El estándar de abrazadera que corresponde a una tija de  $\varnothing 31,6$  mm es de  $\varnothing 34,9$  mm exterior. Es necesario al menos una décima de milímetro para poder introducir la pieza sobre el tubo manualmente para posteriormente realizar el apriete de la tija [139]. Si se tiene en cuenta esta afirmación se tiene un espesor de pared de tubo:

$$\text{Espesor de pared} = \frac{\varnothing 34,9 \text{ mm} - \varnothing 31,6 \text{ mm} - 0,1 \text{ mm}}{2} = 1,6 \text{ mm}$$

#### 5.1.4. Pinza de freno

Como se comentó en el capítulo 4.3.4 de este documento, el tipo de soporte de freno plano es el único utilizado por las bicicletas gravel. Por lo que este sistema es el escogido. El fabricante de componentes estadounidense Sram® proporciona las dimensiones y tolerancias que debe de tener dicho soporte para que sea compatible con su gama de productos. Estos valores son los mostrados en la figura 86 a continuación:

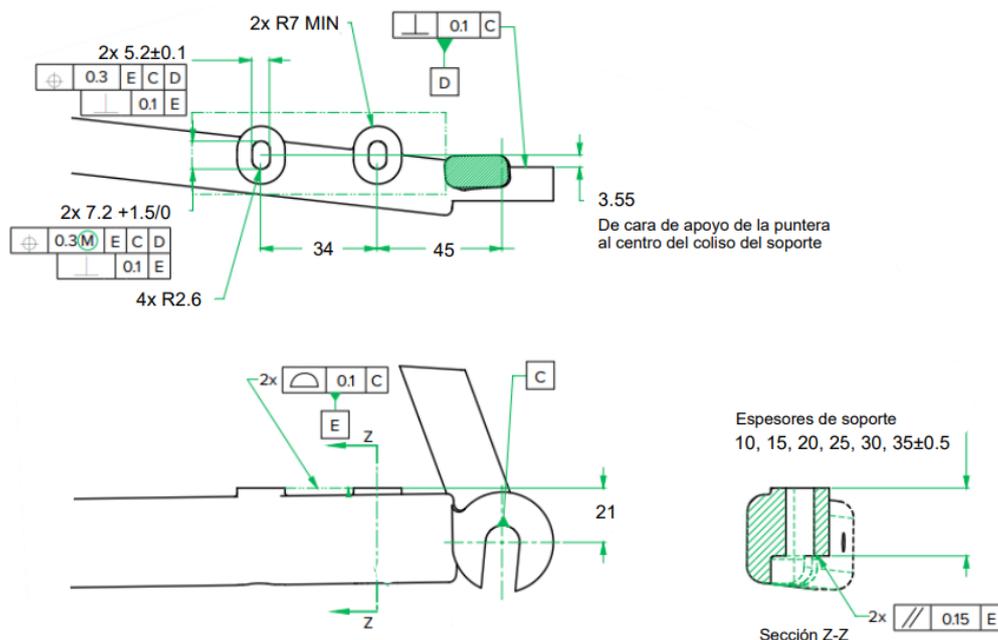


Figura 85- Requerimientos dimensionales del fabricante Sram® para soporte plano de pinza de freno [142]

#### 5.1.5. Tamaño de rueda

Los dos diámetros de ruedas comentados con anterioridad tienen configuraciones de tamaño de balón similares entre sí, pero resulta mucho más usual el formato de 700C respecto a la de 650B. En consecuencia, éste será la rueda escogida para el dimensionamiento del cuadro.

Una llanta 700C se utiliza con neumáticos de máximo 47 mm, por lo que si se caracteriza el cuadro para esta medida puede dar cabida a gran parte del espectro de los neumáticos que utilizan las ruedas de 650B, ya que el abanico de balones que ésta usa oscila entre los 38 y 54 mm.



de una patilla de cambio específica se ha optado por el modelo UDH™ del fabricante Sram®, una patilla que pretende estandarizar esta pieza para todos los fabricantes.

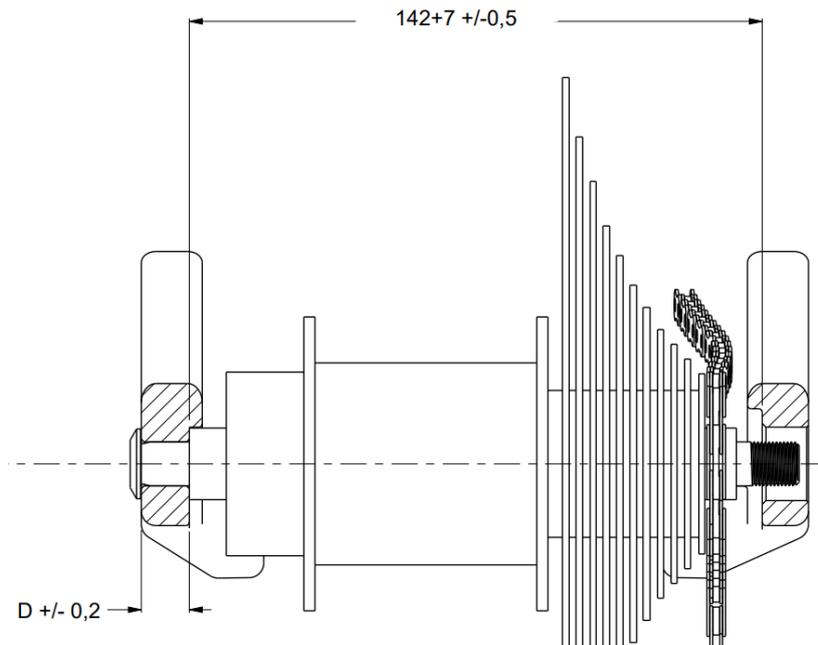


Figura 88- Requerimientos dimensionales del fabricante Sram® para patillas UDH™ [144]

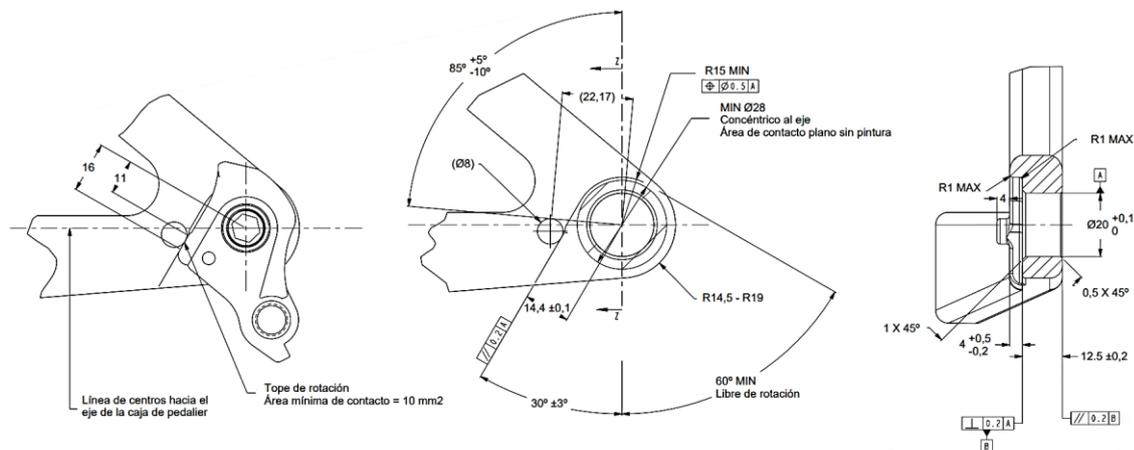


Figura 89. Requerimientos dimensionales del fabricante Sram® para patillas UDH [144]

La patilla UDH™ incorpora en su diseño la rosca para fijar el eje pasante. De los cuatro estándares disponibles se utiliza el paso 1 mm. Por lo tanto, es éste el formato escogido para la caracterización del cuadro. En la figura inferior se muestran las medidas de fabricación que debe de cumplir un eje pasante para ser compatible con una patilla de cambio UDH™ en función de la anchura de las punteras.

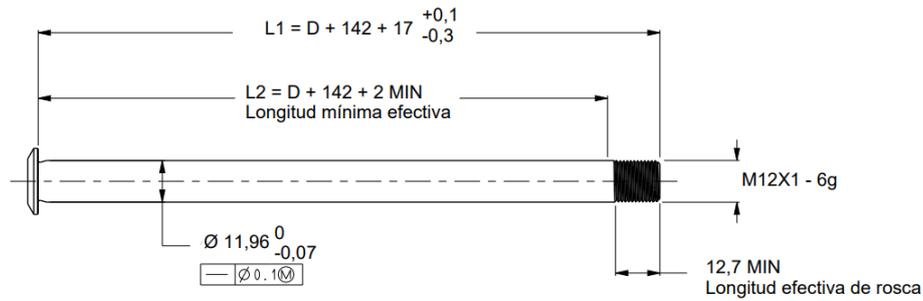


Figura 90- Requerimientos dimensionales del fabricante Sram® para ejes UDH<sup>TH</sup> [144]

### 5.1.7.Caja pedalier

En el apartado 4.3.7 del capítulo previo se indican los dos tipos de pedalieres que dominan el mercado: a presión y roscados. De entre estos dos, resulta más sencillo de fabricar el modelo a presión ya que puede ser elaborado en diferentes materiales y no requiere de insertos metálicos, herramientas específicas ni operaciones adicionales como sí que ocurriría con el pedalier roscado.

Respecto a los dos diámetros disponibles para pedalieres a presión, el de valor 46 mm resulta ser el más compatible debido a que permite el uso de bielas con ejes de mayores dimensiones, por lo que será éste el escogido frente al de 41 mm.

El fabricante de componentes estadounidense Sram® proporciona las características que debe de cumplir una caja de pedalier para ser compatibles con su gama de productos. Estos valores son los mostrados en la figura 92 a continuación:

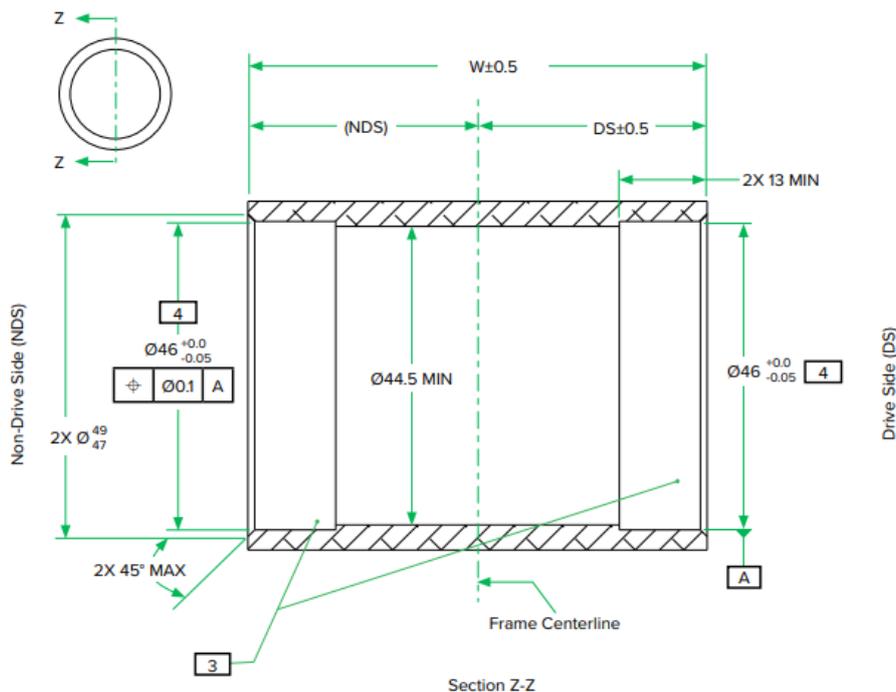


Figura 91- Requerimientos dimensionales del fabricante Sram® para PF46 [142]

Sustituyendo el parámetro W de la figura superior por 86,5 mm que es la anchura específica para pedaliereas a presión se obtienen todas las medidas y tolerancias necesarias para la fabricación.

## 5.2. Geometría del cuadro

El cuadro de cualquier bicicleta sea gravel o de otra modalidad, debe de ajustarse a las medidas biomecánicas del ciclista que va a utilizar esa bicicleta. Por esta razón, los fabricantes deben de disponer de diferentes tallas para adaptarse a las necesidades de cada usuario.

La talla del cuadro es el primer parámetro que tener en consideración a la hora de escoger una bicicleta, ya que un tamaño erróneo puede llegar a provocar lesiones importantes en las articulaciones del ciclista.

Para la caracterización de las tallas los fabricantes de bicicletas utilizan las medidas anatómicas definidas en la normativa UNE-EN ISO 7250-1 “Definiciones de las medidas básicas del cuerpo humano para el diseño tecnológico”[145]. Esta norma determina también la nomenclatura internacional que debe utilizarse para detallar cada talla usando los términos de menor a mayor: XXS, XS, S, M, L, XL, XXL.

Los diseñadores de cada marca utilizan la norma citada anteriormente para adecuar las dimensiones de los triángulos y tubos del cuadro a los parámetros anatómicos que se declaran en la normativa. Sin embargo, de cara al usuario final el tallaje puede acotarse directamente con la altura del ciclista. Por ello, todas las marcas consideradas en el estudio realizado en el apartado 3 de este trabajo proporcionan la información del tallaje en función de la altura recomendada para cada usuario.

Con el objetivo de conocer la información necesaria para la caracterización del diseño de los triángulos que componen la estructura principal del cuadro para este trabajo, se ha realizado un análisis de las tallas y geométricas de todos los modelos de bicicletas considerados en el estudio de mercado realizado en el apartado 3 de este documento. Dicho análisis se muestra manera completa en los anexos.

Se ha realizado una síntesis de las tallas disponibles de cada fabricante agrupando sus modelos. Esta síntesis se muestra en la siguiente tabla y gráfico (figura 93 y 94):

Marca	Talla									Total
	XXXS	XXS	XS	S	M	L	XL	XXL	XXXL	
BMC			1	2	2	2	2			9
Cannondale			2	4	4	4	4			18
Canyon	1	3	3	3	3	3	3	3		22
Merida			3	3	3	3	3			15
Orbea			4	4	4	4	4	2		22
Ribble		4	9	9	9	9	9			49
Scott		1	2	2	2	2	2	1		12
Specialized		1	3	3	3	3	3	3	1	20
Trek			2	2	2	2	2	2		12
Total	1	9	29	32	32	32	32	11	2	179

Figura 92- Tabla resumen de tallas por cada fabricante del estudio de mercado

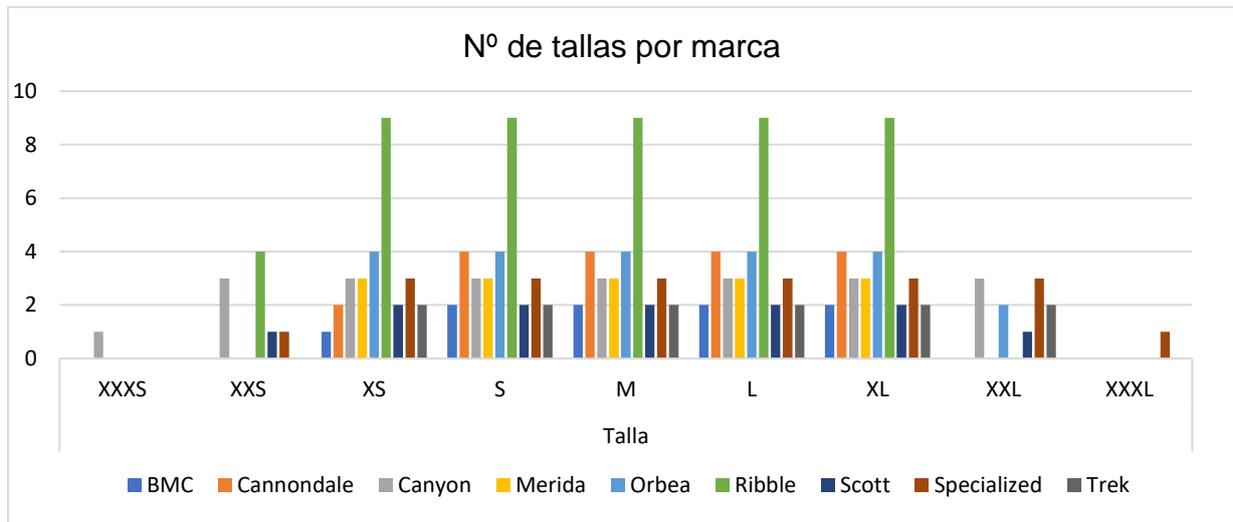


Figura 93- Gráfico de tallas por cada fabricante del estudio de mercado

Puede observarse tanto en la tabla como en el gráfico que el 88% (157 de 179) de las tallas disponibles se agrupan en sólo cinco de nueve tamaños: XS, S, M, L y XL.

El diseño del cuadro para este trabajo tendrá únicamente una talla. Sin embargo, pueden tomarse el resto de los datos obtenidos en el estudio de mercado para desarrollar las dimensiones para el resto de los tamaños en caso de requerirse en algún momento.

Dejando de lado a las grandes marcas de bicicletas con muchos recursos tecnológicos, lo más habitual en el mundo del ciclismo es comenzar el diseño de los cuadros talla M y posteriormente alargar o acortar los diseños para cubrir al resto de tallas [146]. Por esta razón, la talla M es la escogida para el diseño del cuadro para este TFG.

Todas marcas de bicicletas proporcionan junto con cada modelo de bicicleta un intervalo de altura recomendable en el que debe situarse el usuario final con la finalidad de que el comportamiento de la bicicleta sea el adecuado para alguien de esa medida y evitar posibles lesiones por un uso anatómicamente incorrecto. Por esto mismo se han obtenido

del análisis de tallas y geométricas los siguientes datos (figura 95) asociados a la altura de cada uno de los 32 modelos de bicicleta considerados en el estudio de mercado.

Marca	Modelo	Altura recomendable [cm]		Intervalo [cm]
		Mínima	Máxima	
BMC	URS	172	180	8
BMC	URS AI	170	182	12
Cannondale	Topstone Carbon	170	185	15
Cannondale	Topstone	170	185	15
Cannondale	Neo Carbon	170	185	15
Cannondale	Topstone Neo SL	170	185	15
Canyon	Grizl CF SLX/SL	178	184	6
Canyon	Grizl AI	178	184	6
Canyon	Grail AI	178	184	6
Merida	Silex 1000 Series	173	180	7
Merida	Silex 100 Series	173	180	7
Merida	eSilex+ Series	173	180	7
Orbea	Gain Carbono	170	180	10
Orbea	Gain Aluminio	170	180	10
Orbea	Terra Carbono	173	179	6
Orbea	Terra Aluminio	173	179	6
Ribble	CGR 727	175	180	5
Ribble	CGR Ti	175	180	5
Ribble	CGR SL	175	180	5
Ribble	CGR AI E	175	180	5
Ribble	CGR AI E	175	180	5
Ribble	Gravel Ti	173	178	5
Ribble	Gravel SL	175	180	5
Ribble	Gravel AI	173	178	5
Ribble	Gravel AI E	173	178	5
Scott	Addict Gravel	170	179	9
Scott	Speedster Gravel	170	179	9
Specialized	Diverge	170	178	8
Specialized	Diverge E5	170	178	8
Specialized	Creo SL	170	178	8
Trek	Checkpoint SLR/SL	168	174	6
Trek	Checkpoint ALR	168	174	6

Figura 94- Tabla de alturas recomendables por modelo para la talla M de cada fabricante

Examinando los datos de la tabla superior se pueden obtener los datos de la siguiente tabla, donde los valores de altura promedio para una talla M son 172 cm como mínimo y 180 como máximo. Estos valores serán los utilizados para determinar la altura de usuario recomendable y realizar el diseño del cuadro.

Valor	Altura recomendable [cm]		Intervalo [cm]
	Mínima	Máxima	
	172	180	

Mínimo	<b>168</b>	174	-
Máximo	178	<b>184</b>	-
Promedio	172	180	8

Figura 95- Resultados análisis de alturas recomendables

La mayoría de los usuarios de bicicletas en la actualidad son hombres y según el portal digital Datos Mundiales [147] la altura promedio de los varones en España es de 1,76 m. Este valor se encuentra justo en la media del intervalo que se ha considerado previamente. De esta forma, se puede asegurar que la caracterización del cuadro se hace de acuerdo con la mayoría de posibles usuarios.

La figura 97 aglutina sobre el mismo esquema todos los parámetros dimensionales necesarios para definir las geometrías principales de un cuadro gravel.

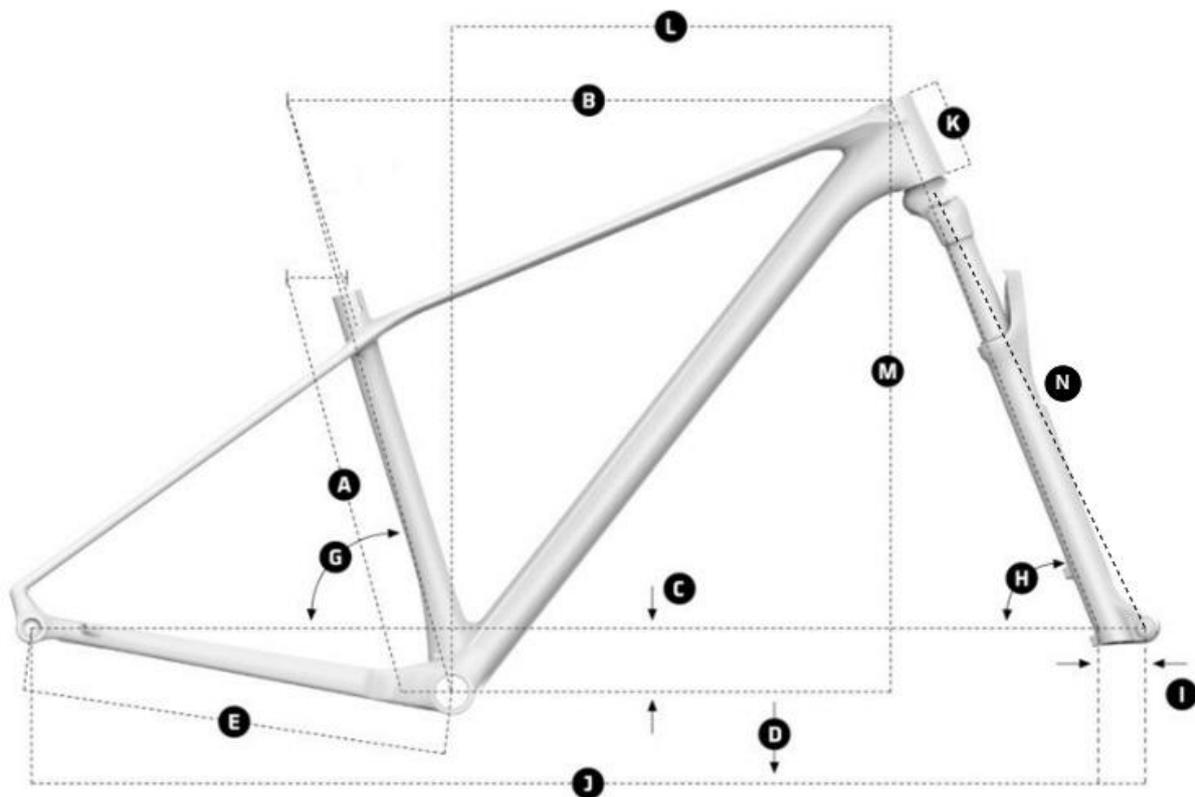


Figura 96- Parámetros dimensionales de un cuadro de bicicleta [148]

El único parámetro no representado en la figura 96 es el Trail ya que su valor no es fijo al diseño del cuadro, si no que depende del tamaño del neumático utilizado en el montaje.

Las siguientes dos tablas (figura 98 y 99) muestran las dimensiones correspondientes a la talla M de cada marca y modelo. Todos los valores se proporcionan en milímetros excepto los parámetros G y H que lo hacen en grados al ser medidas angulares.

Marca	Modelo	A	B	C	D	E	G	H
BMC	URS	459	578	69	-	425	74	70
BMC	URS Al	475	576	69	-	430	74	70
Cannondale	Topstone Carbon	505	557	67	285	420	73,1	71,2
Cannondale	Topstone	505	557	75	284	435	73,1	71
Cannondale	Neo Carbon	440	552	61	292	420	74	71
Cannondale	Topstone Neo SL	505	542	75	284	455	73	71
Canyon	Grizl CF SLX/SL	522	574	75	-	435	73,5	72,25
Canyon	Grizl Al	522	574	75	-	435	73,5	71,5
Canyon	Grail Al	522	577	75	-	430	73,5	72,25
Merida	Silex 1000 Series	500	580	75	-	430	74	71
Merida	Silex 100 Series	500	579	75	-	430	74	71
Merida	eSilex+ Series	510	555	70	-	431	75	70,5
Orbea	Gain Carbono	515	547	74	267	420	74,5	72
Orbea	Gain Aluminio	515	547	74	267	420	74,5	72
Orbea	Terra Carbono	471	558	78	278	420	73,5	71
Orbea	Terra Aluminio	491	558	78	278	420	73,5	71
Ribble	CGR 727	530	555,5	69	-	435	73,5	72
Ribble	CGR Ti	555	555	-	-	425	73	72
Ribble	CGR SL	500	550	69	-	435	73,5	71,5
Ribble	CGR Al E	530	555	69	-	435	73,5	71,5
Ribble	CGR Al E	530	555	69	-	435	73,5	71,5
Ribble	Gravel Ti	500	570	65	-	435	73,5	71,5
Ribble	Gravel SL	500	555	69	-	435	73,5	71,5
Ribble	Gravel Al	500	570	65	-	435	73,5	71,5
Ribble	Gravel Al E	500	570	65	-	435	73,5	71,5
Scott	Addict Gravel	528	554,5	71	283	425	73,5	71
Scott	Speedster Gravel	540	556,5	71	283	439	73	71
Specialized	Diverge	470	558	80	270	425	73,5	71,25
Specialized	Diverge E5	470	573	80	270	432	73,5	71,25
Specialized	Creo SL	477,5	548	78	267	426	74	72,5
Trek	Checkpoint SLR/SL	540	570	76	-	435	73,2	71,8
Trek	Checkpoint ALR	540	570	76	-	435	73,2	71,8

Figura 97- Parámetros dimensionales de tallas M por marca y modelo 1

Marca	Modelo	I	J	K	L	M	N
BMC	URS	45	1064	146	415	569	407
BMC	URS Al	45	1068	150	410	580	410
Cannondale	Topstone Carbon	55	1029	150	383	574	-
Cannondale	Topstone	55	1045	147	385	579	-
Cannondale	Neo Carbon	55	1038	158	387	575	-
Cannondale	Topstone Neo SL	55	1965	150	386	577	-
Canyon	Grizl CF SLX/SL	-	1037	138	402	579	-
Canyon	Grizl Al	-	1045	141	402	579	-
Canyon	Grail Al	-	1035	143	405	579	-
Merida	Silex 1000 Series	-	1061	200	400	626	398

Merida	Silex 100 Series	-	1060	200	400	625	397
Merida	eSilex+ Series	-	1055	175	395	597	400
Orbea	Gain Carbono	50	1021,5	131	388	757	400
Orbea	Gain Aluminio	50	1017	146	388	757	400
Orbea	Terra Carbono		1029	152	389	570	390
Orbea	Terra Aluminio		1039	152	389	570	390
Ribble	CGR 727	50	1026,8	160	385	573,8	-
Ribble	CGR Ti	-	1031,8	170	380	589	-
Ribble	CGR SL	-	1925	155	379	561	-
Ribble	CGR Al E	-	1036,8	170	380	589	-
Ribble	CGR Al E	-	1036,8	170	380	589	-
Ribble	Gravel Ti	50	1052	150	397	584	
Ribble	Gravel SL	50	1025	155	379	561	
Ribble	Gravel Al	50	1052	150	397	584	
Ribble	Gravel Al E	50	1052	150	397	584	
Scott	Addict Gravel		1029,2	140	387,1	565,3	
Scott	Speedster Gravel		1044,9	143	387	570	
Specialized	Diverge	55	1032	116	383	592	389
Specialized	Diverge E5	55	1035	155	383	578	390
Specialized	Creo SL	50	1012	163,5	379	592	390
Trek	Checkpoint SLR/SL	45	1041	125	403	571	-
Trek	Checkpoint ALR	45	1041	125	403	571	-

Figura 98 - Parámetros dimensionales de tallas M por marca y modelo 2

De todos los datos expuestos en las dos tablas superiores se obtienen los valores mostrados a continuación (figura 100) en el que se han calculado los promedios para cada uno de los parámetros.

	Parámetro	Promedio
A	Altura del tubo del sillín	509,7 mm
B	Longitud efectiva del tubo horizontal	562,4 mm
C	Caída del eje pedalier	72,3 mm
D	Altura del eje pedalier	277,9 mm
E	Longitud de las vainas	432 mm
G	Ángulo del tubo del sillín	73,6°
H	Ángulo del tubo de la dirección	71,3°
I	Offset	50 mm
J	Longitud entre ejes	1041,4 mm
K	Altura del tubo de la dirección	153,1 mm
L	Reach	392,2 mm
M	Stack	580,1 mm
N	Longitud de la horquilla	397 ,5 mm

Figura 99- Valores promedio para cada parámetro dimensional según la talla M

Sin embargo, estos valores no pueden ser usados para caracterizar directamente el cuadro ya que hay medidas que son la suma del efecto de otras distintas y no coinciden en la práctica. Por esta razón es necesario obtener unos valores realistas basados y lo

más cercanos a los teóricos expuestos en la tabla de la figura 101 pero dimensionalmente posibles. Con el fin de facilitar esta tarea y utilizando el informe sobre geometría de Maillot Magazine [149], el conjunto de parámetros será dividido en cinco clases diferentes, del 1 al 5, en función de su repercusión sobre el comportamiento de la bicicleta.

- Clase 1: Son aquellos de mayor importancia para el diseño del cuadro. Son el ángulo del tubo del sillín, relacionado con el centro de gravedad del conjunto bicicleta/ciclista; ángulo del tubo de la dirección, asociado a la estabilidad y agilidad; y reach y stack como parámetros virtuales que magnifican el tamaño del cuadro. Estos cuatro parámetros se mantendrán fijos en el diseño final.

Clase	Parámetro		Promedio
1	G	Ángulo del tubo del sillín	73,6°
	H	Ángulo del tubo de la dirección	71,3°
	L	Reach	392,2 mm
	M	Stack	580,1 mm

Figura 100- Parámetros dimensionales principales

- Clase 2: el offset o avance y la longitud de la horquilla no dependen del propio diseño del cuadro, pero intervienen en él. Estos parámetros no se pueden modificar, sino que es necesario adecuarse a una configuración comercial, por ello se han tomado de referencia la horquilla Kol del fabricante BC [150]. Sus dimensiones se muestran en la siguiente tabla:

Clase	Parámetro		Final
2	I	Offset	50
	N	Longitud de la horquilla	398

Figura 101- Parámetros dimensionales de la horquilla (clase 2)

- Clase 3: los parámetros secundarios que son la caída del eje pedalier y la longitud de las vainas son los aquellos (como variables independientes) que restan por concretar para cerrar el diseño del cuadro, por ello se conservan respecto a los valores ideales.

Clase	Parámetro		Promedio
3	C	Caída del eje pedalier	72,3 mm
	E	Longitud de las vainas	432 mm

Figura 102- Parámetros dimensionales secundarios (clase 3)

- Clase 4: los siguientes parámetros son consecuencia de la combinación de todos los anteriores y, por lo tanto, dependientes de ellos. La tabla mostrada a continuación (figura 104) refleja los valores finales obtenidos.

Clase	Parámetro		Final
4	B	Longitud efectiva del tubo horizontal	563,1 mm
	K	Altura del tubo de la dirección	156.8 mm

	J	Longitud entre ejes	1039,5 mm
--	---	---------------------	-----------

Figura 103- Parámetros dimensionales dependientes (clase 4)

- Clase 5: Son los dos parámetros de menos importancia. No intervienen en el diseño del cuadro, pero sí que lo hacen en el comportamiento de la bicicleta. La altura del tubo del sillín es una medida puramente estética que es utilizada para calcular la longitud de la tija del sillín; la altura del eje pedalier depende directamente del tamaño del balón del neumático colocado en la bicicleta, por lo que puede variar con cada modelo de este que el ciclista decida instalar. En cualquier caso, se han obtenido los valores mostrados en la tabla inferior como referencia:

Clase		Parámetro	Promedio
5	A	Altura del tubo del sillín	509,7 mm
	D	Altura del eje pedalier	277,9 mm

Figura 104- Parámetros dimensionales indirectos (clase 5)

Junto con las medidas estandarizadas dispuestas en el apartado 5.1. se tienen todos los valores necesarios para la parametrización y comenzar la fase de diseño. Las medidas finales se exponen a modo de síntesis en la figura 106 visible a continuación:

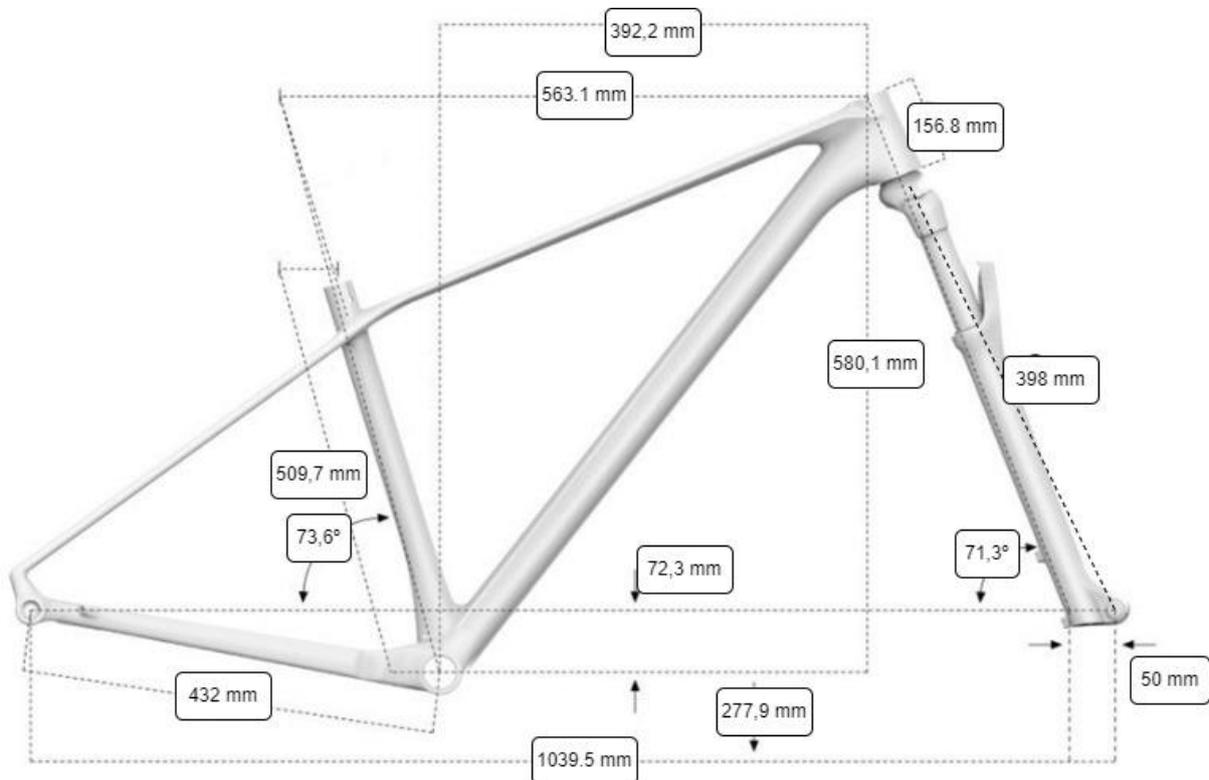


Figura 105- Dimensiones geométricas del cuadro final

## 6. FABRICACIÓN

En este apartado se busca mostrar y detallar las diferentes tecnologías y técnicas de fabricación que utiliza la industria del ciclismo en la actualidad para la construcción de los cuadros de bicicleta. Posteriormente, considerando cada proceso y los materiales que intervienen en él se procederá a seleccionar el considerado mejor para la elaboración del cuadro.

### 6.1. Técnicas de fabricación

La industria del ciclismo, como cualquier otra, utiliza diversas tecnologías de fabricación que dependen del material de construcción utilizado para la elaboración del cuadro. Sin embargo, son cinco las técnicas de construcción que predominan en la actualidad:

#### 6.1.1. Laminado

Casi la totalidad de los cuadros fabricados con fibra de carbono utilizan este sistema de fabricación. Se basa en colocar laminas tejidas con fibras de carbono preimpregnadas con resina epoxi superpuestas entre si sobre un molde, que posteriormente se introducen en hornos autoclave a alta temperatura y presión para realizar el curado de la resina y endurecer la estructura del cuadro. Existen dos procesos diferentes en función del molde utilizado: cerrado o abierto (figura 107). Sin embargo, para la fabricación de cuadros que requieren de esta tecnología es necesaria una industria potente con factorías, personal y maquinaria especializada [151].



Figura 106- Tipos de molde para la fabricación de cuadros de carbono: cerrado (Izq.) y abierto (der.).

#### 6.1.2. Soldadura TIG

Es el proceso de fabricación más extendido en la industria del ciclismo. Se utiliza la soldadura TIG, *Tungsten Inert Gas* por sus siglas en inglés, como mecanismo de unión de todas las partes y tubos de las que consta el cuadro.

La soldadura TIG es un tipo de soldadura que consiste en generar un arco eléctrico utilizando un electrodo de tungsteno dentro de una atmosfera de gas inerte, principalmente argón, para evitar la oxidación de las partes (figura 108) [152].

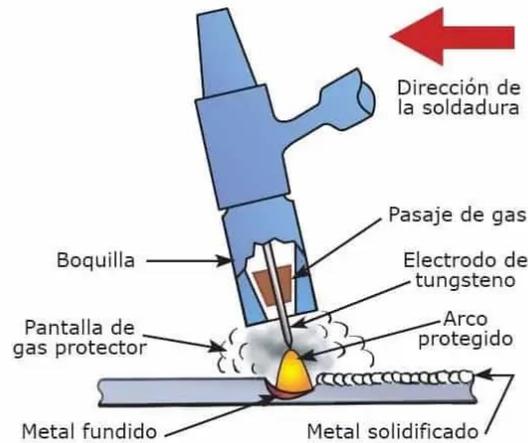


Figura 107: Soldadura tipo TIG.

El arco eléctrico se crea entre el electrodo de tungsteno de la antorcha (negativo) y la masa (positivo). Las altas temperaturas que se alcanzan alrededor de dicho arco hacen que el material del cuadro se funda realizando la unión de las partes sin necesidad de material de aporte generando cordones uniformes de alta calidad.



Figura 108- Soldadura TIG en cuadro de titanio [153]

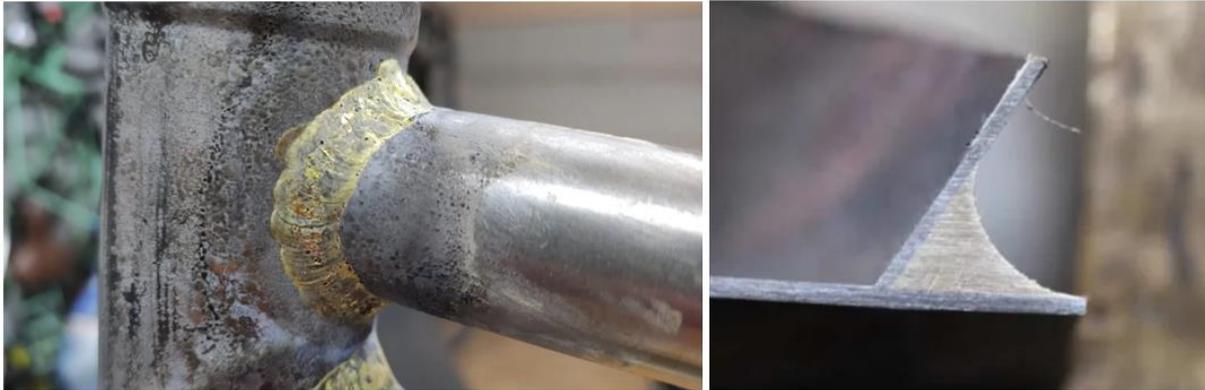
De todos los materiales metálicos expuestos en el apartado cuatro, la soldadura TIG puede ser utilizada para soldar los aluminios de la serie 6000, aceros y titanios; en cada caso ajustando el voltaje y punto de fusión aplicados a las características de cada metal. Además, como no hay material de aporte no se modifica la composición química del metal base por lo que se evitan posibles puntos débiles en la estructura del cuadro.

### 6.1.3. Soldadura fuerte

La soldadura fuerte fue la primera técnica utilizada por la industria del ciclismo para la unión de los tubos y elaboración de los primigenios cuadros de acero. Sin embargo, en la actualidad también se utiliza para la fabricación de cuadros con aluminios de la serie 7000 debido a la dificultad de estos para fundirse.

Es un tipo de soldadura donde los extremos de los tubos del cuadro no se funden, sino que la unión de éstas se realiza mediante la aplicación de un metal de aporte. Dicho metal debe tener una temperatura de fusión inferior a la del metal base para no modificar su

estructura química. El material de aporte, al licuarse, penetra en el espacio que dejan las dos piezas a soldar distribuyéndose uniformemente (figura 110). Una vez solidifica crea una unión por atracción capilar entre ambas piezas. Eligiendo adecuadamente el material de aporte se pueden crear uniones incluso más resistentes que el propio metal base [154].



*Figura 109- Ejemplo y resultado de soldadura fuerte[155]*

Las principales ventajas son dos: la primera, es que se trata de un proceso sencillo ya que solo requiere de un soplete que utilice oxígeno y acetileno como elementos de combustión, y de una varilla de aporte de material fundente para realizar la unión. La segunda y más importante, es que este tipo de soldadura permite practicar uniones resistentes sobre metales disímiles donde composiciones y estructuras químicas puedan ser completamente distintas, e incluso sobre aleaciones de compleja soldadura de fusión como la del aluminio 7075 [156].

#### **6.1.4.Devanado**

El devanado es un proceso que se relaciona con el bobinado del estator de los motores eléctricos. Sin embargo, varias marcas europeas de alto perfil tecnológico han conseguido extrapolar esos conocimientos a la fabricación de cuadros de carbono.

A diferencia del laminado donde las fibras de carbono se impregnan de resina antes de ser tejidas para posteriormente ser cortadas, en el proceso de devanado se tejen los filamentos secos sobre un núcleo con una forma concreta (figura 111). Después, se cortan a la medida deseada y se montan sobre un molde positivo utilizando muy poca cantidad de resina para introducirlos finalmente en el horno autoclave para realizar el curado de ésta.

La fabricación por devanado requiere de personal y maquinaria especializada, mas incluso que el laminado, ya que se trata de una tecnología muy puntera y que hoy en día no es común. Sin embargo, es un proceso de fabricación más eficiente y que genera menos residuos que el laminado por lo que muchas marcas están transformando sus factorías para utilizar esta tecnología.



Figura 110- Proceso de devanado [157]

Una vez generadas todos los tubos que componen la estructura del cuadro se adaptan sus extremos a la forma definitiva dentro de un molde para ser introducidos posteriormente en un horno autoclave para realizar el curado del cuadro.

Este tipo de tecnología requiere de una mayor inversión tecnológica y queda relegada a la fabricación de cuadros de alta gama y por ello su fabricación se realiza en Europa, al contrario que el molde, que lo hace completamente en Asia [158].

### 6.1.5. Racores

Es un método de construcción muy utilizado en la fabricación de bicicletas desde sus inicios pero que cayó en desuso con la aparición de los cuadros fabricados con soldadura TIG o molde.

Actualmente está volviendo a tener relevancia debido a que pueden conseguirse una gran diversidad de geometrías para adaptar el cuadro a las necesidades del ciclista. Además, es la única técnica de fabricación que permite que el cuadro pueda ser elaborado con diferentes materiales, algo inviable con otros procesos.

La estructura de un cuadro elaborado con racores tiene dos componentes principales: los racores y las tuberías. Se denominan rácores a todas aquellas piezas, normalmente metálicas, que ejercen la función de enlace entre todos los tubos o perfiles que componen un cuadro [159]. Un ejemplo de ello se muestra en la figura 112 donde puede apreciarse un modelo de bicicleta que mezcla tubos de fibra de carbono y racores de acero inoxidable.



*Figura 111: Ejemplo de bicicleta construida con racores[160].*

Si los racores son de metal, las tecnologías disponibles en la actualidad con las que pueden elaborarse son: *inyección a presión*, mecanizado, soldadura, o la más interesante: fabricación aditiva por fusión de polvo metálico. Cada una de ellas tiene propiedades particulares con sus ventajas e inconvenientes. Sin embargo, independientemente de la tecnología el diseño de los racores puede ser modificado para adaptarse a cualquier necesidad.



*Figura 112- Muestra de racores elaborados por fabricación aditiva de titanio [161]*

La unión entre racor y tubo depende del material de ambas partes. Cuando se trata de materiales metálicos de características similares puede utilizarse soldadura fuerte para realizar su unión. Sin embargo, los avances que se han producido en los últimos tiempos en adhesivos de alta calidad que permiten la fijación de prácticamente cualquier material de una forma segura y consistente.

La polivalencia que ofrece la fabricación de cuadros por racores respecto a la personalización de la geometría en un sentido y la posibilidad de combinar diferentes materiales en tubos y racores en otro, unido a que es un concepto de fabricación que permite que el cuadro pueda ser montado en su destino final aduce que éste sea el proceso de fabricación escogido para el diseño del cuadro concebido para este TFG.

## 6.2. Materiales

El estudio de mercado realizado en el apartado cuatro de este documento muestra que el material más utilizado en la fabricación de bicicletas es el aluminio 6061. Este aluminio, con el magnesio y el silicio como aleantes primarios, posee una muy buena resistencia mecánica, es ligero, tiene una óptima resistencia a la corrosión y uno de los mejores procesos de oxidación anódica existentes. En definitiva, es un material mecánicamente muy equilibrado y versátil [162].

Las características mecánicas no son las únicas virtudes consideradas para la elección del aluminio como elemento de construcción, sino que, además puede ser fácilmente reparado en cualquier parte del mundo ya sea mediante soldadura fuerte o TIG.

El aluminio es uno de los materiales con mayor tasa de reciclabilidad en el mundo debido en gran parte a que es un metal que no modifica sus propiedades durante el proceso de reciclado pudiendo utilizarse tantas veces como sean necesarias.

Sobre el método de construcción, como se ha comentado en el apartado anterior, se ha escogido el método de racores para la concepción del cuadro de este TFG. Es necesario, por tanto, distinguir el tipo de fabricación de cada elemento del cuadro.

Los tubos de aluminio necesarios para la elaboración del cuadro son redondos y sin costura, por lo que pueden obtenerse de un proveedor directamente de la longitud, diámetro y espesor que sea necesario. Los únicos procesos que pueden requerir los tubos luego de su recepción son el mandrinado interno de los extremos para asegurar el ajuste dimensional y lijado para corregir defectos estéticos, procesos que fácilmente se pueden realizar en un taller sin una formación específica.

En el caso de ser necesario, el mecanizado del aluminio 6061 es muy bueno comparado con el de otras aleaciones y materiales ya que al tratarse de una aleación relativamente dura hace que el desprendimiento de viruta sea adecuado, por lo que no son necesarias herramientas ni personal demasiado especializados.

Para la fabricación de los racores se van a utilizar también tubos sin costura de diferentes dimensiones unidos mediante soldadura TIG para acoger los tubos principales del cuadro que igualmente sufrirán los mismos procesos de mecanizado para corregir dimensiones y posterior lijado.

El sistema de fijación entre los tubos y racores que comprenden el conjunto de elementos del cuadro escogido es el adhesivo bicomponente que produce una soldadura química entre las partes. Es un proceso mucho más barato que el de una soldadura convencional y requiere de menores conocimientos técnicos para llevarla a cabo.

Se han encontrado varios productos de diferentes fabricantes pero con similares características específicos para la unión de partes metálicas. Entre ellos se encuentran:

- Loctite EA9466 [163]
- Pattex nural 21 [164]
- Ceys araldite [165]

Los tres compuestos pertenecen a marcas de renombre en el panorama mundial y aseguran una soldadura metálica en frío para este propósito con elevados valores de resistencia a la cizalladura e incluso permiten el tratamiento posterior como lijado o pintado de las piezas fijadas. Estos productos, además, son resistentes a la corrosión producida por el agua, y a los aceites y disolventes que se utilizan para el mantenimiento de la bicicleta.

## 7. MODELADO DEL CUADRO

Como se ha comentado con anterioridad, para el modelado de un cuadro de bicicleta son necesarios dos conjuntos de valores dimensionales: los parámetros que comprenden la geometría del cuadro y los estándares comerciales. Estos datos se encuentran definidos en apartados previos.

Aglutinando ambos conjuntos de valores puede procederse a modelar mediante un programa de diseño todas las partes del cuadro.

El modelado constará de dos fases de diseño. La primera, plasmará de manera directa las dimensiones del cuadro. La segunda, constará en la adaptación de ese primer diseño a la tecnología de fabricación por racores escogida.

### 7.1. Descripción del programa

Para el diseño 3D del cuadro concebido para este Trabajo de Fin de Grado se ha utilizado el software Siemens NX, un software CAD/CAM/CAE desarrollado por la compañía tecnológica alemana Siemens PLM. Se ha escogido este programa porque en la actualidad es la herramienta tecnológica más avanzada. Se trata de una solución integral, potente y flexible, consistente en un conjunto de herramientas que coordina distintas disciplinas, preserva la integridad de los datos y la intención de diseño y optimiza el proceso al completo, a la vez que da soporte a todos los aspectos del desarrollo de productos, desde el diseño de conceptos hasta la ingeniería y la fabricación. Se usa, entre otros muchos aspectos, para [166] :

- Diseño y modelado paramétrico y directo de sólidos y superficies.
- Análisis y simulación para ingeniería, mediante la realización de estudios estáticos, dinámicos, electromagnéticos y térmicos usando el método de elementos finitos, además de análisis de fluidos usando el método de volúmenes finitos.
- Manufactura digital para la industria, incluyendo programación de máquinas herramienta, celdas robotizadas, impresoras 3D, etc.

### 7.2. Dimensionado

Como se ha podido observar en apartados previos, la mayoría de los parámetros de importancia que caracterizan cualquier cuadro están referidos al eje pedalier. Es por ello que el origen del sistema de coordenadas utilizado para el diseño del cuadro será este mismo punto, siendo el plano normal que atraviesa el punto medio de este eje el plano de simetría del cuadro.

La caracterización del cuadro comienza definiendo en un boceto los parámetros de las clases 1, 2 y 3 por este orden al ser considerados variables independientes. Posteriormente, los valores correspondientes a los parámetros de clase 4, tratados como variables dependientes, deberán ser mostrados como cotas de referencia al ser

consecuencia de la combinación geométrica de las tres primeras clases. Si las cotas correspondientes al apartado 4 no se indicaran como cotas de referencia, el programa daría error al interpretar que hay restricciones en exceso sobre el conjunto.

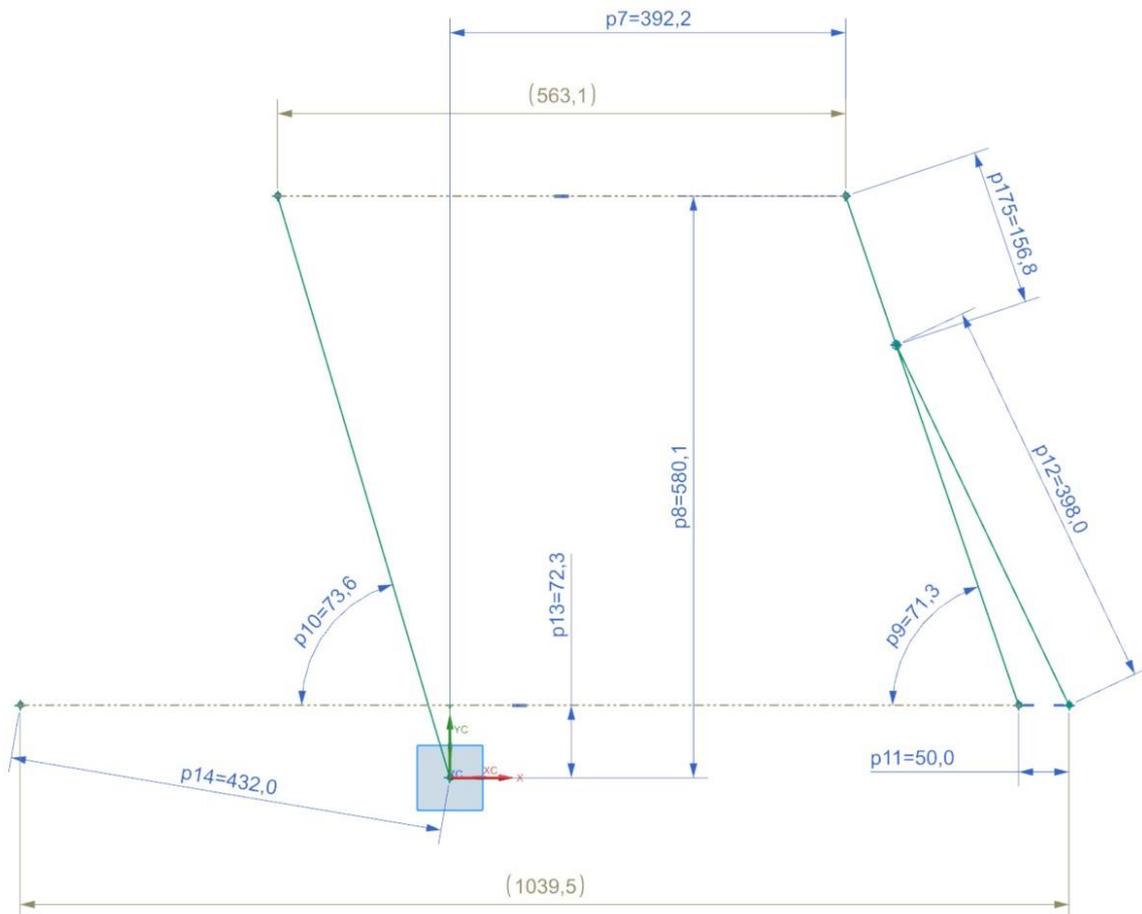


Figura 113.- Boceto base para el diseño del cuadro.

Una vez definida la geometría principal del cuadro correspondiente a la talla M, se incluirán las dimensiones asociadas a los estándares comerciales. Como se especificó en el apartado 4.3, el cumplimiento de estas dimensiones hace que el cuadro sea compatible con el resto de componentes necesarios para el montaje de la bicicleta completa.

### 7.2.1. Dirección

Las dimensiones que proporciona el fabricante FSA® de la dirección seleccionada únicamente afectan a los diámetros y la profundidad del alojamiento de las cazoletas de los rodamientos. Al estar incluidas contenidas estas medidas en el tubo de la dirección, se le dará a este la longitud de 156,8 mm estipulada en la tabla de la figura 104.

Como en cualquier otro programa de diseño, Siemens NX no es diferente. Para la generación de un volumen es necesario definir una curva en un boceto enlazado a un plano de referencia para luego hacer una extrusión o revolución sujetas a diferentes condiciones de contorno. Este principio se va a aplicar en todos los casos que se expondrán de ahora en adelante.

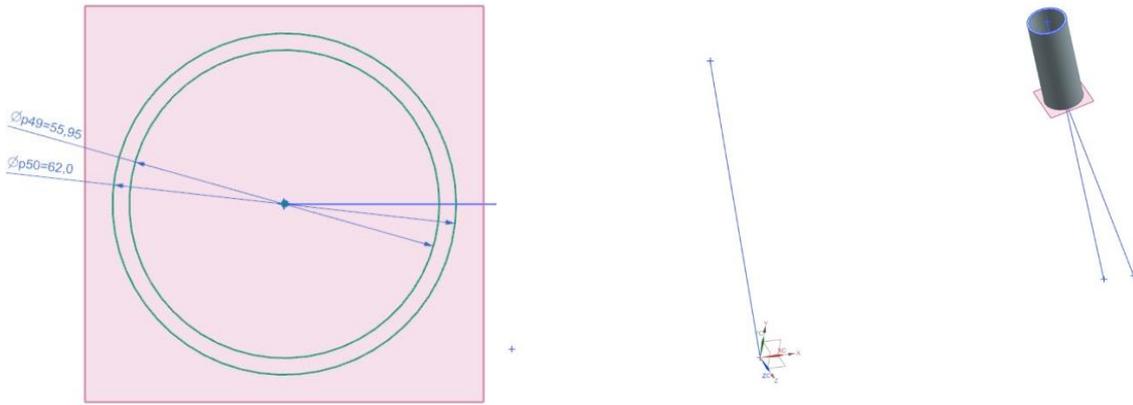


Figura 114.- Curva y solido de la envolvente de la dirección.

### 7.2.2. Tubo de sillín

Para que el tubo del sillín pueda albergar tijas de sillín de 31,6 es necesario que ésta se pueda deslizar. Para ello es necesario que exista una holgura circunferencial que permita el desplazamiento. Dimensionando el diámetro interno del tubo del sillín con un diámetro de 31,7 mm se consigue este efecto.

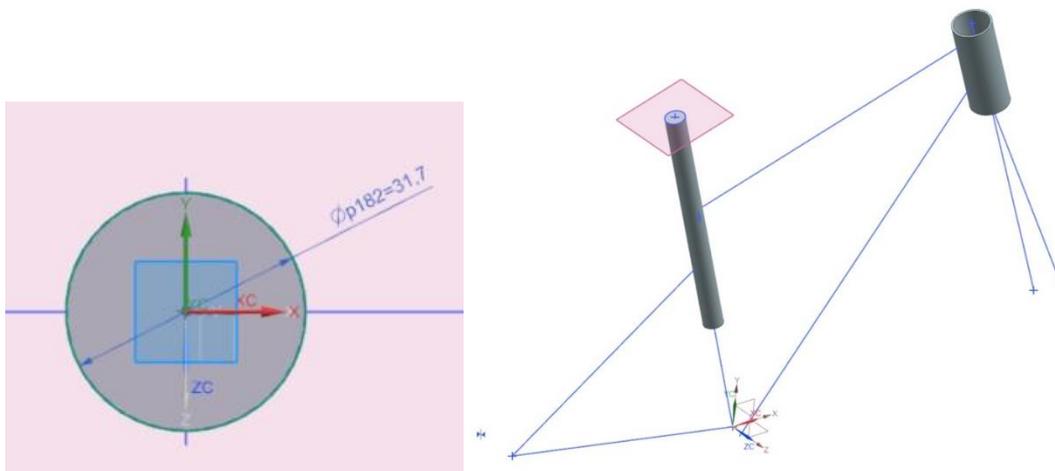


Figura 115.- Curva y solido de la envolvente de la tija de sillín.

### 7.2.3. Abrazadera de tubo de sillín

Al colocarse la abrazadera en el extremo superior del tubo del sillín es necesario que en la longitud de contacto de dicho tubo se mantenga un diámetro de 34,9 mm. independientemente del diámetro exterior del propio tubo. Además, es necesario que el extremo contenga un ranurado que sirva de alivio para que el apriete de la abrazadera sea efectivo.

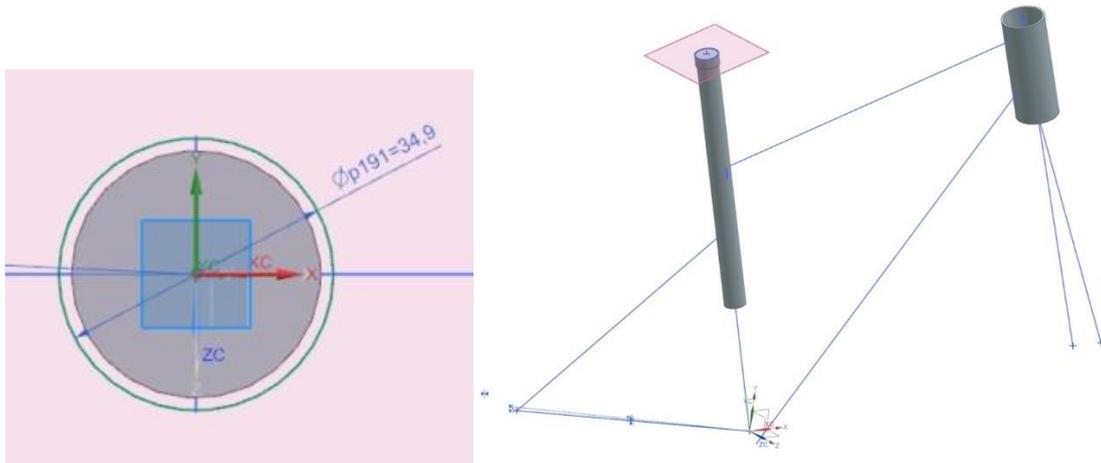


Figura 116.- Curva y sólido de la envoltura para la abrazadera de la tija de sillín.

#### 7.2.4. Pinza de freno

Al igual que la dirección, las dimensiones de las partes que caracterizan el anclaje de la pinza de freno son de aplicación directa sobre el 3D. En este caso, se representarán los dos prismas con orificios colisos que albergan los tornillos de fijación.

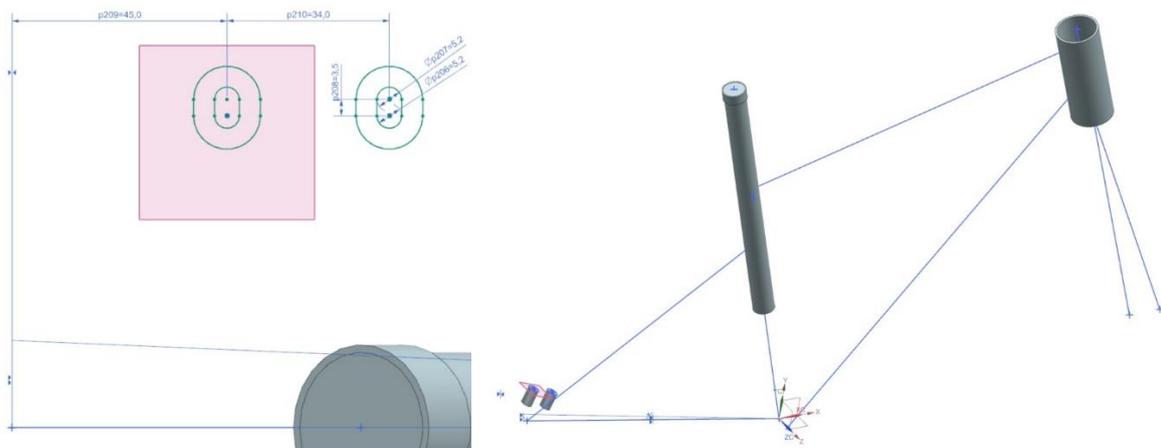


Figura 117.- Curva y sólido del soporte para la pinza de freno.

#### 7.2.5. Tamaño de rueda

Para dimensionar el paso de rueda, se genera un volumen de la medida 700Cx47, que equivalen a una rueda de diámetro 622 mm sobre la que se monta una corona de diámetro 47 mm. Para dimensionar el cuadro es necesario emular la holgura de seguridad entre cuadro y cubierta. Para ello se utiliza una toroide sobredimensionado de sección diametral 53 mm de forma que haya 3 mm de espacio radial entre el neumático y cualquier parte del cuadro.

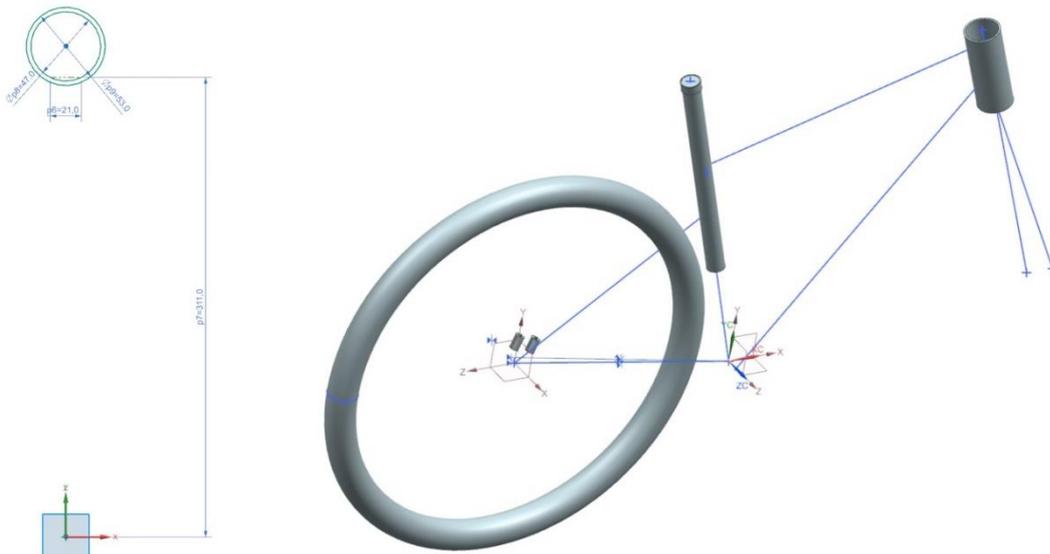


Figura 118.- Sección y sólido de la envoltura de la cubierta

### 7.2.6. Eje trasero y patilla UDH™

Las medidas proporcionadas por Sram® para el buje trasero se aplican directamente al diseño del cuadro. Son dimensiones de obligado cumplimiento si se quiere garantizar la fijación e integración de la rueda trasera.

Dado que la información dimensional dada refiere al conjunto de ambas punteras, la puntera UDH™ requiere de una geometría alternativa ya que el conjunto es el que cumple los requerimientos dimensionales del buje trasero. Se han de modificar, por tanto, las dimensiones de la puntera que afectan al lado derecho para acomodar este modelo de puntera.

Para ahorrar el trabajo de diseño de una patilla de cambio específica se ha optado por el modelo 3D UDH™ dado ya por el fabricante Sram®, que será incluido en el archivo del cuadro situado y orientado conforme a las medidas.

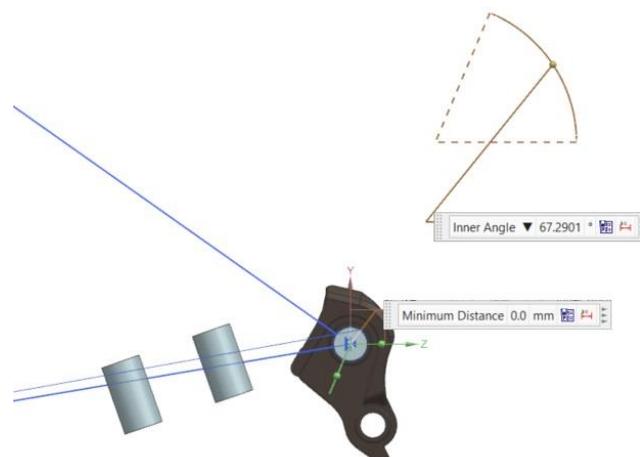


Figura 119.- Modelo 3D de puntera UDH™

### 7.2.7. Caja pedalier

Al igual que la dirección, la caja de pedalier acoge el conjunto de cazoletas de rodamientos que conforman el eje pedalier. Las dimensiones que proporciona el fabricante Sram® por tanto pueden extrapolarse directamente al diseño.

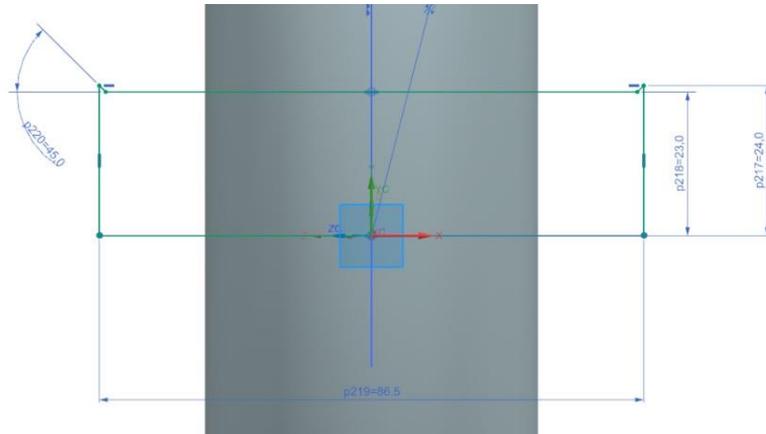


Figura 120.- Semisección de requerimientos dimensionales de la caja pedalier

### 7.2.8. Conjunto de requisitos dimensionales

Una vez incluidos todos los parámetros y generados los volúmenes y superficies de obligado cumplimiento que restringen el diseño del cuadro, se puede comenzar a diseñar el resto de partes hasta completar el cuadro completo.

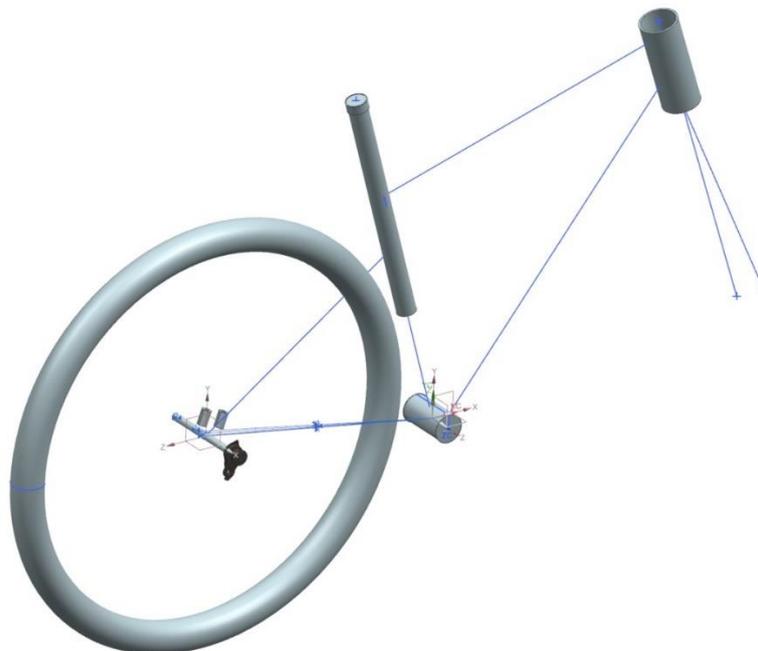


Figura 121.- Conjunto de envolturas de requerimientos dimensionales

### 7.3. Diseño de las partes

Las piezas diseñadas conforme a los estándares establecidos en el apartado anterior se presentan en los anejos del documento en forma de plano. A pesar de que son diversas las piezas necesarias para el ensamblaje del cuadro, todos aquellos componentes normalizados no se representan en dichos planos.

A continuación, la figura 122 muestra la lista total de piezas singulares diseñadas específicamente para este proyecto.

Fijaciones	
Nº plano	Descripción
1	L1 - Tubo diagonal
2	L2 - Tubo dirección
3	L3 - Tubo superior
4	L4 - Tubo sillín
5	R1 - Caja pedalier/Vainas
6	R2 - Racor diagonal/dirección
7	R3 - Racor dirección/superior
8	R4 - Racor superior/sillín
9	R5 - Racor sillín/tirantes
10	R6 - Puntera izquierda
11	R7 - Puntera derecha
12	T5 - Placa fijación vainas

Figura 122.- Lista planos de piezas diseñadas

### 7.4. Empaquetado

Uno de los propósitos que persigue este concepto de construcción es el ahorro de costes en el transporte del cuadro al usuario final, de forma que se optimice el espacio aprovechado de la caja que alberga el cuadro.

Una caja de envío de bicicleta (el modelo usado por Correos en España) usualmente tiene 150x30x90 cm [167]. La caja para el envío de un cuadro es significativamente más pequeña; suelen tener 105x20x70 cm (147000 cc) [168].

Una vez diseñadas el cuadro se ha hecho el ejercicio de calcular el volumen de caja necesario para albergar todas las partes que lo componen, así como el pegamento y posibles herramientas que sean susceptibles de añadirse. El volumen resultante ha sido de 60x15x33 cm (29700 cc). Es decir, por cada caja de cuadro completo se podrían enviar cinco cajas con cuadros como el concebido para este Trabajo de Fin de Grado.

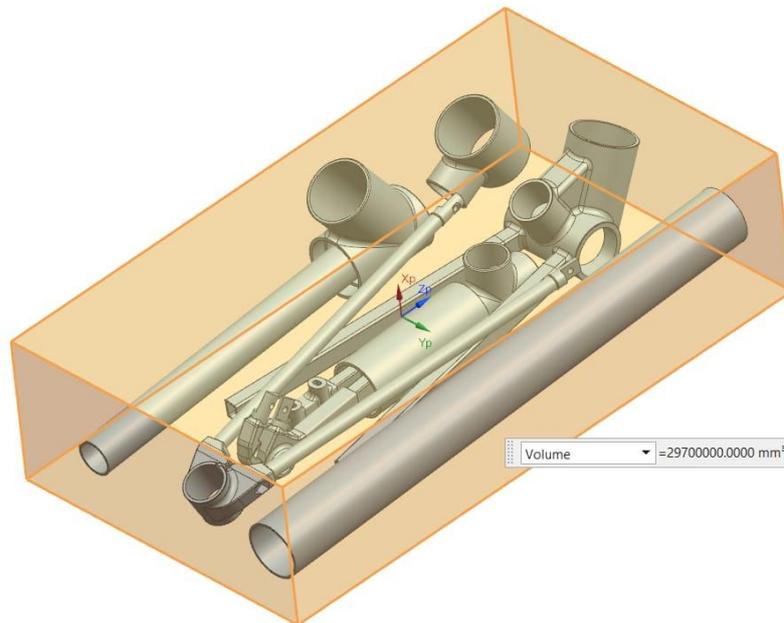


Figura 123.- Estimación de volumen de caja de envío.

## 7.5. Manual de ensamblaje

Uno de los principales objetivos del cuadro concebido para este TFG es que su ensamblaje resulte realmente sencillo para el usuario final siguiendo el manual de montaje y sin necesidad de herramientas específicas para su montaje. Estas herramientas podrían llegar a ser incluidas en el kit de venta del cuadro en caso de que fuera así planificado dentro de la estrategia de negocio.

A continuación, se muestra la lista de materiales que contemplan las herramientas necesarias para el montaje y todas las partes que componen el cuadro.

### 7.5.1. Lista de materiales

Herramientas y consumibles	
Código	Descripción
H1	Punta allen 4 mm
H2	Punta allen 6 mm
H3	Punta allen 8 mm
H4	Llave dinamométrica
H6	Guantes
H7	Material limpieza

Figura 124.- Lista de herramientas y consumibles necesarios para el montaje del cuadro.

Fijaciones		
Código	Cantidad	Descripción
T1	1	Tornillo DIN 912 M10x30 12.9
T2	1	Tornillo DIN 912 M8x70 12.9
T3	4	Tornillo DIN 912 M6x20 12.9

T4	2	Tornillo DIN 912 M6x12 12.9
T5	1	Tuerca autoblocante DIN 985 M8 12.9
T6	2	Placa de fijación de vainas
T7	1	Adhesivo bicomponente

Figura 125.- Lista de elementos de fijación necesarios para el ensamblaje del cuadro.

Tuberías		
Código	Cantidad	Descripción
L1	1	Tubo diagonal
L2	1	Tubo dirección
L3	1	Tubo superior
L4	1	Tubo sillín

Figura 126.- Lista de tubos unitarios que conforman el cuadro.

Racores		
Código	Cantidad	Descripción
R1	1	Conjunto caja pedalier y vainas
R2	1	Racor de unión entre tubo diagonal y tubo dirección
R3	1	Racor de unión entre tubo dirección y tubo superior
R4	1	Racor de unión entre tubo superior y tubo de sillín
R5	1	Conjunto racor y tirantes
R6	1	Puntera izquierda
R7	1	Puntera derecha

Figura 127.- Conjunto de racores que conforman el cuadro.

Con el objetivo de evitar posibles errores de montaje:

- Los tubos llevarán pegatinas indicadoras para asegurar la profundidad del contacto entre tubo y racor.
- Los racores R1, R2, R3 y R4 llevarán pegatinas para identificar cada abertura.

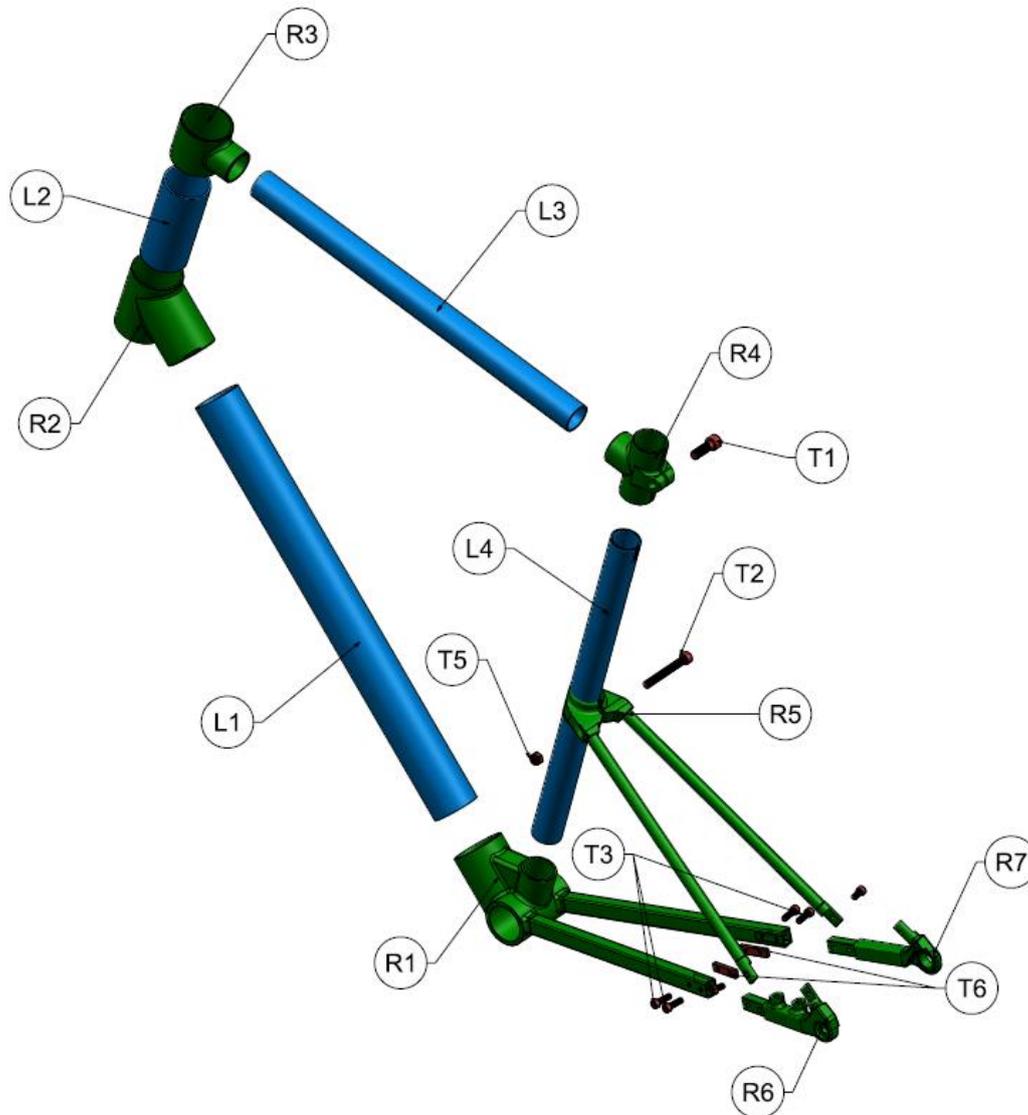
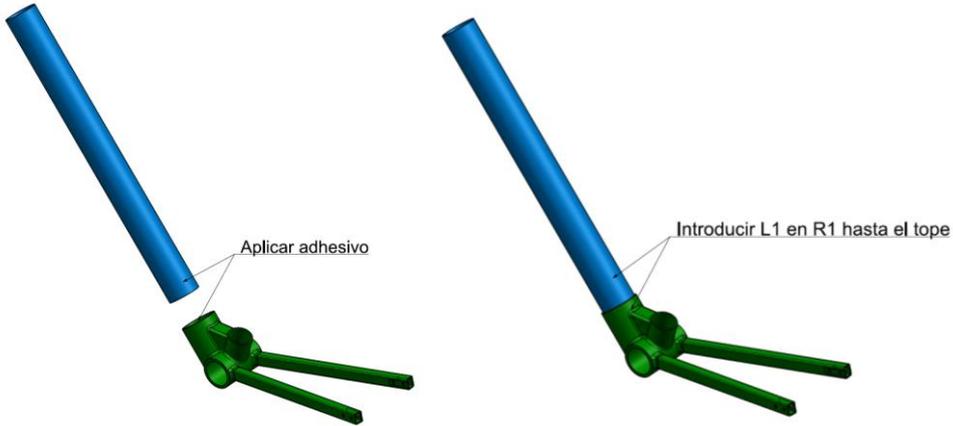
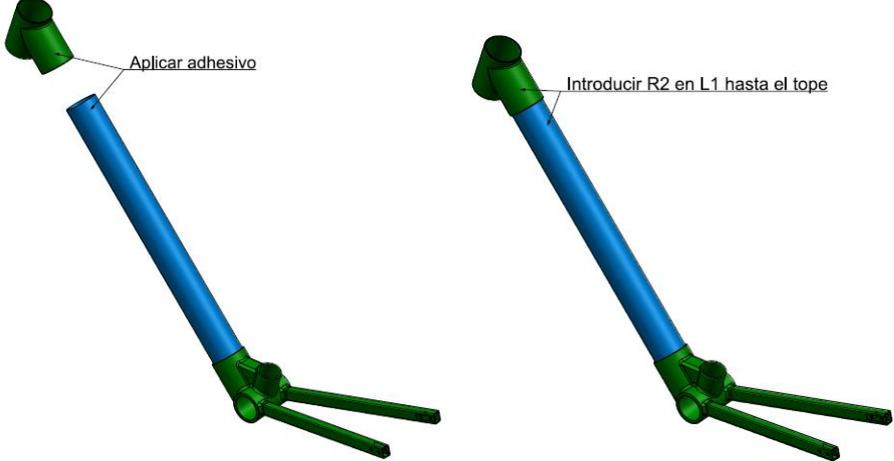
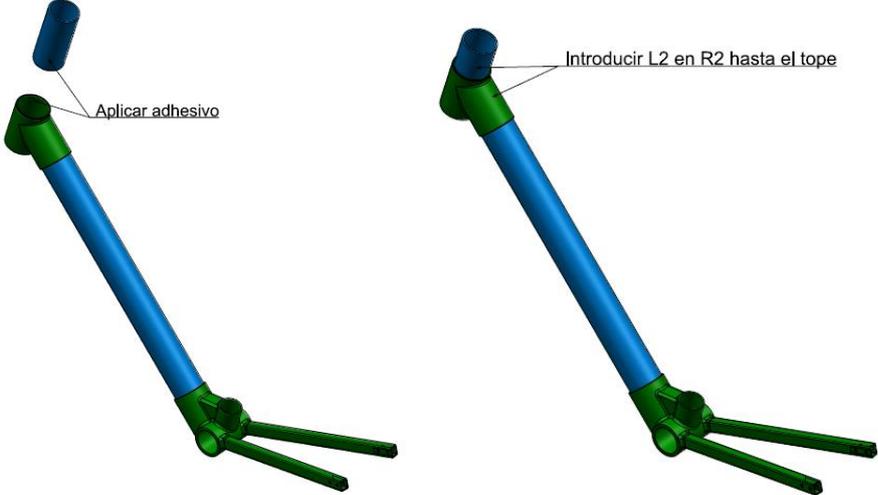


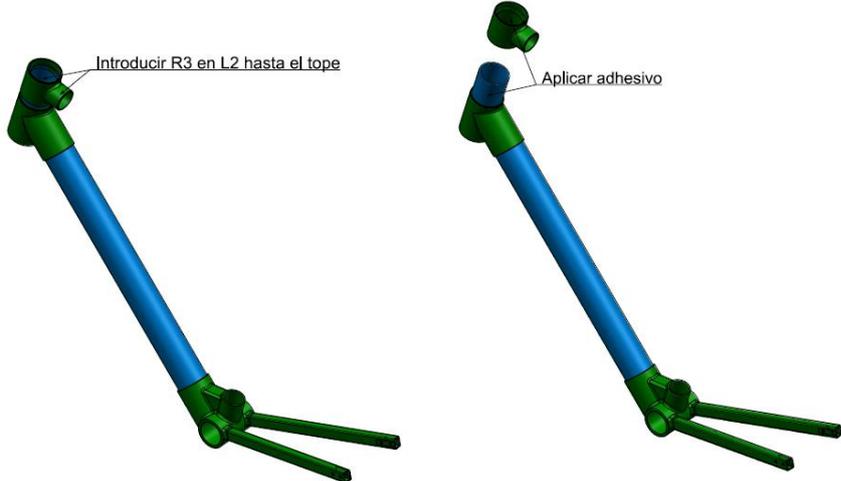
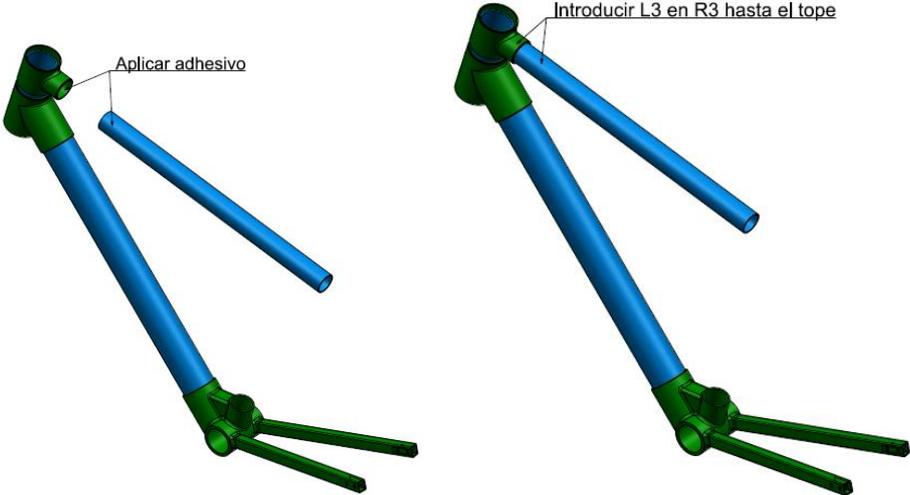
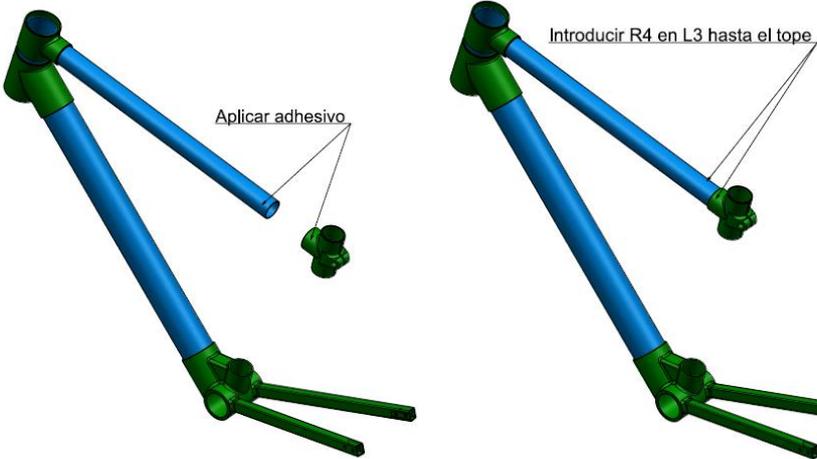
Figura 128.- Explosionado completo del cuadro [elaboración propia]

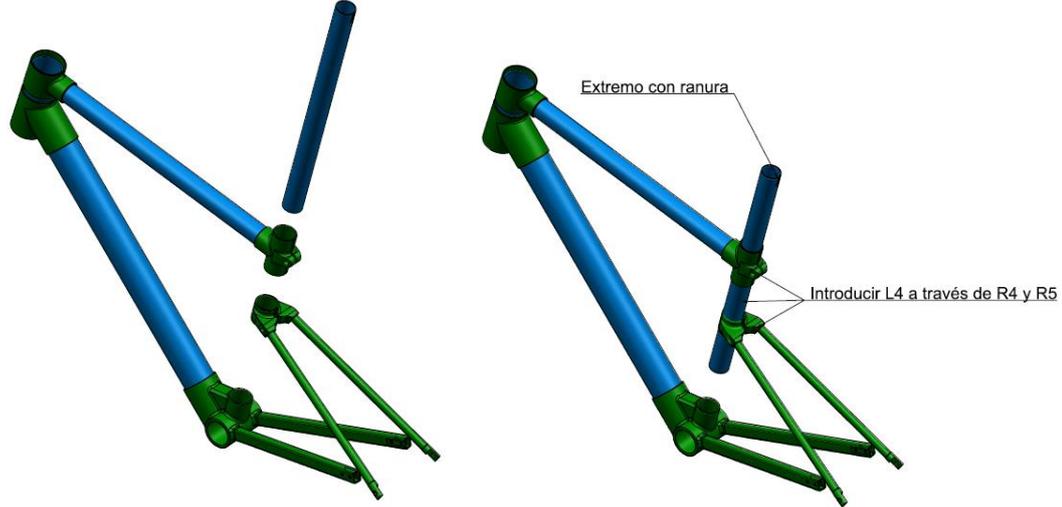
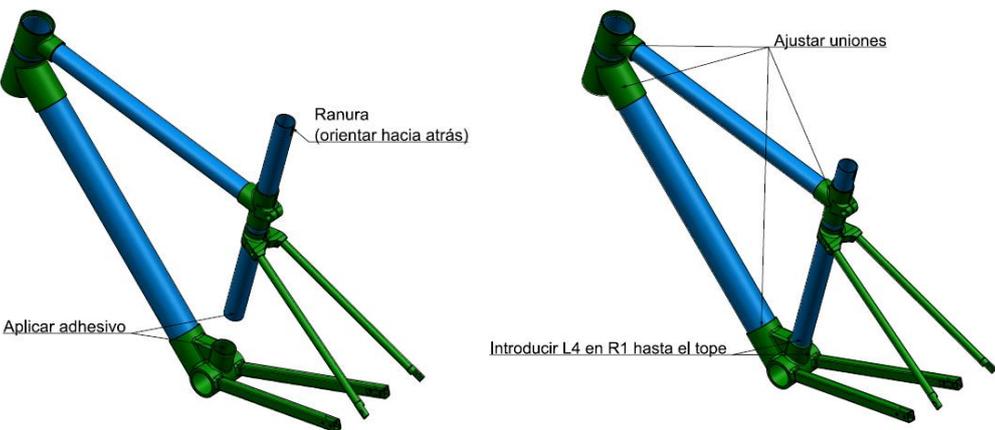
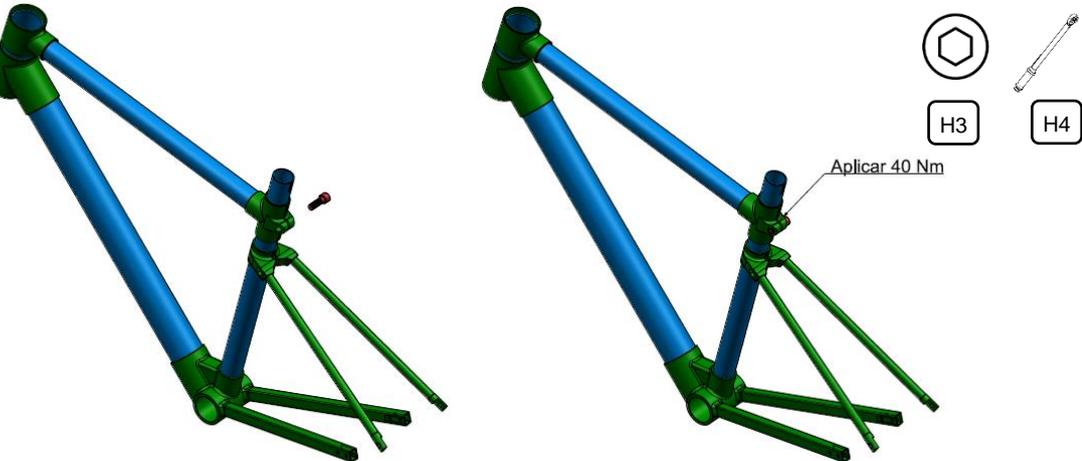
## 7.5.2. Guía de montaje

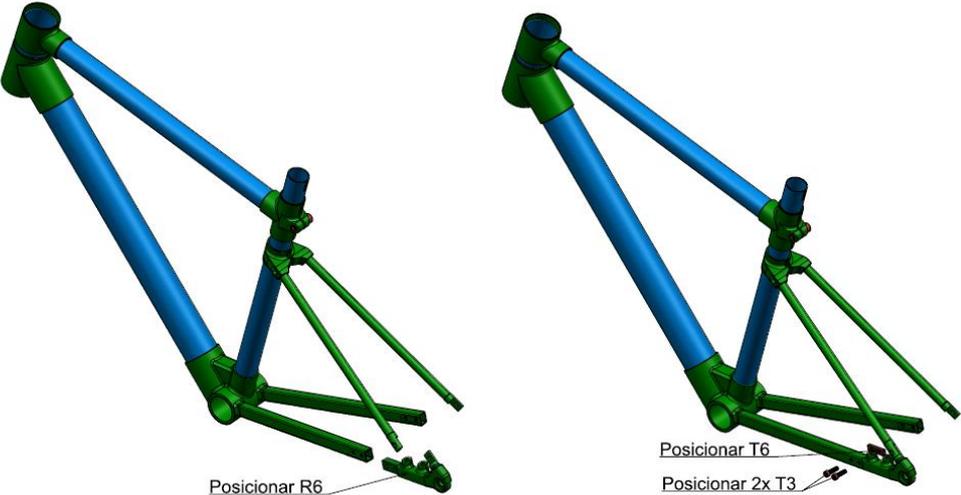
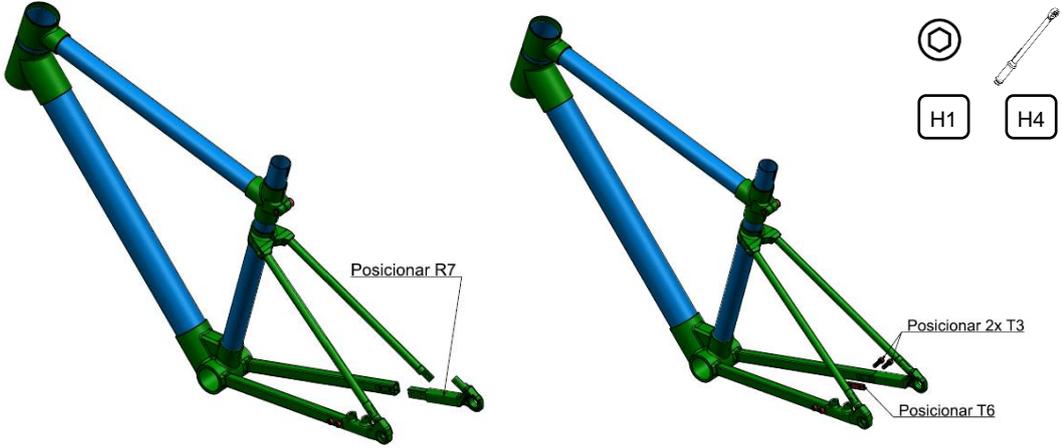
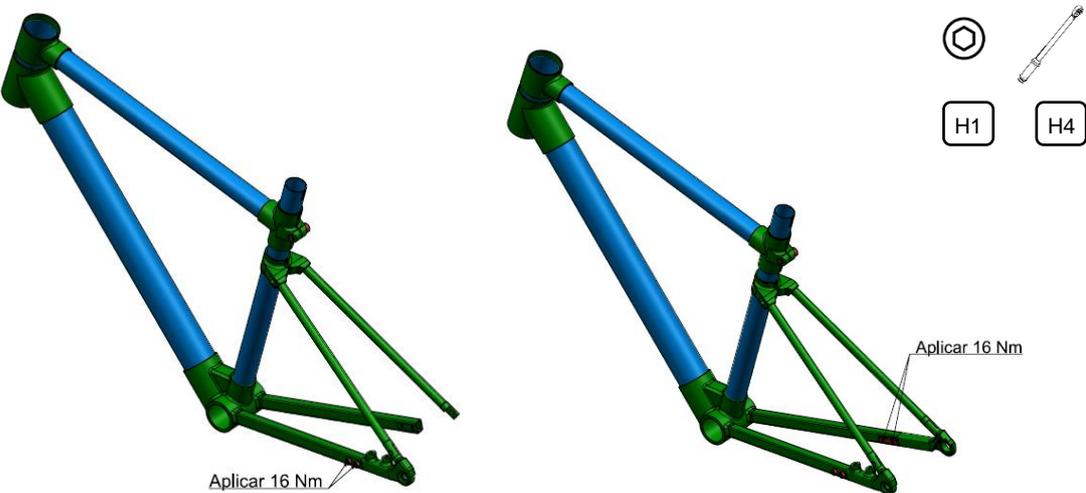
Previo al comienzo del ensamblaje del cuadro es necesario tener dos consideraciones:

- Localizar todas y cada una de las partes y herramientas necesarias.
- Pegamento bi-componente [169]:
  - o Tiempo de manipulación: 5-7 minutos.
  - o Tiempo de fijado: 10-12 min.

1	<p>Póngase los guantes para evitar cualquier contacto del adhesivo con la piel y abra el adhesivo.</p>
2	 <p>Aplicar adhesivo</p> <p>Introducir L1 en R1 hasta el tope</p>
<p>Aplique adhesivo en uno de los extremos del tubo L1 y en el alojamiento de mayor tamaño del racor R1. Introduzca el extremo en su interior hasta el tope.</p>	
3	 <p>Aplicar adhesivo</p> <p>Introducir R2 en L1 hasta el tope</p>
<p>Aplique adhesivo en el extremo del tubo L1 y en el alojamiento diagonal del racor R2. Introduzca el extremo en su interior hasta el tope.</p>	
4	 <p>Aplicar adhesivo</p> <p>Introducir L2 en R2 hasta el tope</p>
<p>Aplique adhesivo en uno de los extremos del tubo L2 y en el alojamiento de mayor tamaño del racor R2. Introduzca el extremo en su interior hasta el tope.</p>	

5	 <p>Introducir R3 en L2 hasta el tope</p> <p>Aplicar adhesivo</p>
<p>Aplique adhesivo en el extremo del tubo L2 y en el alojamiento diagonal del racor R2. Introduzca el extremo en su interior hasta el tope</p>	
6	 <p>Aplicar adhesivo</p> <p>Introducir L3 en R3 hasta el tope</p>
<p>Aplique adhesivo en uno de los extremos del tubo L3 y en el alojamiento de mayor tamaño del racor R2. Introduzca el extremo en su interior hasta el tope.</p>	
7	 <p>Aplicar adhesivo</p> <p>Introducir R4 en L3 hasta el tope</p>
<p>Aplique adhesivo en el extremo del tubo L3 y en el alojamiento cerrado del racor R4. Introduzca el extremo en su interior hasta el tope</p>	

<p>8</p>	
<p>Localice el extremo sin ranura. Introduzca el tubo L4 por este extremo a través al alojamiento abierto de R4 y del alojamiento abierto de R5.</p>	
<p>9</p>	
<p>Aplique adhesivo en el extremo del tubo L4 y en el alojamiento pequeño de R1 racor R1. Ajuste todas uniones e introduzca el extremo en su interior hasta el tope. Oriente la ranura hacia atrás en dirección al eje trasero.</p>	
<p>10</p>	
<p>Coloque el tornillo T1 sobre el racor R4. Utilice la llave dinamométrica H4 y la punta de allen de 8 mm H3. Aplique 40 Nm.</p>	

11	
	<p>Posicione la puntera izquierda R6 sobre los extremos de los racores R1 y R5. Coloque dos tornillos T3 y rósquelos en la placa de fijación T6. Utilice la punta allen de 4 mm H1.</p>
12	
	<p>Posicione la puntera izquierda R7 sobre los extremos de los racores R1 y R5. Coloque dos tornillos T3 y rósquelos en la placa de fijación T6. Utilice la punta allen de 4 mm H1.</p>
13	
	<p>Utilice la llave dinamométrica H4 y la punta de allen de 4 mm H1. Aplique 16 Nm.</p>

<p>14</p>	
<p>Coloque el tornillo T4 sobre los extremos del racor R5. Utilice la llave dinamométrica H4 y la punta de allen de 4 mm H1. Aplique 16 Nm.</p>	
<p>15</p>	
<p>Coloque el tornillo T2 por el lado derecho del racor R5 y la tuerca T5 por el lado izquierdo. Utilice la llave dinamométrica H4 y la punta de allen de 6 mm H2. Aplique 40 Nm.</p>	

Figura 129.- Pasos a seguir de la guía de ensamblaje [elaboración propia]

## 7.6. Montaje completo

El resultado del ensamblaje se muestra en la siguiente figura. A pesar de estar construido mediante racores, una técnica que empeora la estética del cuadro, se han conseguido un diseño similar al de cuadros fabricados con tuberías de acero.



Figura 130.- Modelo 3D del cuadro final ensamblado.

Con el propósito de comparar el diseño creado con el de cualquier otro cuadro fabricado en aluminio se ha realizado el ejercicio de calcular el peso estimado del cuadro ensamblado. Para ello, se utiliza una herramienta específica de Siemens NX que permite aglutinar el volumen de todos los elementos seleccionados llamada “medición de cuerpos”. Ello arroja un volumen total del cuadro de 1050098,4 mm<sup>3</sup>.



Figura 131.- Estimación del volumen del cuadro en aluminio.

Si multiplicamos el volumen obtenido por la densidad del aluminio 6061-T6 seleccionado para la fabricación que resulta ser 2,7 g/cc [170] obtenemos que el peso estimado del cuadro es de 2835,26 g. Esto lo situaría en el rango de pesos de un cuadro de acero [171], debido principalmente al material extra que representan los racores.

Cabe destacar que, con análisis y validaciones posteriores, este peso podría ser más ajustado ya sea por una optimización del diseño o por el uso de materiales más ligeros como la fibra de carbono.

Además, una de las propuestas de perspectivas de futuro comentadas en la lista del apartado diez de este documento contempla la posibilidad de vender la bicicleta completa. Por ello, se ha hecho el ejercicio de simular un 3D con todos los componentes que formarían parte usando una biblioteca de recursos 3D [172] . Es un recurso que podría servir para generar interés y demanda de esta opción.



*Figura 132.- Propuesta de diseño y montaje de bicicleta completa.*

## 7.7. CONVERSIÓN A BICICLETA ELÉCTRICA

Para realizar la conversión del cuadro a una bicicleta eléctrica sería necesario obtener los requerimientos dimensionales de diseño que imponen las marcas que fabrican estos sistemas.

Al no estar contemplado el proyecto en ninguna marca no ha podido ser posible acceder a la información necesaria descrita en el párrafo anterior, pero los cambios necesarios para dicha conversión han podido ser evaluados. El conjunto de modificaciones afectaría a cinco de las piezas de forma que para un sistema de buje trasero habría que:

- Rediseñar R6 y R7 para acoger los anclajes del motor.
- Modificar L1, R1 y R2 para permitir el paso de la batería al interior del tubo diagonal y que quede instalada en su interior. Además, sería necesario realizar los taladros y aberturas para el paso del cableado.

## 8. PLAN DE VIABILIDAD Y ESTUDIO ECONOMICO

Para que un proyecto tenga probabilidades de éxito es necesario definir un plan de viabilidad, que es un documento de vital importancia para cualquier empresa y crítico para los emprendedores. En este documento se hace énfasis en los aspectos económicos más relevantes que intervienen en el proyecto de forma que se pueda evaluar si será posible generar beneficios y perdurar en el tiempo con los recursos y la estructura disponible en el momento en el que se realiza el plan de viabilidad [173].

Un plan de viabilidad completo contempla aspectos muy diferentes que van desde la realización de un estudio de mercado, a la definición de una estrategia de ventas y costes y puede dársele la profundidad que el emprendedor o la empresa definan. Sin embargo, hay herramientas asociadas a la gestión de proyectos que sirven de sintetizar toda la información considerada en el plan. Dos de las más relevantes son el *Business Model Canvas* y el D.A.F.O., en las cuales nos centraremos para comentar la mayoría de aspectos que afectan el proyecto.

Dentro del plan de viabilidad se contempla el estudio económico, en el que el mayor protagonista junto al gasto en materias primas y fabricación es el coste de desarrollo.

Junto con el B.M.C. y el D.A.F.O. aplicados a la concepción del cuadro se hará un estudio económico pormenorizado del coste de desarrollo necesario para el diseño y la fabricación de un cuadro.

### 8.1. Business Model Canvas

Un Business Model Canvas, por su traducción al castellano: lienzo de modelo de negocio, es una herramienta que sirve para definir el modelo estratégico de negocio de una empresa. Básicamente, un documento que sirve para describir el contenido, estructura y acciones dirigidas a crear valor y explotar oportunidades de negocio [174].

Es decir, es uno de los primeros documentos que debe de generarse dentro de una empresa para el desarrollo de un nuevo proyecto o la creación de un nuevo producto. En él se explica el tipo o servicio que se quiere vender, el público objetivo, las vías de comunicación y comercialización, fuentes de ingresos, etc.

Aplicado a este Trabajo de Fin de Grado, el *Business Model Canvas* sería el siguiente:

Actores clave	Actividades clave	Propuesta de valor	Relación con clientes	Perfil de cliente
Plataformas de comercio electrónico. Medios de comunicación. Comunidades ciclistas. Proveedores. Transportistas. Esportadores. Distribuidores. Talleres. Probadores. Diseñadores.	Fichas técnicas de cada parte. Manual de montaje. Control de compras y ventas. Asociación con talleres locales. Estructura logística.	Producto polivalente. Reutilización de componentes y ahorro respecto una bicicleta completa. Carácter diferencial. Formar parte de una comunidad ciclista e imagen de marca. Conversión en bicicleta eléctrica.	Montaje sencillo. Reparable. Recompra. Soporte Técnico.	Remoto, cliente sin acceso a una tienda de bicicletas. Diferencial, cliente que prioriza la singularidad del producto. Renovador, cliente con una bicicleta antigua Comunitarios, cliente que necesita una solución de movilidad o quiere la sustitución de su coche. Empresas de servicios.
	Propuestas clave		Canales de comunicación	
	Independencia. Movilidad. Polivalencia.		Página web. Comercio electrónico. R.R.S.S.. Marketing. Comunidad. Idiomas.	
Costes		Flujo de ingresos		
Desarrollo. Materiales. Fabricación. Transporte.	Mantenimiento. Licencias. Equipos.	Venta de cuadros. Venta de repuestos. Venta de bicicletas. Formaciones.		

Figura 133.- Business Model Canvas del proyecto del diseño del cuadro

## 8.2. D.A.F.O.

El D.A.F.O. es otra de las herramientas que se utilizan para analizar y poner de relevancia la situación actual del proyecto con el propósito de tener la información necesaria para la toma de decisiones futuras.

Son cuatro las propiedades que se utilizan para caracterizar esta herramienta [175]:

- Debilidades: aúnan los aspectos que limitan la capacidad de desarrollo del proyecto.
- Amenazas: constituyen todos aquellos factores externos que pueden perjudicar la realización del proyecto o poner en peligro su viabilidad.
- Oportunidades: factores ajenos al proyecto que facilitan y brindan el desarrollo y futuras mejoras.
- Fortalezas; conjunto de virtudes, ya sea a nivel interno o externo, que favorecen o representan una ventaja competitiva del proyecto.

A través de una tabla se pretende mostrar de manera gráfica estos cuatro factores:

Debilidades	Amenazas
<p>La fluctuación en el precio de las materias primas. El gasto en materiales es una de las mayores inversiones del proyecto. La gran volatilidad que puede llegar a sufrir el precio de una materia en origen puede dañar el margen de ganancia.</p> <p>Desarrollo del proyecto inmaduro.</p> <p>Falta de imagen de marca.</p> <p>Desventaja competitiva en el precio de la fabricación de las piezas con respecto a Asia.</p> <p>Necesidad de competencias.</p>	<p>Sistemas de bicicleta compartida impulsada por autoridades locales.</p> <p>Competitividad del mercado muy activo que tiene novedades continuamente.</p> <p>Garantías por fallos de fabricación.</p> <p>Desconfianza del mercado ante la singularidad del producto.</p>
Fortalezas	Oportunidades
<p>Reutilización de partes de otras bicicletas, lo que implica un menor coste para el usuario final.</p> <p>Alto grado de creatividad de innovación.</p> <p>Posibilidad de libertad de diseño para diversas aplicaciones.</p> <p>Facilidad de reparación y reciclaje de cada parte.</p> <p>Posibilidad de enseñanza en mecánica a niños con el ensamblaje de su primera bicicleta.</p>	<p>Mercado en continuo aumento debido al incentivos a la movilidad no contaminante.</p> <p>Herramienta de libertad de desplazamiento para el usuario.</p> <p>Subvenciones por emprendimiento.</p> <p>Posibilidad de equipo multicultural con aficionados al ciclismo.</p> <p>Posibilidad de deslocalización.</p>

Figura 134.- Gráfico D.A.F.O.

### 8.3. Coste de desarrollo

Al coste de desarrollo pueden ponderarse diferentes factores necesarios todos ellos para la concepción 3D del primer cuadro. Estos van desde el gasto puro en equipos como pueda ser la compra de ordenadores y licencias, hasta el gasto en materiales y fabricación de prototipos.

En este apartado se va procurará una estimación de coste pormenorizados para el desarrollo del cuadro.

#### 8.3.1. Licencias

Junto con el resto de costes iniciales asociados al desarrollo del proyecto, el gasto en licencias de programas de diseño suele conllevar una de las partidas más importantes. En el caso de Siemens NX, el programa utilizado para el diseño del cuadro concebido para este TFG, existen dos formas de acceder a una licencia. Según Avantek, una de las empresas que gestiona este tipo de permisos en España, una licencia puede comprarse o alquilarse.

La opción de compra está enfocada a empresas consolidadas en el mercado. El coste de compra de una licencia es de 7120 € con un coste de mantenimiento anual de 1920 €. Sin embargo, existe la opción de alquiler, destinada a emprendedores y autónomos. En este caso el gasto sería de 570 €/mes o de 2990 €/año. En otras palabras, para amortizar el precio de la compra de una licencia serían necesarios siete años. Igualmente ocurre con la suscripción mensual, en donde en tan solo seis meses ya estaría justificada la elección [174].

Por tanto, para un emprendedor que carece de estabilidad al comienzo del desarrollo del producto, la opción más lógica es el alquiler anual de la licencia.

### 8.3.2. Equipos

Para el desarrollo de este proyecto puede que no sea necesaria la compra de equipos, sino que con un simple alquiler sea posible su ejecución. Sin embargo, ante la complejidad de hacer una estimación realista de esta opción se cuantificará la compra de maquinaria. Por un lado, estarán los equipos informáticos, y por el otro, los industriales.

Desgraciadamente, los programas de diseño requieren en muchas ocasiones de requerimientos informáticos por encima de lo comúnmente establecido. Es por ello, que la mayoría de equipos informáticos compatibles con este tipo de softwares supera los 1000 euros. Se ha estimado en esta cantidad el coste unitario por cada ordenador.

Junto con los equipos informáticos es también necesario considerar toda aquella maquinaria industrial que puede intervenir en el proceso. Ello alberga desde soldaduras TIG, lijadoras, taladros, tronzadora o incluso una máquina CNC. A continuación, se muestra una tabla con una estimación de valor para su posible compra.

Herramienta	Modelo	PVP [€]
Tronzadora	Dewalt d28730	240
Soldador TIG	Lincoln Electric 150	800
Lijadora de tubos	Standley LT 1401 EK	272
Grindillo	Proxxon BS/A	180
Elementos de desgaste	Lijas de diferente grano	50
Banco herramientas	Tymbia 177	2000
Fresadora CNC	Proxxon FF500	5000
Taladro de columna	Proxxon Micromot 2228124	361
Torno	Optimun TU 2304V	2370
Impresora 3D	Leon 3D T230	297

Figura 135.- Lista de herramientas de taller [176]

La estimación arriba mostrada es solo un ejemplo de un coste base en maquinaria. Como se puede ver, el coste de mayor importancia es el asociado a la fresadora CNC. Además, el uso de cualquier maquinaria CNC requiere de una formación específica y operario especializado. Todas aquellas piezas complejas que requieran del uso de esta máquina lo recomendable por amortización y volumen es subcontratar su fabricación.

Además, con el propósito de ahorrar costes de fabricación para la etapa de diseño y validación se ha contemplado el gasto en una impresora 3D que permita prototipar piezas en plástico para un rápido análisis.

### 8.3.3. Materiales

Para evaluar el gasto en materiales necesitamos diferenciar dos partidas distintas. La primera está enfocada a materiales de desgaste como pueden ser filamentos para la impresora 3D, gas o boquillas para las antorchas. Son gastos difícilmente cuantificables sin llevar a cabo pruebas tangibles en los que se saquen datos de consumo.

Por otro lado, y considerado el gasto principal de material para el desarrollo el proyecto es el coste del propio aluminio. Para la fabricación de las tuberías principales se necesitan en torno a 4 metros de tubos de aluminio 6061 de diferentes calibres.

*Tubefitting*, uno de los mayores proveedores de tuberías de aluminio a nivel europeo, y en particular del 6061-T6 tiene en su catálogo referencias que pueden servir de ejemplo para tomar una estimación del coste por metro en función del diámetro y calibre el tubo.

Medida	PVP [€]/Metro lineal
D 21,3 x 3 mm	17,03
D 26,9 x 3 mm	27,37
D 33,7 x 3 mm	41,06
D 42,4 x 3 mm	35,73
D 48,3 x 3 mm	41,06
D 60,3 x 3 mm	76,33

Figura 136.- Referencias de medidas y coste por tubo de aluminio [177]

Estos precios serían para venta al por menor. Una vez estudiadas las cantidades de cada tipo requeridas para un volumen específico de cuadros los precios podrían ser mejorados con la consecuente reducción de costes.

### 8.3.4. Fabricación

La fabricación del cuadro como un producto consta de cuatro procesos. El cuarto y último, el correspondiente al ensamblado no tiene un coste más allá que el del propio pegamento bicomponente o la tornillería necesaria. Por lo tanto, no hay margen de acción más allá de intentar negociar un mejor precio con el proveedor.

Los tres primeros procesos de fabricación, los implicados directamente en la fabricación de las piezas, son el corte de los tubos, soldadura de las partes y mecanizado. De todas ellas, el corte de los tubos es rápido y barato. La soldadura es un proceso de mayor complejidad pero que con una formación apropiada puede realizarse de manera económica y rápida.

Respecto al mecanizado, hay varias piezas que se ven afectadas por este proceso. En el caso de los casquillos de los triángulos traseros puede ser fabricados mediante torneado. Las punteras en cambio, requieren de maquinaria CNC para poder ser fabricadas.

El desarrollo de nuevas piezas puede implicar el uso de nuevas técnicas como sinterizado o inyección, o en el caso de las punteras, que el nuevo modelo pueda ser fabricado un mecanizado simple que no requiere CNC y en consecuencia sea más barato.

### 8.3.5. Validación

La validación del cuadro y, por ende, de las piezas que lo componen puede ser realizada en dos etapas. La primera, en la que se realice una comprobación dimensional utilizando tubos de aluminio y racores impresos en 3D. Esta primera validación puede servir para evaluar cualquier posible error de diseño que pueda afectar a la viabilidad del proyecto.

Una vez verificado el diseño como prueba de concepto, se puede proceder a la fabricación de racores esta vez ya si fabricados en aluminio. Reutilizando los tubos cortados de la primera etapa puede ensamblarse un cuadro, a priori, completamente funcional con el que seguir realizando pruebas.

Para que un cuadro o bicicleta pueda ser vendido en la Unión Europea es necesario que cumpla los requisitos y pase favorablemente las pruebas definidas en la norma UNE-EN ISO 4210-2:2015. Esta norma define todos los parámetros de seguridad relativos a las bicicletas de paseo, montaña y carretera para adultos [178]. El cuadro o los cuadros ensamblados en la fase funcional pueden ser usados para la validar el cumplimiento de la norma con el propósito de ahorrar costes.

## 9. PERSPECTIVAS DE FUTURO

Al tratarse el cuadro diseñado para este Trabajo de Fin de Grado de un producto con posibles aplicaciones comerciales, las perspectivas de futuro pueden discretizarse en dos tipos de mejoras; mejoras técnicas y mejoras de producto.

### 9.1. Mejoras técnicas

Puede considerarse mejora técnica cualquier modificación que intervenga en el proceso de diseño y desarrollo del cuadro. Las posibles mejoras consideradas en este aspecto son las siguientes:

- Utilización de nuevos materiales. Como se ha comentado con anterioridad, un cuadro fabricado con racores permite el uso compuesto de materiales. Tanto los racores como los tubos pueden ser fabricados en titanio, acero o fibra de carbono, siendo extensible incluso a otros tipos de materiales sintéticos o incluso naturales como el bambú.
- Uso de nuevas tecnologías. La aparición de nuevas tecnologías como impresión en 3D de materiales metálicos con impresoras de sinterizado para obtener geometrías complejas o la optimización de procesos de inyección de colada líquida que permitiría pasar a una producción en masa podría incrementar los volúmenes de fabricación.
- Sistemas de fijación. Como se ha comentado en el apartado 6 las uniones entre racores y tubos puede ser muy diversas. Para la construcción del cuadro se ha optado una unión combinada de adhesivo y tornillos, sin embargo, estas fijaciones pueden hacer mediante remaches, tornillería en su totalidad o soldadura.
- Utilización de perfiles no circulares. Aunque el perfil redondo resulta ser el más práctico y económico para la construcción del cuadro puede resultar poco atractivo, darse personalidad al diseño del cuadro modificando los racores y la sección de los perfiles de los tubos realizando por ejemplo un hidroformado o cronificado, procesos comunes en la fabricación de bicicletas de aluminio.
- Cableado externo. El cuadro ha sido diseñado para usar cableado de frenos y cambio interno. Sin embargo, utilizando soportes y guías externas podría permitir un ruteado de los latiguillos completamente exterior con el objetivo de facilitar el mantenimiento.
- Optimización del diseño para que con la modificación de las partes necesarias el cuadro pueda ser compatible con motores y pueda alojar batería de sistemas eléctricos que conviertan en *e-bike* la bicicleta,
- Realización del prototipado físico de cada una de las posibles versiones a la venta buscando comprobar los límites del diseño con el objetivo de optimizar todas aquellas partes del cuadro donde sea posible.

## 9.2. Mejoras de producto

Las mejoras de producto están enfocadas a posicionar el producto dentro del mercado con nuevas estrategias comerciales o diversificación de productos con el objetivo de aumentar el número de ventas y llegar a la mayor proporción de usuarios finales. Se han considerado las siguientes mejoras:

- Aumento de la oferta de tallas. El estudio de mercado realizado para este trabajo a partir del cual se averiguo que la talla de mayor alcance es la M contempla el resto de valores geométricos necesarios para que se puedan dimensionar adecuadamente cualquier otra talla.
- Realización de una validación comercial del diseño como cuadro y como bicicleta completa que permita comprender a los potenciales compradores finales para definir posibles futuras tendencias para adaptar el producto al mercado.
- Desarrollar versiones de otras tipologías de ciclismo, como puedan ser las urbanas o las bicicletas de carga o montaña. Puede seguirse el mismo proceso de diseño para todas las futuras versiones que sean concebidas.
- Aliarse con páginas de comercio electrónico o la creación de una página web donde puedan ser visibles las características diferenciadoras y virtudes del diseño que permita llegar al mayor número de potenciales clientes.
- Creación de un programa de personalización donde ofrecer a determinados usuarios finales cierta libertad en el diseño y composición del cuadro, así como un ajuste particular de la talla, acabados, pintura, etc. Aplicando un sobrecoste por esta gestión y aumentando el % de beneficio respecto a un cuadro común.  
Venta de bicicletas completas. Ofrecer al usuario final la posibilidad de comprar la bicicleta completa bajo demanda con los componentes que éste desee.
- Venta de kits de bicicletas infantiles. Utilizando el mismo concepto de diseño que para el cuadro *gravel*, puede diseñarse el cuadro de una bicicleta infantil que cualquier niño podría ensamblar bajo la supervisión de sus padres. El cuadro podría ser vendido como solo o como parte de una bicicleta completa.
- Desarrollar un sistema de intercambio de piezas y/o cuadros completos. Una de las virtudes del diseño del cuadro es que un mismo cuadro puede adaptarse a diferentes configuraciones. Además, puede ocurrir que un cuadro o bicicleta ya no cumpla con las necesidades del usuario y necesite un modelo o talla diferente. El objetivo sería desarrollar una aplicación de intercambio de piezas entre usuarios finales y/o la marca con el propósito de reutilizar todas aquellas partes sin uso en otros montajes sin que exista la necesidad de fabricarlas de nuevo.
- Crear un sistema de recogida y reciclaje de cuadros y partes que los clientes ya no quieran, estén dañadas o hayan quedado comercialmente obsoletos. Éstos serían reciclados para ser usados de nuevo en la fabricación de nuevas piezas.
- Al tratarse de un diseño modular, bicicletas de carga y servicios podrían ser diseñadas usando el mismo principio y tecnología de fabricación.
- Asociaciones con talleres locales que den soporte y mantenimiento.
- Venta de kits de conversión de bicicleta pulmonar en eléctrica.

## 10. CONCLUSIONES

Al inicio de este Trabajo de Fin de Grado se planteó como objetivo el diseño y concepción de un cuadro de bicicleta autoensamblable y compatible con sistemas de asistencia eléctrica de motores de buje, aplicando los conocimientos adquiridos durante el Grado en Ingeniería Mecánica impartido por la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Valladolid.

Para ello, tras una breve presentación del contexto en el que se desarrolla este trabajo, se ha realizado un análisis de mercado del que se ha concluido la relevancia creciente tanto de las bicicletas de gravel como de los sistemas de asistencia eléctrica al pedaleo. De este apartado hemos podido concluir que la bicicleta es un vehículo en auge, tanto en su vertiente más deportiva como medio de transporte unipersonal, ecológico y sostenible. Prueba de ello son las innumerables adaptaciones y variantes (según uso, materiales utilizados, etc.) que existen en el mundo del ciclismo. Es por ello que, cuando hablamos de una bicicleta, hablamos de un instrumento polivalente y sencillo, relativamente asequible y ampliamente utilizado a nivel mundial.

Posteriormente, y partiendo de los datos obtenidos durante los análisis previos, se ha diseñado el cuadro de bicicleta autoensamblable utilizando el programa de diseño en 3D Siemens NX, y se han descrito las técnicas y los materiales seleccionados para la fabricación de dicho cuadro. Además, se ha redactado el manual de ensamblaje para su montaje completo y se han descrito los pasos necesarios para convertir el cuadro diseñado en el de una bicicleta eléctrica. Este apartado, siguiendo la línea de lo mencionado previamente, se ha desarrollado prestando especial atención a los siguientes aspectos:

- Que pueda ser enviado a cualquier lugar del mundo. Uno de los mayores factores de emisión en la fabricación de una bicicleta es el traslado de ésta a destino por el gran volumen que ocupa una caja que pueda contenerla. Si se reduce ese volumen únicamente al espacio que ocupen todas las partes desmontadas el proceso será mucho más eficiente.
- Que con un manual de montaje y con las partes y herramientas necesarias puedan ser ensamblado por cualquier persona sin conocimientos técnicos y en cualquier lugar del mundo.
- Que el diseño del cuadro sea la base ideal por la cual mediante futuras versiones o adaptaciones permita ser compatible con todos los estándares del mercado con el objetivo de mantener un diseño actualizado, por un lado, y que usuarios que tienen bicicletas dañadas o desfasadas puedan dar una segunda vida a todos los componentes posibles de su anterior bicicleta. Dentro de estas posibles evoluciones se contempla la posibilidad, ya mencionada, de electrificar la bicicleta mediante un motor de buje trasero, lo cual permitiría al usuario aumentar las distancias recorridas o evitar la sudoración excesiva, entre otras ventajas.

- Al tratarse de un cuadro completamente de aluminio, procurar que la tasa de reciclabilidad lo más alta posible con el objetivo de volver a utilizar los recursos generados en nuevas piezas.

Por último y no menos importante, se han estudiado la viabilidad y el modelo de negocio del cuadro de bicicleta autoensamblable propuesto, analizando los costes de desarrollo necesarios y aquellos aspectos a los que sería conveniente prestar especial atención ya sea en sentido positivo (fortalezas, oportunidades) como negativo (debilidades, amenazas).

En base a estos puntos se han detallado a continuación las perspectivas de futuro de este Trabajo de Fin de Grado, especificando tanto mejoras técnicas como de producto, y observando con todo ello que el proyecto propuesto tiene amplias posibilidades de mejora y aplicación en el mercado actual.

## 11. BIBLIOGRAFÍA

- [1] “bicicleta | Definición | Diccionario de la lengua española | RAE - ASALE.” <https://dle.rae.es/bicicleta> (accessed Oct. 07, 2022).
- [2] “Bicicleta SCOTT Addict Gravel 20.” <https://www.scott-sports.com/es/es/product/scott-addict-gravel-20-bike> (accessed Jan. 10, 2023).
- [3] “DGT - Inicio.” <https://www.dgt.es/inicio/> (accessed Oct. 07, 2022).
- [4] “Diferencias entre EPAC y speed ebike - Biwbik. Bicicletas eléctricas.” <https://biwbik.com/blog/news/diferencias-entre-una-epac-y-una-speed-bike> (accessed Oct. 07, 2022).
- [5] “Pedelec y el lío de las bicicletas eléctricas: por qué estamos usando mal sus categorías, punto por punto.” <https://www.motorpasionmoto.com/ciudadanas/pedelec-lío-bicicletas-electricas-que-estamos-usando-mal-sus-categorías-punto-punto> (accessed Oct. 07, 2022).
- [6] “Historia de la bicicleta durante los últimos 200 años | Bikester.es.” <https://www.bikester.es/info/historia-bicicleta/> (accessed Oct. 07, 2022).
- [7] “La Historia de la Bicicleta - WeRbikes.” <https://www.werbikes.mx/blogs/werbikes-blog/la-historia-de-la-bicicleta/> (accessed Oct. 07, 2022).
- [8] “Bicycle Guider: Comprehensive Cycling Guide For 2022.” <https://www.bicycle-guider.com/> (accessed Oct. 07, 2022).
- [9] “BICICLETAS DE MONTAÑA, TIPOS Y MODALIDADES - MTBYMAS.” <https://www.mtbymas.com/2016/06/tipos-de-bicicletas-de-montana.html> (accessed Oct. 07, 2022).
- [10] “Tipos de bicicletas de montaña: todo lo que debes saber - Sanferbike.” <https://www.sanferbike.com/videostv/tipos-de-bicicletas-de-montana/> (accessed Oct. 07, 2022).
- [11] “Guía para entender los tipos de bicicletas de montaña | 🏍️.” <https://tuvalum.com/blog/diferentes-tipos-de-mountain-bike/> (accessed Oct. 07, 2022).
- [12] “OIZ M PRO – Orbea.” <https://www.orbea.com/es-es/bicicletas/montana/oiz/cat/oiz-m-pro> (accessed Oct. 07, 2022).
- [13] “Las mejores bicicletas de Down Country - Sanferbike.” <https://www.sanferbike.com/videostv/bicicletas-de-down-country/> (accessed Oct. 07, 2022).
- [14] “OIZ M PRO TR – Orbea.” <https://www.orbea.com/es-es/bicicletas/montana/oiz/cat/oiz-m-pro-tr> (accessed Oct. 07, 2022).
- [15] “Ciclismo de montaña modalidad trail - PEDALIA.” <https://pedalia.cc/ciclismo-montana-modalidad-trail/> (accessed Oct. 07, 2022).
- [16] “OCCAM M-LTD – Orbea.” <https://www.orbea.com/es-es/bicicletas/montana/occam/cat/occam-m-ltd> (accessed Oct. 07, 2022).
- [17] “RALLON M-LTD – Orbea.” <https://www.orbea.com/es-es/bicicletas/montana/rallon/cat/rallon-m-ltd> (accessed Oct. 07, 2022).
- [18] “¿Qué es el freeride? | MTB Pro.” <https://www.mtbpro.es/afondo/que-es-el-freeride> (accessed Oct. 07, 2022).
- [19] “FR AMR 8.7 AL Freeride Super-Enduro GHOST-Bikes.” <https://www.ghost-bikes.com/es/bicicletas/dobles/pagina-de-bicicletas/fr-amr-87-al> (accessed Oct. 07, 2022).
- [20] “Bicicletas de descenso | Guías Prácticas.” <https://www.guiaspracticas.com/bicicletas/bicicletas-de-descenso> (accessed Oct. 07, 2022).

- [21] "SUMMUM CARBON RR." <https://mondraker.com/wo/es/2022-summum-carbon-rr> (accessed Oct. 07, 2022).
- [22] "Bicicletas fat bike | Guías Prácticas." <https://www.guiaspracticass.com/bicicletas/bicicletas-fat-bike> (accessed Oct. 07, 2022).
- [23] "Mountain Bike Fat Bike KONA WOO 26" Verde 2022 | Bikeshop." [https://www.bikeshop.es/mountain-bike-fat-bike-kona-woo-26-verde-2022/289873.html?gshop=ES&ef\\_id=Cj0KCQjwnP-ZBhDiARIsAH3FSReq50WgEI6vYJhXuVxVa8X5EL8f6m7Bjhva9FtiumiOWevZAUGnOkEaAh67EALw\\_wcB:G:s&campaign\\_detail=smart\\_shopping&gclid=Cj0KCQjwnP-ZBhDiARIsAH3FSReq50WgEI6vYJhXuVxVa8X5EL8f6m7Bjhva9FtiumiOWevZAUGnOkEaAh67EALw\\_wcB](https://www.bikeshop.es/mountain-bike-fat-bike-kona-woo-26-verde-2022/289873.html?gshop=ES&ef_id=Cj0KCQjwnP-ZBhDiARIsAH3FSReq50WgEI6vYJhXuVxVa8X5EL8f6m7Bjhva9FtiumiOWevZAUGnOkEaAh67EALw_wcB:G:s&campaign_detail=smart_shopping&gclid=Cj0KCQjwnP-ZBhDiARIsAH3FSReq50WgEI6vYJhXuVxVa8X5EL8f6m7Bjhva9FtiumiOWevZAUGnOkEaAh67EALw_wcB) (accessed Oct. 07, 2022).
- [24] "¿Cuántos tipos de bicicleta de carretera hay? ¿Cuál debes elegir?" <https://solobici.es/cuantos-tipo-de-bici-de-carretera-hay/> (accessed Oct. 07, 2022).
- [25] "Tipos de bicicletas de carretera: apréndelo todo - Sanferbike." <https://www.sanferbike.com/videostv/tipos-de-bicicletas-de-carretera-aprendelo-todo/> (accessed Oct. 07, 2022).
- [26] "Bicicletas de carretera | Guías Prácticas." <https://www.guiaspracticass.com/bicicletas/bicicletas-de-carretera> (accessed Oct. 07, 2022).
- [27] "Orca – Orbea." <https://www.orbea.com/mx-es/bicycles/road/orca?country=US> (accessed Oct. 07, 2022).
- [28] "Por qué deberías tener una bicicleta de Gran Fondo." <https://tuvalum.com/blog/bicicletas-granfondo/> (accessed Oct. 07, 2022).
- [29] "AVANT H40-D – Orbea." <https://www.orbea.com/mx-es/bicicletas/carretera/avant/cat/avant-h40-d> (accessed Oct. 07, 2022).
- [30] "Bicicletas de carretera aero | Las más aerodinámicas." <https://bikingturia.com/bicicletas-carretera-aero/> (accessed Oct. 07, 2022).
- [31] "Comprar Bicicleta Orbea ORCA AERO M20LTD | Carretera." <https://www.biciescapa.com/es/bicicletas/carretera/bicicleta-orbea-orca-aero-m20ltd-28344> (accessed Oct. 07, 2022).
- [32] "Bicicletas de contrarreloj | Guías Prácticas." <https://www.guiaspracticass.com/bicicletas/bicicletas-de-contrarreloj> (accessed Oct. 07, 2022).
- [33] "Orbea Ordu M10iLTD, gris | Bikester.es." [https://www.bikester.es/orbea-ordu-m10iltld-M1015178.html?vgid=G1490687&\\_cid=21\\_1\\_1\\_9\\_2378\\_1490687\\_\\_pla&campaign\\_detail=smart\\_shopping&gclid=Cj0KCQjwnP-ZBhDiARIsAH3FSRe6LeQDpmvyPHJc7d2LyMYRQ5RKm8Nv0zOkrtazLehIXPIDzfy\\_AZYAuYwEALw\\_wcB](https://www.bikester.es/orbea-ordu-m10iltld-M1015178.html?vgid=G1490687&_cid=21_1_1_9_2378_1490687__pla&campaign_detail=smart_shopping&gclid=Cj0KCQjwnP-ZBhDiARIsAH3FSRe6LeQDpmvyPHJc7d2LyMYRQ5RKm8Nv0zOkrtazLehIXPIDzfy_AZYAuYwEALw_wcB) (accessed Oct. 07, 2022).
- [34] "Bicicletas de ciclocross | Guías Prácticas." <https://www.guiaspracticass.com/bicicletas/bicicletas-de-ciclocross> (accessed Oct. 07, 2022).
- [35] "Bicicleta de Carretera RX TEAM 5.0 - BH Bikes." [https://www.bhbikes.com/es\\_ES/bicicletas/carretera/ciclocross/rx-team-5-0?c=rrr](https://www.bhbikes.com/es_ES/bicicletas/carretera/ciclocross/rx-team-5-0?c=rrr) (accessed Oct. 07, 2022).
- [36] "¿Qué es una bicicleta Gravel? Toda la info en Bikester.es." <https://www.bikester.es/que-es-una-bicicleta-gravel/1023.html> (accessed Jul. 14, 2022).
- [37] "Que es una bici gravel sus características y definición." <https://gravelbicicleta.com/> (accessed Oct. 07, 2022).

- [38] “¿Qué es una bicicleta de gravel? - PEDALIA.” <https://pedalia.cc/que-es-una-bicicleta-de-gravel/> (accessed Oct. 07, 2022).
- [39] “Bicicleta de Carretera GRAVELX EVO 4.5 - BH Bikes.” [https://www.bhbikes.com/es\\_ES/bicicletas/carretera/aventura-y-gravel/gravelx-evo-4-5](https://www.bhbikes.com/es_ES/bicicletas/carretera/aventura-y-gravel/gravelx-evo-4-5) (accessed Oct. 07, 2022).
- [40] “Tipos de bicicletas urbanas ¿Cuál elegir?” <https://www.santafixie.com/blog/bicicletas-de-paseo-existen/> (accessed Oct. 07, 2022).
- [41] “Bicicleta de carga Riese Müller Load 60 - Madrid.” <https://ciclolutions.com/producto/riese-muller-load-60-cargobike/> (accessed Oct. 07, 2022).
- [42] “Equo Cargo Power 4.1 - O2feel e-bikes ES.” <https://o2feel.es/producto/equo-cargo-power-4-1/> (accessed Oct. 07, 2022).
- [43] “Compra bicicletas plegables | Compra bicicletas interurbanas | Brompton ES.” <https://es.brompton.com/bicicletas/brompton> (accessed Oct. 07, 2022).
- [44] “¿Qué es una bicicleta fixie y cuáles son sus ventajas?” <https://www.santafixie.com/blog/20-ventajas-la-utilizacion-una-bicicleta-fixie/> (accessed Oct. 07, 2022).
- [45] “¿Qué es una bicicleta single speed y cuáles son sus ventajas?” <https://www.santafixie.com/blog/que-es-una-bicicleta-single-speed/> (accessed Oct. 07, 2022).
- [46] “Bicicleta FabricBike Original negra de acero online - Bici fixie.” <https://www.santafixie.com/fabric-matte-black-orange.html> (accessed Oct. 07, 2022).
- [47] “CONOR MALIBU MIXTA.” [https://conorbikes.com/es/bicicletas-urbanas/1528-5706-conor-malibu-mixta-8424065742651.html#/61-talla-ws/74-color-verde\\_oliva](https://conorbikes.com/es/bicicletas-urbanas/1528-5706-conor-malibu-mixta-8424065742651.html#/61-talla-ws/74-color-verde_oliva) (accessed Oct. 07, 2022).
- [48] “Commuter 5 | CANYON ES.” <https://www.canyon.com/es-es/bicicletas-hibridas/bicicletas-commuter/commuter/commuter-5/2796.html> (accessed Oct. 07, 2022).
- [49] “Tipos de Bicicletas BMX, estilos y modalidades [Guía 2022].” <https://www.biciscope.com/bicicletas-bmx-tipos-marcas-y-precios/> (accessed Oct. 08, 2022).
- [50] “Tipos de Bicicletas BMX, estilos y modalidades [Guía 2022].” <https://www.biciscope.com/bicicletas-bmx-tipos-marcas-y-precios/> (accessed Jul. 17, 2022).
- [51] “Downtown 18 - Haro Bikes.” <https://harobikes.com/collections/bmx/products/downtown-18-2021> (accessed Oct. 08, 2022).
- [52] “Dana - Haro Bikes.” <https://harobikes.com/collections/bmx/products/dana-2023> (accessed Oct. 08, 2022).
- [53] “Thread One - Haro Bikes.” <https://harobikes.com/collections/dirt-jumper/products/thread-one-2021> (accessed Oct. 08, 2022).
- [54] “Blackout - Haro Bikes.” <https://harobikes.com/collections/race/products/blackout-2023> (accessed Oct. 08, 2022).
- [55] “¿Cómo elegir una bicicleta de pista? | Alltricks.” <https://www.alltricks.es/surl/elegir-bici-pista> (accessed Oct. 07, 2022).
- [56] “Bicicleta de Pista Planet X Pistard Air - Comprar Bicicletas Fixie Online.” <https://imbikes.com/bicicletas/bicicletas-fixie/bicicleta-de-pista-planet-x-pistard-air.html> (accessed Oct. 07, 2022).

- [57] “¿Qué es una bicicleta tándem? - PEDALIA.” <https://pedalia.cc/que-es-una-bicicleta-tandem/> (accessed Oct. 07, 2022).
- [58] “Bicicleta Tandem verso \* Ciclo-mania.” <https://ciclo-mania.com/bicicletas-de-paseo/bicicleta-tandem/> (accessed Oct. 07, 2022).
- [59] “Bicicletas de trial | Guías Prácticas.” <https://www.guiaspracticas.com/bicicletas/bicicletas-de-trial> (accessed Oct. 07, 2022).
- [60] “Bicicleta Echo Pure 26" - TRIAL-BIKES.” <https://www.trial-bikes.com/bicicleta-echo-pure-26-p-538333.html> (accessed Oct. 07, 2022).
- [61] “Asociación de Marcas y Bicicletas de España – AMBE.” <http://asociacionambe.com/> (accessed Jul. 14, 2022).
- [62] “Estudios & Informes – Asociación de Marcas y Bicicletas de España.” <http://asociacionambe.com/recursos-2/> (accessed Jul. 14, 2022).
- [63] “Los deportes más practicados: el desfase entre el deporte federado y el deporte popular y recreativo | CSD - Consejo Superior de Deportes.” <https://www.csd.gob.es/es/los-deportes-mas-practicados-el-desfase-entre-el-deporte-federado-y-el-deporte-popular-y-recreativo> (accessed Jul. 14, 2022).
- [64] “EL SECTOR DE LA BICICLETA EN CIFRAS 2021 Con la colaboración de”.
- [65] “Mammoth | Tienda de bicicletas y accesorios de ciclismo.” <https://www.mammothbikes.com/> (accessed Jul. 14, 2022).
- [66] “Buhobike - Tienda online de bicicletas y accesorios de ciclismo.” <https://www.buhobike.com/> (accessed Jul. 14, 2022).
- [67] “La inflación se disparó hasta el 6,5% en diciembre, dejando el IPC promedio de 2021 en el 3,1% | Macroeconomía.” <https://www.elmundo.es/economia/macroeconomia/2022/01/14/61e12f78fc6c8371338b45fa.html> (accessed Jul. 14, 2022).
- [68] “El Consejo General de Economistas eleva al 7,1% su previsión de inflación para 2022 | Economía | EL PAÍS.” <https://elpais.com/economia/2022-05-26/el-consejo-general-de-economistas-eleva-al-71-su-prevision-de-inflacion-para-2022.html> (accessed Jul. 14, 2022).
- [69] “BARÓMETRO DE LA BICICLETA EN ESPAÑA”, Accessed: Jul. 14, 2022. [Online]. Available: [www.twitter.com/\\_GESOP](http://www.twitter.com/_GESOP)
- [70] “Éstas fueron las bicicletas más vendidas en 2021.” <https://tuvalum.com/blog/bicicletas-mas-vendidas-2021/> (accessed Jul. 14, 2022).
- [71] “The Gravel Boom está cambiando el ciclismo de ruta | knowledgeoftravel.com | Afuera en línea.” <https://www.knowledgeoftravel.com/2332511/gravel-bike-road-cycling-gear> (accessed Jul. 14, 2022).
- [72] “Las mejores bicicletas gravel 2022 - PEDALIA.” <https://pedalia.cc/las-mejores-bicicletas-gravel/> (accessed Jul. 14, 2022).
- [73] “Bikes, Bike Reviews and Bike News - BikeRadar.” <https://www.bikeradar.com/> (accessed Jul. 14, 2022).
- [74] “Qué es la ‘gravel’ y por qué es la bicicleta del futuro: el boom de la carretera y montaña.” [https://www.elconfidencial.com/deportes/ciclismo/2019-01-10/ciclismo-gravel-bicicleta-montana-vuelta-ciclista-espana\\_1747846/](https://www.elconfidencial.com/deportes/ciclismo/2019-01-10/ciclismo-gravel-bicicleta-montana-vuelta-ciclista-espana_1747846/) (accessed Jul. 14, 2022).
- [75] “Homepage Spain | Specialized.com.” <https://www.specialized.com/es/es> (accessed Jul. 14, 2022).
- [76] “Las 10 bicis gravel más vendidas ideales listas para disfrutar.” <https://www.sanferbike.com/videostv/las-10-bicis-gravel-mas-vendidas-y-listas-para-disfrutar/> (accessed Jul. 14, 2022).

- [77] “Bicicletas gravel: marcas y modelos principales | Maillot Magazine.”  
<https://www.maillotmag.com/afondo/bicicletas-gravel-marcas-y-modelos-principales>  
(accessed Jul. 14, 2022).
- [78] “11 of the best electric gravel bikes you can buy - e-gravel bikes tried and tested | off-road.cc.” <https://off.road.cc/content/buying/best-electric-gravel-adventure-bikes-you-can-buy-e-gravel-bikes-tried-and-tested-5773> (accessed Jul. 14, 2022).
- [79] “Best gravel bikes 2022: our pick of the top models | Cycling Weekly.”  
<https://www.cyclingweekly.com/group-tests/adventure-road-and-gravel-bikes-a-buyers-guide-187448> (accessed Jul. 14, 2022).
- [80] “Best electric gravel bikes | Cycling Weekly.” <https://www.cyclingweekly.com/group-tests/best-electric-gravel-bikes-463129> (accessed Jul. 14, 2022).
- [81] “10 bicis de gravel con la mejor relación calidad/precio.” <https://solobici.es/10-bicis-de-gravel-con-la-mejor-relacion-calidad-precio/> (accessed Jul. 14, 2022).
- [82] “MERIDA BIKES.” <https://www.merida-bikes.com/es-es> (accessed Jul. 14, 2022).
- [83] “Orbea – Orbea.” <https://www.orbea.com/es-es/> (accessed Jul. 14, 2022).
- [84] “Ribble Cycles | Leading British Cycle Manufacturer | Bike Shop | Since 1897 | Ribble Cycles.” <https://www.ribblecycles.co.uk/> (accessed Jul. 14, 2022).
- [85] “Lo Mejor en Ciclismo, Esquí, Running y Moto | Scott.” <https://www.scott-sports.com/es/es> (accessed Jul. 14, 2022).
- [86] “Homepage BMC.” <https://www.bmc-switzerland.com/> (accessed Jul. 14, 2022).
- [87] “Cannondale Bikes | Road, Mountain, Kids, Electric Bikes.”  
<https://www.cannondale.com/es-es/> (accessed Jul. 14, 2022).
- [88] “Bicicletas Online | CANYON ES.” <https://www.canyon.com/es-es/> (accessed Jul. 14, 2022).
- [89] “Giant Bicycles - El mayor fabricante del Mundo de bicicletas.” <https://www.giant-bicycles.com/es> (accessed Jul. 14, 2022).
- [90] “Bicicletas Trek - Las mejores bicicletas y el mejor equipamiento de ciclismo del mundo | Trek Bikes (ES).” [https://www.trekbikes.com/es/es\\_ES/](https://www.trekbikes.com/es/es_ES/) (accessed Jul. 14, 2022).
- [91] “Home - MAHLE SmartBike Systems.” <https://mahle-smartbike.com/> (accessed Jul. 14, 2022).
- [92] “Performance Line CX: el motor Bosch más deportivo para las eMTB - Bosch eBike Systems.” <https://www.bosch-ebike.com/es/productos/performance-line-cx> (accessed Oct. 07, 2022).
- [93] “Motor suave y ligero SL 1.1 | Specialized.com.”  
<https://www.specialized.com/es/es/motor-suave-y-ligero-sl-1-1/p/187101?color=300140-187101> (accessed Oct. 07, 2022).
- [94] “¿Qué significa HMI? Interfaz humano-máquina | COPA-DATA.”  
<https://www.copadata.com/es/productos/zenon-software-platform/visualizacion-control/que-significa-hmi-interfaz-humano-maquina-copa-data/> (accessed Jul. 14, 2022).
- [95] “Abordando los retos del diseño de bicicletas eléctricas - Electrónica.”  
<https://www.interempresas.net/Electronica/Articulos/246531-Abordando-los-retos-del-diseno-de-bicicletas-electricas.html> (accessed Jul. 14, 2022).
- [96] “¿Qué papel juega el controlador de una bici eléctrica?”  
<https://www.biobike.es/2021/09/29/controlador-de-una-bici-electrica/> (accessed Jul. 14, 2022).
- [97] “Motores delanteros, centrales o traseros, ¿cuál es la mejor opción para tu ebike?- NOULIMITS - Bicicletas eléctricas Barcelona.”

- <https://bicicletaselectricasbarcelona.es/motores-delanteros-centrales-o-traseros-cual-es-la-mejor-opcion/> (accessed Jul. 14, 2022).
- [98] “Es Otro Mundo | Specialized.com.” <https://www.specialized.com/es/es/turbo-creo-sl> (accessed Jul. 14, 2022).
- [99] “Topstone Neo Carbon 4 | Electric Road Bikes | Cannondale.” <https://www.cannondale.com/es-es/bikes/electric/e-road/topstone-neo/topstone-neo-carbon-4-c62251m> (accessed Jul. 14, 2022).
- [100] “GAIN ESPECIFICACIONES TÉCNICAS 1 BLUE PAPERS GAIN MANUAL TÉCNICO”.
- [101] “Guía de materiales de cuadros de bicicleta, ¿cuál es mejor?” <https://tuvalum.com/blog/guia-materiales-cuadros-bicicleta/> (accessed Jul. 14, 2022).
- [102] “¿Qué material es el mejor para el cuadro de mi bicicleta? - PEDALIA.” <https://pedalia.cc/material-mejor-cuadro-bicicleta/> (accessed Jul. 14, 2022).
- [103] “¿CÓMO DEBE SER UNA BICICLETA DE GRAVEL Y SUS COMPONENTES? - todoGravel.” <https://todogravel.com/como-debe-ser-un-bicicleta-gravel-y-sus-componentes> (accessed Oct. 07, 2022).
- [104] “Bicicletas gravel: carbono vs aluminio vs acero vs titanio - PEDALIA.” <https://pedalia.cc/bicicletas-gravel-carbono-vs-aluminio-vs-acero-vs-titanio/> (accessed Nov. 20, 2022).
- [105] “Bicicletas gravel: carbono vs aluminio vs acero vs titanio - PEDALIA.” <https://pedalia.cc/bicicletas-gravel-carbono-vs-aluminio-vs-acero-vs-titanio/> (accessed Jul. 14, 2022).
- [106] “Informe: Materiales para cuadros de bicicletas | Maillot Magazine.” <https://www.maillotmag.com/afondo/informe-materiales-para-cuadros-de-bicicletas> (accessed Oct. 07, 2022).
- [107] “Ribble CGR 725 Pro - Ribble Cycles | Ribble Cycles.” <https://www.ribblecycles.co.uk/ribble-cgr-725-pro/> (accessed Jul. 14, 2022).
- [108] “Aluminio 6061 vs 7075, ¿cuál es la diferencia? - DEK.” <https://www.dekmake.com/es/6061-contras-7075-aluminio/> (accessed Jul. 14, 2022).
- [109] “Diferencias del aluminio usado en ciclismo, 7075, 6061 y 2014-T6.” <https://www.neopren.es/blog/tipos-de-aluminio-usados-en-ciclismo-7075-6061-y-2014-t6/> (accessed Jul. 14, 2022).
- [110] “6061-T6 Aluminium - The Ultimate Guide - Matmatch.” <https://matmatch.com/learn/material/6061-t6-aluminium> (accessed Oct. 07, 2022).
- [111] “Ribble CGR AL - Alloy Gravel Bike | Ribble Cycles | Ribble Cycles.” <https://www.ribblecycles.co.uk/ribble-cgr-al/> (accessed Jul. 14, 2022).
- [112] “CGR SL - Hero | Ribble Cycles.” <https://www.ribblecycles.co.uk/ribble-cgr-sl-shimano-ultegra-di2/> (accessed Jul. 14, 2022).
- [113] “Ribble CGR Ti Pro | Titanium Cross Gravel Road Bikes | Ribble Cycles | Ribble Cycles.” <https://www.ribblecycles.co.uk/ribble-cgr-ti-pro/> (accessed Jul. 14, 2022).
- [114] “La geometría de la bicicleta gravel - Graveleros Inspiración.” <https://www.graveleros.com.ar/comunidad-gravel/inspiracion/geometria-de-la-bicicleta-gravel#parametros> (accessed Jul. 14, 2022).
- [115] “La geometría de la bicicleta gravel - Graveleros Inspiración.” <https://www.graveleros.com.ar/comunidad-gravel/inspiracion/geometria-de-la-bicicleta-gravel#parametros> (accessed Nov. 06, 2022).
- [116] “Todo sobre las medidas de las cubiertas para bicicleta, la guía completa - El Blog de Cubiertas.” <https://www.cubiertasmtb.com/blog/todo-sobre-las-medidas-de-las-cubiertas-para-bicicleta-la-guia-completa/> (accessed Nov. 14, 2022).

- [117] “Direcciones y recambios | FSA.”  
[https://shop.fullspeedahead.com/es/prodotti\\_1/direcciones-y-recambios?\\_ga=2.112798349.882691467.1665869412-316025584.1665869411](https://shop.fullspeedahead.com/es/prodotti_1/direcciones-y-recambios?_ga=2.112798349.882691467.1665869412-316025584.1665869411) (accessed Oct. 16, 2022).
- [118] “DIRECCIONES, TIPOS Y MEDIDAS. APRENDE A DIFERENCIARLAS.”  
<https://www.emeb.es/direcciones-tipos-y-medidas/> (accessed Oct. 16, 2022).
- [119] “Guía para escoger una tija de sillín, ¿carbono o aluminio? ¿recta o con retroceso?”  
<https://esmtb.com/guia-tija-sillin-carbono-aluminio/> (accessed Oct. 15, 2022).
- [120] “SILEX 4000 - MERIDA BIKES.” <https://www.merida-bikes.com/es-es/bike/3116/silex-4000> (accessed Oct. 15, 2022).
- [121] “Bicicleta SCOTT Addict Gravel 10.” <https://www.scott-sports.com/es/es/product/scott-addict-gravel-10-bike?article=286452054> (accessed Oct. 15, 2022).
- [122] “ROTORES DE DISCO CON TECNOLOGÍA DE ENFRIAMIENTO PARA TU GRAVEL ¿VALEN LA PENA? - todoGravel.” <https://todogravel.com/rotores-de-disco-con-tecnologia-de-enfriamiento-para-tu-gravel-valen-la-pena> (accessed Oct. 15, 2022).
- [123] “Flat Mount MTB | Peter Verdone Designs.” <http://www.peterverdone.com/flat-mount-mtb/> (accessed Oct. 15, 2022).
- [124] “Todo sobre las medidas de las cubiertas para bicicleta, la guía completa - El Blog de Cubiertas.” <https://www.cubiertasmtb.com/blog/todo-sobre-las-medidas-de-las-cubiertas-para-bicicleta-la-guia-completa/> (accessed Oct. 23, 2022).
- [125] “¿QUÉ MEDIDA DE CUBIERTAS SON ADECUADAS PARA EL GRAVEL? - todoGravel.”  
<https://todogravel.com/que-medida-de-cubiertas-son-ade cuadas-para-el-gravel> (accessed Oct. 30, 2022).
- [126] “Cubiertas gravel: todo lo que necesitas saber para acertar.”  
<https://www.sanferbike.com/videostv/conocelo-todo-sobre-cubiertas-gravel/> (accessed Oct. 30, 2022).
- [127] “Exploro Ultra - 3T Bike.” <https://www.3t.bike/en/240-exploro-ultra> (accessed Oct. 29, 2022).
- [128] “¿De qué se trata el Boost? | Alltricks.” <https://www.alltricks.es/surl/el-boost> (accessed Oct. 31, 2022).
- [129] “Punteras de cambio: ¿Qué son y dónde comprar online?”  
<https://www.santafixie.com/blog/punteras-de-cambio/> (accessed Oct. 31, 2022).
- [130] “VAR y su gama de más de 150 patillas de cambio para bicicletas.”  
<https://esmtb.com/patillas-cambio-bicicletas-var/> (accessed Oct. 31, 2022).
- [131] “PATILLA SRAM UDH: UN PLAN MAQUIAVÉLICO - Escuela La Bicicleta.”  
<https://labicicleta.net/escuela/la-puntera-de-cambio-universal-sram-udh/> (accessed Oct. 31, 2022).
- [132] “Aprende A Distinguir Los Ejes Traseros De Bicicleta - The Bike Village.”  
<https://www.thebikevillage.com/blog/ejes-traseros-bicicleta-blog-thebikevillage/> (accessed Oct. 31, 2022).
- [133] “FRAME FIT SPECIFICATIONS S-Series,” 2022.
- [134] “Carbon-Ti’s sleek X-Lock Evo thru-axles evolve to shed weight, maintain stiffness - Bikerumor.” <https://bikerumor.com/carbon-tis-sleek-x-lock-evo-thru-axles-evolve-to-shed-weight-maintain-stiffness/> (accessed Oct. 31, 2022).
- [135] “Tipos de pedalier de bicicleta | NO SIN MI BICI.”  
<https://nosinmibici.com/2016/06/15/tipos-de-pedalier-de-bicicleta/> (accessed Oct. 08, 2022).

- [136] "M30-T47 68/73mm - Praxis Works." <https://praxiscycles.com/es/?product=m30-t47-6873mm> (accessed Oct. 08, 2022).
- [137] "M30-T47 I.B. - Praxis Works." <https://praxiscycles.com/es/?product=m30-t47-i-b> (accessed Oct. 08, 2022).
- [138] "NO.94 HBS/CR 1.5 | FSA." [https://shop.fullspeedahead.com/es/prodotti\\_1/direcciones-y-recambios/no-94-hbs-cr-1-5](https://shop.fullspeedahead.com/es/prodotti_1/direcciones-y-recambios/no-94-hbs-cr-1-5) (accessed Oct. 16, 2022).
- [139] "Seatpost diameter sizes (standards) | BikeGremlin." <https://bike.bikegremlin.com/3114/seat-post-diameter-sizes-standards/> (accessed Oct. 15, 2022).
- [140] "Seatposts | For the best sitting position." [https://bbbcycling.com/es\\_es/piezas/sillines-y-tijas/tijas-de-sillin#page=1](https://bbbcycling.com/es_es/piezas/sillines-y-tijas/tijas-de-sillin#page=1) (accessed Oct. 15, 2022).
- [141] "Seatpost Adapters - Cane Creek Cycling Components." <https://canecreek.com/product/seatpost-adapters/> (accessed Oct. 15, 2022).
- [142] "FRAME FIT SPECIFICATIONS S-Series," 2022.
- [143] "Carbon gravel frame X-Gravel - ICAN Cycling." <https://icancycling.com/collections/gravel-bike-frame/products/x-gravel-bike-frameset> (accessed Oct. 30, 2022).
- [144] "UDH&FULL\_MOUNT\_RD\_FRAME\_SPEC\_REV\_G".
- [145] "UNE-EN ISO 7250-1:2010 Definiciones de las medidas básicas del..." <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0046047> (accessed Jan. 08, 2023).
- [146] "Cada talla un diseño específico y tallaje S-Sizing, el Rider-First de Specialized | MTB Pro." <https://www.mtbpro.es/afondo/cada-talla-un-diseno-especifico-y-tallaje-s-sizing-el-rider-first-de-specialized> (accessed Jan. 09, 2023).
- [147] "Estatura media de hombres y mujeres en todo el mundo." <https://www.datosmundial.com/estatura-promedio.php> (accessed Jan. 09, 2023).
- [148] "PODIUM CARBON RR SL." <https://mondraker.com/be/es/2023-podium-carbon-rr-sl?c=99> (accessed Jan. 10, 2023).
- [149] "La geometría de tu bici: sus medidas y lo que significan | Maillot Magazine." <https://www.maillotmag.com/afondo/la-geometria-de-tu-bici-sus-medidas-y-lo-que-significan> (accessed Jan. 24, 2023).
- [150] "bc original Horquilla Kol Gravel Carbon - bike-components." <https://www.bike-components.de/es/bc-original/Horquilla-Kol-Gravel-Carbon-p90437/> (accessed Jan. 24, 2023).
- [151] "Se pueden fabricar cuadros de carbono en Europa, el ejemplo de 3T." <https://esmtb.com/asi-se-fabrica-un-cuadro-de-carbono-en-europa-el-ejemplo-de-3t/> (accessed Feb. 05, 2023).
- [152] "▷ Tipo de soldadura para bicicletas - Oxia Cycles." <https://oxiacycles.com/soldadura-para-bicicletas/> (accessed Feb. 05, 2023).
- [153] "Portada | Angel Cycle Works." <https://angelcycleworks.com/> (accessed Feb. 05, 2023).
- [154] "QUÉ ES LA SOLDADURA EN FRÍO | Web Oficial EUROINNOVA." <https://www.euroinnova.edu.es/blog/que-es-la-soldadura-en-frio#soldadura-en-friacuteco-productos-especiaceuteficos> (accessed Feb. 05, 2023).
- [155] "▷ Tipo de soldadura para bicicletas - Oxia Cycles." <https://oxiacycles.com/soldadura-para-bicicletas/> (accessed Feb. 05, 2023).
- [156] "Constructores de cuadros: volver a las raíces." <https://ciclosfera.com/a/constructores-cuadros> (accessed Feb. 05, 2023).
- [157] "Así se fabrican lo cuadros de carbono trenzado." <https://www.brujulabike.com/video-fabricacion-cuadro-bicicleta-carbono-trenzado/> (accessed Feb. 05, 2023).

- [158] “Se pueden fabricar cuadros de carbono en Europa, el ejemplo de 3T.”  
<https://esmtb.com/asi-se-fabrica-un-cuadro-de-carbono-en-europa-el-ejemplo-de-3t/>  
(accessed Feb. 05, 2023).
- [159] “Serie Constructores: C.S. Hirose – ETBICICLETA.” <https://etbicicleta.com/noticias/serie-constructores-hirose/> (accessed Feb. 06, 2023).
- [160] “Bastion Cycles. Bespoke bicycles for passionate enthusiasts.”  
<https://www.bastioncycles.com/> (accessed Feb. 06, 2023).
- [161] “Home page.” <https://www.athertonbikes.com/> (accessed Feb. 06, 2023).
- [162] “¿Cuál es la diferencia entre aluminio 6061 vs 6063? - Blog - Perfiles de aluminio.”  
<https://perfilesdealuminio.net/articulo/icual-es-la-diferencia-entre-aluminio-6061-vs-6063/11> (accessed Feb. 09, 2023).
- [163] “LOCTITE EA 9466 - Adhesivo epoxi estructural bicomponente - Henkel Adhesives.”  
[https://www.henkel-adhesives.com/es/es/producto/structural-adhesives/loctite\\_ea\\_9466.html](https://www.henkel-adhesives.com/es/es/producto/structural-adhesives/loctite_ea_9466.html) (accessed Feb. 09, 2023).
- [164] “Nural 21 Soldadura metálica en frío.” [https://www.pattex.es/pagina-de-inicio/productos/adhesivos/bicomponentes/para-el-profesional/metal/nural\\_21.html](https://www.pattex.es/pagina-de-inicio/productos/adhesivos/bicomponentes/para-el-profesional/metal/nural_21.html)  
(accessed Feb. 09, 2023).
- [165] “Araldite Metal - Ceys.” <https://mundoceys.com/producto/47/araldite-metales> (accessed Feb. 09, 2023).
- [166] “NX | Siemens Software.”  
<https://www.plm.automation.siemens.com/global/es/products/nx/> (accessed Jan. 29, 2023).
- [167] “Caja para bicicletas | Correos Market.” <https://www.market.correos.es/product/caja-bicicleta> (accessed Jul. 08, 2023).
- [168] “Double Walled Cardboard Bike Box for Frame or Wheel | SendBike.”  
<https://sendbike.com/products/bicycle-box-frame-or-wheel> (accessed Jul. 08, 2023).
- [169] “Adhesivos, impermeabilizantes y cintas Ceys ¡Lo arregla todo! - Ceys.”  
[https://mundoceys.com/?gclid=EAlaIQobChMlv6-Zou39\\_wIVhouDBx02PgJUEAAYASAAEgJyqvD\\_BwE](https://mundoceys.com/?gclid=EAlaIQobChMlv6-Zou39_wIVhouDBx02PgJUEAAYASAAEgJyqvD_BwE) (accessed Jul. 08, 2023).
- [170] “Aluminio 6061: Conozca Sus Propiedades y Usos - Gabrian.”  
<https://www.gabrian.com/es/aluminio-6061-conozca-sus-propiedades-y-usos/> (accessed Jul. 08, 2023).
- [171] “Steel Vs Aluminum Bike Frame: Pros and Cons - Where The Road Forks.”  
<https://wheretheroadforks.com/steel-vs-aluminum-bike-frame-pros-and-cons/> (accessed Jul. 08, 2023).
- [172] “GrabCAD Making Additive Manufacturing at Scale Possible.” <https://grabcad.com/>  
(accessed Jul. 08, 2023).
- [173] “Hacer un un Plan de Viabilidad con éxito | Advantic.” <https://advantic.es/plan-de-viabilidad/> (accessed Jul. 02, 2023).
- [174] “Business Model Canvas: en qué consiste y cómo se elabora.”  
<https://www.unir.net/empresa/revista/business-model-canvas/> (accessed Jul. 02, 2023).
- [175] “Análisis FODA: qué es y cómo usarlo (con ejemplos) [2021] • Asana.”  
<https://asana.com/es/resources/swot-analysis> (accessed Jul. 01, 2023).
- [176] “Bricolaje, Decoración, Jardín y Construcción - Leroy Merlin.” <https://www.leroymerlin.es/>  
(accessed Jul. 04, 2023).
- [177] “Tubefittings.eu - Tienda en línea con conexiones de tubería.” <https://tubefittings.eu/es/>  
(accessed Jul. 04, 2023).

- [178] “UNE-EN ISO 4210-2:2015 Ciclos. Requisitos de seguridad para bi...”  
<https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0055947>  
(accessed Jul. 04, 2023).

## ANEXOS

1. Plano 1: L1 - Tubo diagonal
2. Plano 2: L2 - Tubo dirección
3. Plano 3: L3 - Tubo superior
4. Plano 4: L4 - Tubo sillín
5. Plano 5: R1 - Caja pedalier/vainas
6. Plano 6: R2 - Racor diagonal/dirección
7. Plano 7: R3 - Racor dirección/superior
8. Plano 8: R4 - Racor superior/sillín
9. Plano 9: R5 - Racor Sillín tirantes
10. Plano 10: R6 - Puntera izquierda
11. Plano 11: R7 - Puntera derecha
12. Plano 12: T5 - Placa fijación vainas