



POLITÉCNICA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

José Gutiérrez Abascal, 2. 28006 Madrid
Tel: 91 336 3060
info.industriales@upm.es

www.industriales.upm.es



Alejandro Cuevas Cabezas

05 TRABAJO FIN DE MASTER

INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE MASTER

CÁLCULO Y DISEÑO DE CUADRO DE BICICLETA DE DOBLE SUSPENSIÓN PARA USO EN CROSS COUNTRY MARATÓN

JULIO 2022

Alejandro Cuevas Cabezas

DIRECTOR DEL TRABAJO FIN DE MASTER:

**Gregorio Romero Rey y
Enrique Alcalá Fazio**

TRABAJO FIN DE MASTER
PARA LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE MASTER EN
INGENIERÍA MECÁNICA



AGRADECIMIENTOS

Quiero dedicar este proyecto a mi familia y a mi pareja por todo el apoyo durante este periodo, en los buenos y menos buenos momentos, a mis compañeros del Máster por hacer que estudiar fuese más ameno y a todos aquellos con los que he compartido kilómetros sobre una bicicleta y me han hecho amar este deporte, especialmente a Vicente Vallejo López que siempre estará presente en mis rutas.

Por último, me gustaría agradecer a mis tutores, Gregorio Romero Rey y Enrique Alcalá Fazio por sus consejos, ayuda y el seguimiento.

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo se ha realizado con el objetivo de diseñar una bicicleta de doble suspensión dentro de la modalidad de Cross Country Maratón que cumpla con las necesidades de los usuarios españoles.

Para comenzar el proyecto se investigó sobre los modelos de bicicletas actuales que hay dentro de esta disciplina y en las disciplinas más próximas, así como las predecesoras de estas bicicletas. Todo esto con el fin de conocer el mercado, la competencia y hacia donde se enfoca la evolución de estas bicicletas actualmente.

Al mismo tiempo se ha investigado sobre los diferentes sistemas de suspensión de estas bicicletas y las características en cuanto a comportamiento y cinemática de cada uno de estos. Se observó que la mayoría de las bicicletas están desarrolladas pensando en los ciclistas que compiten a nivel profesional, cuyo rendimiento y habilidades está lejos de las del público normal. Durante esta fase se analizaron cuáles son las principales características de la cinemática de una bicicleta que se deben tener en cuenta.

Otra de las actividades que se realizaron durante esta fase previa fue la elaboración de una encuesta publicada en ForoMTB, principal foro de ciclismo de habla hispana, en la que se buscaban conocer los hábitos, los intereses y las preferencias del público que practica mountain bike en España.

Durante el tiempo que estuvo publicada la encuesta se comenzó a trabajar en la cinemática de la suspensión trasera, pero el desarrollo de esta requiere de conocer la localización del centro de gravedad.

Para la localización del centro de gravedad se crea en MATLAB una simulación del movimiento de pedaleo del ciclista utilizando datos de las propiedades físicas de los diferentes segmentos corporales en función de la altura del individuo y de su masa. Se simula el movimiento de pedaleo suponiendo las piernas como mecanismos de cinco barras y con estos resultados se analiza la posición media del centro de gravedad y su movimiento durante el ciclo de pedaleo para un ciclista que encaja con el percentil 50 de estatura para hombres en España y para los ciclistas de menor y mayor estatura que podrán llevar la bici.

Posteriormente se simula el funcionamiento de un amortiguador a partir de los datos de los planos del fabricante y de una vista seccionada de ese modelo. A partir de los datos obtenidos se estudia como influyen las fuerzas de pedaleo y las fuerzas inerciales producidas durante

la pedalada. Analizando estos datos se obtiene el punto ideal de funcionamiento de la cinemática para minimizar las amplitudes de estos efectos, y a partir de estos datos y el del centro de gravedad de los ciclistas, se comienza a diseñar el basculante.

El diseño del basculante, realizado mediante el programa Linkage Desing, se centra en lograr un sistema que cumpla con las necesidades y preferencias de los ciclistas que han participado en la encuesta. Para ello se busca que el amortiguador funcione con independencia de las fuerzas de pedaleo y de frenado y que permita a los ciclistas sacar el máximo partido al recorrido del amortiguador.

Una vez está definida la cinemática y la geometría de la bicicleta se comienza a diseñar el cuadro utilizando Siemens NX, buscando que la postura de pedaleo sea cómoda y que la bicicleta tenga un buen equilibrio entre estabilidad y agilidad.

Al mismo tiempo que se diseña el cuadro se eligen los distintos componentes que formarán la bicicleta, ya que muchos de estos tienen distintos estándares que dictan la geometría final. A la hora de seleccionar los componentes se prioriza la facilidad de mantenimiento de estos y su duración.

Una vez se tienen todos los estándares claros y el cuadro está diseñado, se procede al estudio de la norma UNE EN ISO 4210 que define los requisitos de seguridad para las bicicletas. Se analizan los criterios de diseño y los casos de ensayo para cuadros de carbono y se estudian las mejores formas para solucionarlos con los recursos disponibles.

La bicicleta diseñada está pensada para ser fabricada en fibra de carbono por lo que previo a las simulaciones se estudian las distintas fibras de carbono, sus propiedades y cómo fabricar cuadros a partir de estas. Una vez se aclara ese punto se comienza con las simulaciones utilizando el módulo de elementos finitos de Siemens NX. Se crean los elementos auxiliares que requieren las simulaciones y se crean las restricciones internas y externas adecuadas para simular cada caso.

Una vez se han obtenido los resultados se evalúa si el cuadro cumple con los requisitos necesarios para considerar los ensayos superados. En caso de no ser así se procede a realizar un rediseño de la estructura o del laminado en las zonas críticas, según corresponda.

Una vez realizadas las modificaciones oportunas se vuelven a simular los distintos ensayos y si han pasado satisfactoriamente se dan por finalizadas las simulaciones.

Palabras clave

- Bicicleta
- Mountain bike
- Cross Country
- Maratón
- Cinemática
- Elementos finitos
- Estudio de mercado
- Diseño
- Fibra de carbono
-

Códigos UNESCO

1203.26 Simulación

1203.09 Diseño Con Ayuda del Ordenador (Ver 3304.06)

1204.12 Análisis Tensorial

1209.03 Análisis de Datos

5311.06 Estudio de Mercado

3299 Otras Especialidades Médicas (Medicina Deportiva)

ÍNDICE

.....	1
1 OBJETO DEL PROYECTO.....	14
2 ANTECEDENTES.....	15
2.1 Disciplinas MTB	15
2.2 Componentes de la bicicleta	17
2.3 Geometría del cuadro	22
2.4 Nociones de la suspensión trasera	26
2.4.1 Anti-Squat.....	26
2.4.2 Anti-Rise o Brake Squat.....	27
2.4.3 Pedal Kickback	28
2.4.4 Leverage Ratio	29
2.4.5 Wheel Ratio	30
2.4.6 Trayectoria de la rueda	30
2.4.7 Respuesta cinemática.....	31
2.4.8 Sag	31
2.5 Sistemas de suspensión	31
2.5.1 Monopivote	32
2.5.2 Monopivote articulado.....	33
2.5.3 Horst Link	34
2.5.4 Punto de giro concéntrico, Active Bracking Pivot o Split Pivot.....	35
2.5.5 Punto de pivote virtual	36

2.5.6	Amortiguador flotante.....	37
2.6	Material del cuadro	38
2.6.1	Fibra de carbono.....	38
2.6.2	Construcción.....	39
2.6.3	Duración	41
2.6.4	Resistencia a la fatiga.....	43
2.7	Proceso de fabricación	44
2.7.1	Principales procesos de fabricación.....	44
2.7.2	Consejos fabricación.....	46
3	ANÁLISIS DE MERCADO.....	48
3.1	Evolución y análisis de las geometrías actuales	49
3.1.1	Evolución de la generación actual.....	53
3.2	Otras evoluciones	56
3.3	Análisis de los consumidores.....	59
3.3.1	Preguntas personales	59
3.3.2	Intereses del público encuestado.....	61
3.3.3	Preferencias sobre la bicicleta	62
4	ESTÁNDARES DE LOS COMPONENTES	64
4.1	Dirección.....	64
4.2	Pedalier	66
4.3	Diámetro de rueda	67
4.4	Bujes.....	68
4.5	Amortiguador	68

ÍNDICE

5	DISEÑO DE LA BICICLETA.....	70
5.1	Geometría.....	70
5.2	Componentes elegidos y requisitos geométricos del cuadro.....	72
5.2.1	Dirección.....	72
5.2.2	Buje	74
5.2.3	Bielas.....	74
5.2.4	Plato	75
5.2.5	Patilla de cambio	77
5.2.6	Pedalier	78
5.2.7	Sistema de freno trasero.....	78
5.2.8	Longitud de vaina	79
5.2.9	Amortiguador	79
5.2.10	Horquilla	80
5.2.11	Tija.....	81
5.2.12	Rodamientos.....	81
5.2.13	Interferencia con las ruedas.....	82
5.3	Requisitos para XCM.....	83
5.4	Comportamiento de la suspensión.....	84
5.4.1	Elección del sistema de suspensión	84
5.4.2	Características del amortiguador	86
5.4.3	Leverage ratio.....	90
5.4.4	Fuerzas.....	91
5.4.5	Anti-Squat.....	93

5.4.6	Pedal Kickback	98
5.4.7	Anti-Rise	100
5.4.8	Localización de los puntos cinemáticos	101
5.5	Diseño del triángulo principal	101
5.6	Diseño de las vainas.....	106
5.7	Diseño de los tirantes	108
5.8	Diseño de la bieleta	109
5.9	Guiado de cables	110
5.10	Carbono elegido	112
5.10.1	Propiedades de las fibras	112
5.10.2	Laminado.....	114
	Criterios de fallo	115
6	SIMULACIÓN DEL PEDALEO	118
6.1	Estimación del centro de gravedad del ciclista.....	118
6.1.1	Simulación de pedaleo.....	119
6.1.2	Centro de gravedad de la mitad inferior	121
6.1.3	Mitad superior.....	125
6.1.4	Localización del centro de gravedad.....	126
6.2	Estimación del centro de gravedad de la bicicleta.....	127
6.3	Centro de gravedad conjunto ciclista-bicicleta	129
6.3.1	Centro de gravedad de la masa suspendida.....	130
6.3.2	Variación de la posición del centro de gravedad	131
6.4	Fuerzas de pedaleo	137

ÍNDICE

6.4.1	Desplazamiento debido a las fuerzas de pedaleo	141
6.4.2	Anti-Squat.....	142
6.4.3	Desplazamiento total	142
7	ANÁLISIS ESTRUCTURAL.....	146
7.1	Requisitos normativos.....	146
7.2	Ensayos de la norma	148
7.2.1	Simplificaciones en la geometría.....	150
7.3	Propiedades de los materiales	150
7.4	Ensayo de choque (caída de una masa).....	151
7.5	Ensayo de choque (caída del cuadro).....	161
7.6	Ensayo de fatiga con fuerzas de pedaleo	170
7.7	Ensayo de fatiga con fuerzas horizontales	181
7.8	Ensayo de fatiga con fuerza vertical	189
7.9	Validación de la horquilla	195
7.9.1	Flecha de la horquilla.....	195
7.9.2	Ensayo de choque	197
8	CONCLUSIONES	201
9	LÍNEAS FUTURAS	204
10	IMPACTO DEL PROYECTO	206
11	BIBLIOGRAFÍA	208
12	PLANIFICACIÓN TEMPORAL Y PRESUPUESTO.....	212
12.1	Panificación temporal.....	212
12.2	Presupuesto.....	215

13	ÍNDICE DE FIGURAS	217
14	ÍNDICE DE TABLAS.....	224
15	ABREVIATURAS, UNIDADES Y ACRÓNIMOS	226
16	GLOSARIO	227
	ANEXO 1. GEOMETRÍA DE LAS BICICLETAS	229
	ANEXO 2. RESULTADOS DE LA ENCUESTA.....	233

1 OBJETO DEL PROYECTO

El presente proyecto está encaminado al diseño y cálculo estructural del cuadro de una bicicleta de doble suspensión, es decir, su estructura principal; de modo que el diseño final asegure parámetros como la resistencia, la funcionalidad, adaptabilidad y la practicidad de la bicicleta. La bicicleta se diseña pensando en las actuales pruebas de Cross Country Maratón y en las carreras por etapas, que cada vez atraen a un público mayor.

El diseño del cuadro busca lograr una estética actual que haga el producto atractivo, además de garantizar un buen comportamiento en la mayoría de las situaciones que se puedan presentar en estas pruebas. La geometría se adaptará tanto a la talla del ciclista como al uso para el que está destinada. Del mismo modo, el cuadro de la bicicleta ha de ser compatible con los estándares en cuanto a componentes del mercado, con el fin de facilitar el cambio de estos.

Mediante el cálculo estructural se estudiarán tanto casos estáticos como dinámicos, para asegurar la integridad del cuadro incluso frente a la fatiga, además de estudiar la rigidez de este para asegurar una buena transmisión de potencia y conducción.

Teniendo todo esto en cuenta, también se buscará disminuir el peso de la bicicleta optimizando el material empleado en las diferentes secciones de esta.

2 ANTECEDENTES

2.1 Disciplinas MTB

El mountain bike tiene un gran número de disciplinas, las cuales han evolucionado hasta el punto de que cada vez se han segmentado más y prácticamente cada disciplina requiere una bicicleta diferente.

Sin embargo, todas ellas tienen en común varios aspectos, como por ejemplo que se desarrollan en entornos naturales, que son consideradas un deporte de riesgo y que la suspensión es un elemento fundamental de la bicicleta.

Las principales categorías del mountain bike a nivel competitivo son las siguientes:

- Cross Country (XC): es la disciplina con más repercusión en nuestro país. Dentro de este campo se pueden meter tanto las bicicletas más avanzadas técnicamente como las destinadas a usos más recreativos. En esta modalidad abundan las pistas o los senderos sin mucha dificultad técnica. Las bicicletas de XC tienen un recorrido de unos 100 mm en la horquilla delantera y en el caso de tener suspensión trasera el recorrido es similar. Estas suspensiones suelen contar con bloqueos para ganar mayor rigidez y en muchas ocasiones este bloqueo se puede accionar desde el manillar.

En esta categoría interesa que los cuadros sean ligeros y usualmente se busca que las bicicletas sean ágiles y con buen rendimiento en subida.

Dentro de esta disciplina, la categoría con más relevancia es el Cross Country Olímpico XCO, la única modalidad de mountain bike presente en las olimpiadas.

Los recorridos en las carreras de esta disciplina incluyen tramos llanos, de subida y de bajada, combinando tanto segmentos con una dificultad técnica muy elevada como segmentos pavimentados.

En los últimos años la dificultad técnica ha aumentado debido a la compra de los derechos de emisión por parte de Red Bull, que han buscado aumentar el número de espectadores ofreciendo un espectáculo más extremo.

A parte del XCO existen otras modalidades dentro de esta disciplina como el XCR Team relay que es la modalidad de relevos en las que compiten equipos mixtos, el XCM Maratón que es una versión más larga del XC que incluso se puede desarrollar

en varias etapas y el XCE Eliminator donde cuatro ciclistas dan vueltas a un circuito y los dos más rápidos pasan a la siguiente ronda.

Todas las categorías de esta disciplina tienen en común que la exigencia física predomina sobre la técnica y por ello es la disciplina del mountain bike en la que se inician la mayoría de los ciclistas.

En los últimos años ha proliferado una variación de las bicicletas de Cross Country, con unos recorridos de suspensión para ambas ruedas entre los 110 y los 120 mm. Esta modificación ha venido motivada por el aumento de la dificultad de las pruebas de XCO y XCM, ya que un mayor recorrido de suspensión permite absorber los obstáculos con mayor progresividad. Con esto se mejora la capacidad todoterreno de la bicicleta. En muchos casos se emplean los mismos cuadros que utilizan los modelos de XC convencionales, pero con modificaciones en el recorrido del amortiguador y horquillas de mayor longitud. Por esto, tienen prácticamente todas las ventajas de una bicicleta de doble suspensión de XC en las subidas y además tienen un mejor comportamiento en tramos de bajada técnicos.

La prensa ha denominado a esta nueva categoría DownCountry aunque también se suelen referir a ellas como bicicletas de SuperXC; bajan mejor.

- Enduro: consta de dos etapas diferenciadas. La primera consiste en subir una montaña pedaleando por caminos que suelen ser duros físicamente; y la segunda que consiste en bajar esa montaña lo más rápido posible, por caminos con una dificultad técnica elevada. En una carrera suele haber varias bajadas, las cuales se cronometran y posteriormente se suman los tiempos para obtener el resultado final. Entre las bajadas suele haber unos tramos de enlace, que tienen un tiempo máximo para realizarse pero que no cuentan para la clasificación general.

Las bicicletas de esta modalidad cuentan con suspensiones en ambas ruedas de largo recorrido y tijas telescópicas de mayor recorrido que las de XC.

Las bicicletas de esta disciplina se diseñan priorizando el rendimiento en las bajadas frente a las subidas o el llano. Los principales cambios en la geometría son un ángulo de dirección más horizontal, un tubo del sillín más vertical y un cuadro más largo, además de cambios en los periféricos, donde las potencias son más cortas, los manillares más anchos y las tijas telescópicas tienen mayor recorrido. Por último, los sistemas de suspensión trasera son más sofisticados y se buscan funcionamientos muy específicos del sistema de suspensión a la vez que funcionen con independencia de las fuerzas de freno o de pedaleo. En esta disciplina los sistemas de suspensión trasera pueden utilizarse con amortiguadores con muelle o neumáticos.

- Descenso: también conocido como Downhill (DH) es una de las modalidades del Campeonato Mundial de Ciclismo de montaña. En las carreras de DH los corredores compiten por ver quién es el que recorre la bajada en el menor tiempo posible. En esta modalidad los corredores parten desde lo alto de una montaña a la que llegan a través de remontes o en algún vehículo, de modo que no requiere que los ciclistas suban pedaleando.

Es una de las disciplinas más peligrosas. Los ciclistas alcanzan velocidades muy altas, se enfrentan a grandes saltos (tanto en longitud como en altura) y tienen que sortear zonas repletas de rocas y raíces. La exigencia técnica es muy elevada de principio a fin. Además, exige un gran estado de forma físico, una gran técnica y una excelente capacidad de concentración.

Las bicicletas de esta modalidad se diseñan pensando únicamente en la bajada, siempre cuentan con sistemas de doble suspensión y recorridos muy grandes en ambas suspensiones.

2.2 Componentes de la bicicleta



Figura 1. Cuadro de bicicleta de doble suspensión Cube AMS ONE11 C:68X. Fuente: Cube

Cuadro (1)

2 ANTECEDENTES

Es la estructura principal de la bicicleta, a esta se acoplan la mayoría de los componentes de la bicicleta. Dependiendo de la modalidad puede ser completamente rígido o con amortiguación trasera.

Atendiendo a la gama y la aplicación de la bicicleta pueden estar fabricados en acero, aluminio, titanio o fibra de carbono, siendo la fibra de carbono el material predominante en las bicicletas de gama alta.

Un cuadro se compone de las siguientes partes:

- Pipa de dirección (A): Es el tubo frontal del cuadro. Por dentro de este pasa el eje de la horquilla y en él se instalan los rodamientos de la dirección.
- Tubo superior (B): Conecta el tubo de la dirección con el tubo del sillín.
- Tubo inferior o tubo diagonal (C): Es la parte con más importancia estructural de la bicicleta, ya que une dos zonas que requieren la máxima rigidez posible: el tubo de la dirección y la caja del pedalier.
- Tubo del sillín (D): Conecta la caja del pedalier con el tubo superior. En la parte superior del tubo va alojada la tija del sillín.
- Vainas (E): Conectan la caja del pedalier con el eje de la rueda trasera.
- Tirantes (F): Vinculan la parte superior del cuadro con el eje de la rueda, en las bicicletas rígidas se busca que tengan cierta flexión para absorber pequeñas irregularidades del terreno.



Figura 2. Cuadro de doble suspension Specialized Epic. Fuente: Specialized.

Basculante

Es la parte trasera de una bicicleta de doble suspensión. El basculante permite el movimiento relativo de la rueda trasera sobre la estructura principal del cuadro (triángulo principal).

Dirección (2):

Es el sistema que permite la rotación entre el cuadro y la horquilla. Funciona a través de dos rodamientos que van unidos al cuadro en la zona de la pipa de dirección.

Horquilla (3):

Une la rueda delantera con el cuadro. En las bicicletas de mountainbike suelen tener amortiguación, pero también existen horquillas rígidas. Tiene una gran influencia en el comportamiento de la bicicleta. Dependiendo de la modalidad pueden tener más o menos recorrido.

Ruedas (4):

Son el componente que conecta la estructura de la bicicleta con los neumáticos. Además, están unidas a los frenos y a la transmisión. En Cross Country se han estandarizado las ruedas de 29".

Están formadas por:

- Buje: es el elemento central de la rueda; en la rueda delantera lo conecta con la horquilla y en la trasera con el basculante o con el cuadro. Además, es el elemento en el que se fijan los discos de freno el casete y los radios. Actualmente el estándar de buje más extendido en las bicicletas de montaña es el boost, que se caracteriza por tener un ancho de buje en la horquilla de 110 mm y de 148 mm en el cuadro.
- Radios: Son los tirantes que unen el buje con la llanta. Habitualmente las bicicletas de montaña llevan 28 o 36 radios. El ajuste de los radios permite garantizar el centrado de la llanta.
- Llanta: Es el aro sobre el que se asienta el neumático o cubierta. Actualmente se utilizan llantas con un ancho interno más elevado para que las cubiertas más anchas asienten mejor y se mejore el manejo.

Neumáticos (5):

2 ANTECEDENTES

Es el único elemento de la bicicleta en contacto con el terreno, actualmente predominan los neumáticos tubeless (no necesitan cámara). Además, se están empezando a utilizar neumáticos más anchos con un taqueado más bajo para no aumentar la resistencia a la rodadura, con esto se mejora el agarre y la absorción sin penalizar en rozamiento.

Amortiguador (6):

La misión de este componente es la de absorber los impactos en la rueda trasera, con el objetivo de conseguir un mayor control y una mejora del confort. En las bicicletas de Coss Country se utilizan amortiguadores de aire, mientras que en Enduro o DH se suelen ver amortiguadores con muelle.

Frenos (7):

Son los encargados de detener la bicicleta. A partir de la gama media predominan los frenos hidráulicos. Están formados por los siguientes componentes:

- Manetas de freno: los dedos ejercen fuerza sobre la maneta, que actúa sobre un pistón que ejerce presión sobre el líquido de frenos que llega hasta las pinzas de freno.
- Pinzas de freno: son la pieza encargada de presionar los discos de freno. La presión proveniente de los latiguillos desplaza los pistones que presionan las pastillas contra el disco.
- Discos de freno: están fijados al buje de la rueda y sobre ellos actúan las pastillas de freno. Al estar unidos a la rueda son los encargados de detener la bicicleta.

Manillar (8):

Es el elemento que une las manos del ciclista con la bicicleta. A este se conectan los distintos mandos para controlar la transmisión, los frenos, el bloqueo de las suspensiones, el accionamiento de la tija telescópica... A través del manillar se controla la dirección de la bicicleta. La longitud de este elemento afecta al control de la bicicleta. Actualmente se montan manillares cada vez más anchos que permiten una buena apertura de la caja torácica, con lo cual mejora la respiración y además hacen que sea más fácil de controlar la rueda delantera, pero tienen el contra que se pierde sensación de agilidad en la dirección.

Potencia (9):

Conecta el manillar con la horquilla. Cuanto más corta sea la potencia es más fácil girar la rueda delantera, pero requiere más esfuerzo. Además, su longitud afecta a la posición del

centro de gravedad del ciclista, por lo que una mala elección de la longitud de la potencia puede hacer que la bici este ligeramente desequilibrada, el usuario perciba que la bicicleta no tiene el comportamiento deseado y en algunos casos llegara a provocar dolores en la espalda si la posición es demasiado estirada.

Sillín (10):

Es el componente sobre el que se sienta el ciclista. Para situarlo de acuerdo con las medidas y preferencias del ciclista se ajusta la inclinación y el desplazamiento.

Tija (11):

Une el sillín con el cuadro y permite ajustar la altura del sillín, así como su avance o retroceso. En la actualidad se están estandarizando las tijas telescópicas, las cuales tienen un mecanismo que al accionarlo permite bajar la altura del sillín con el fin de buscar una mejor posición para descensos y volviendo a accionarlo la tija se extiende para regresar a su posición inicial.

Bielas (12):

Es el elemento que transforma el movimiento de las piernas en un movimiento de rotación que mueve el plato. Se unen al cuadro en la caja del pedalier y a los pedales en los extremos.

Pedales:

Conectan las piernas con las bielas. En las bicicletas de mountain bike quedan fijos al calzado de forma que permite aprovechar el movimiento de subida de la pierna para generar tracción, con lo que se consigue un pedaleo más constante y por tanto una mejor tracción. Además, mejora el control sobre la parte trasera de la bicicleta.

Cadena:

Es el elemento que transmite la fuerza que ejerce el ciclista en las bielas a la rueda trasera, permitiendo el movimiento de la bicicleta.

Plato (13):

Elemento que une las bielas a la cadena. En las bicicletas actuales de mountain bike se ha impuesto el monoplato, en el que, dependiendo de la forma física del ciclista, del terreno sobre el que se mueva y el rango de desarrollos del casete, se eligen platos con un número

determinado de dientes u otro. En la actualidad los platos más utilizados son los de 32, 34 y 36 dientes.

Casete (14):

Es el conjunto de piñones por los que se mueve la cadena para variar la relación de transmisión, va alojado en el buje de la rueda trasera. Actualmente se utilizan casetes con 12 piñones.

Desviador trasero (15):

Es el elemento encargado de mover la cadena de un piñón a otro variando la relación de transmisión de modo que el ciclista puede adecuar la velocidad y el esfuerzo. En las transmisiones actuales hay 12 relaciones de transmisión diferentes.

Guiacadenas:

Su objetivo es evitar que la cadena se salga del plato a causa de las vibraciones del terreno.

2.3 Geometría del cuadro

El comportamiento de un cuadro viene determinado principalmente por dos parámetros: uno de ellos se corresponde con los componentes, sus características geométricas, su funcionamiento interno y sus calidades de fabricación; y el otro es la geometría. Las variaciones en los distintos parámetros geométricos tanto del cuadro como de los componentes hacen que una bicicleta sea más apropiada para una disciplina u otra, ya que esencialmente llevan componentes análogos. A continuación, se explican los distintos parámetros que definen la geometría de un cuadro.

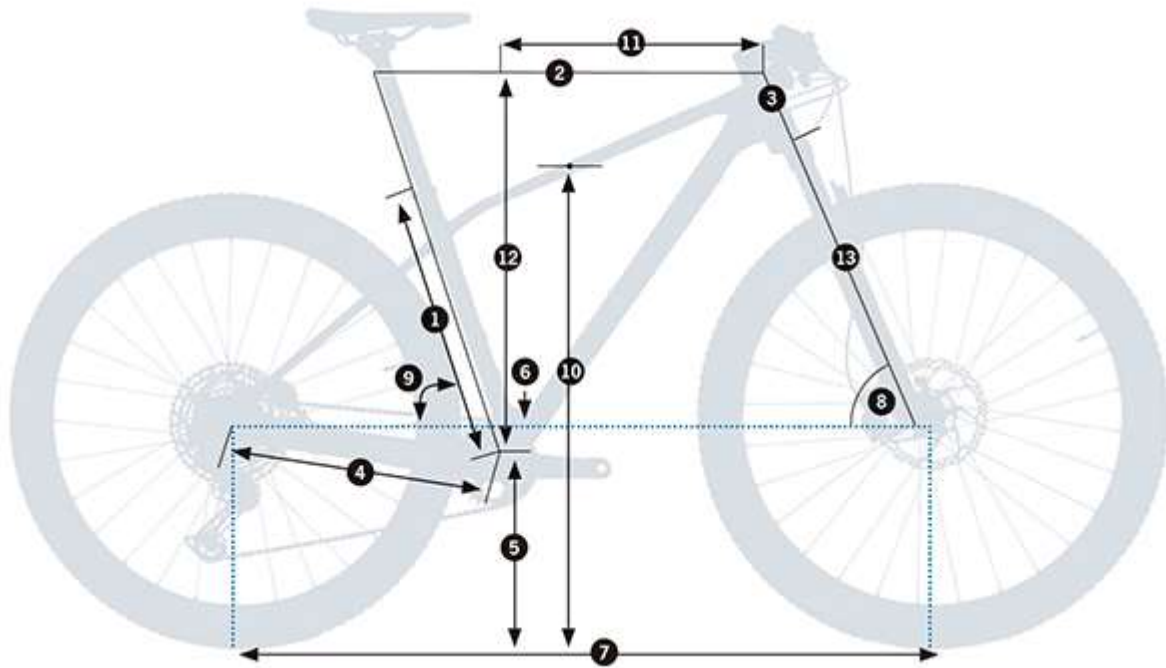


Figura 3. Referencias geometría. Fuente: Orbea

Longitud del tubo del sillín (1):

Se mide desde el eje del pedalier hasta la parte superior del tubo del sillín (donde se encuentra con la tija). Esta medida varía con la talla del cuadro, ya que las personas más altas tendrán unas piernas más largas y por tanto tendrán que llevar el sillín más alto.

Longitud del tubo de dirección (3):

Se mide desde la parte superior del eje de la dirección a la parte inferior, justo donde se unen la horquilla y el cuadro. Cuanto más larga sea esta distancia, más erguido irá el ciclista y tendrá una mejor posición para bajar, mientras que si el tubo es corto tendrá una posición más aerodinámica y favorable en los ascensos.

Longitud de las vainas (4):

Mide la distancia que hay entre el eje del pedalier y el de la rueda trasera. Esta medida afecta a la distancia entre los ejes de las ruedas. Unas vainas largas darán lugar a una bicicleta más estable mientras que unas vainas más cortas dan lugar a una bicicleta más ágil.

Caída del pedalier o Bb drop (6):

La caída del eje del pedalier mide la distancia entre la línea que une los ejes de las ruedas y el eje del pedalier. Cuanto más bajo este el eje del pedalier mayor estabilidad tendrá la

bicicleta, al estar el centro de gravedad más bajo. No obstante, si se baja demasiado el eje del pedalier es más probable que el plato, los pedales o las bielas impacten contra salientes del terreno.

Longitud entre ejes (7):

Mide la distancia entre los ejes de las ruedas. Depende principalmente de la longitud de las vainas, el reach y el ángulo de dirección. A mayor distancia entre ejes mayor estabilidad mientras que a menor distancia más ágil será la bicicleta.

Ángulo de dirección (8):

Este ángulo se mide con respecto a la horizontal; cuanto menor sea el ángulo, más lanzada irá la horquilla. Con esta configuración se consigue una bicicleta que es más estable a alta velocidad y que se enfrenta mejor a los obstáculos; sin embargo, la dirección se vuelve más lenta y es más difícil maniobrar. Por el otro lado, con ángulos más abiertos se consigue una bicicleta más maniobrable pero que es más inestable a alta velocidad.

Ángulo del sillín (9):

Se toma el ángulo entre la horizontal y la línea que pasa por el centro del pedalier y el punto que está a la altura del Stack y corta el eje del sillín. El tubo del sillín no siempre es recto o tiene su origen en el pedalier, por lo que para cada altura del sillín se puede tener un ángulo diferente. La inclinación del tubo del sillín provoca ligeras variaciones en la implicación de los distintos grupos musculares de la mitad inferior, pero si se mantiene dentro de unos márgenes apenas no afecta al rendimiento (Chye, 2018).

Altura (Stack) (12) y Alcance (Reach) (11):

Las medidas de las tallas proporcionadas por las distintas marcas en sus webs no están estandarizadas y una misma talla no tiene por qué servir a personas de la misma estatura; la distinta consideración de lo que es una talla media en cada país donde se diseñan las bicicletas o medidas como el ángulo del tubo del sillín o el retroceso de la tija hacían que pasase esto.

El Reach y el Stack surgen para poder comparar las bicicletas de forma más sencilla. Estas distancias se toman desde el eje del pedalier al punto superior del cuadro en el eje de la dirección. El reach se corresponde con la medida horizontal y el Stack con la vertical.

La altura o Stack depende principalmente del recorrido de la suspensión, del largo del tubo de la dirección y del ángulo de este. Con una altura elevada se consigue una posición más relajada que ayuda a evitar molestias en la espalda y se consigue una posición de mayor control en las bajadas, debido a que la posición de las manos aumenta y es más difícil que el ciclista salga despedido hacia delante. En cambio, se empeora la posición en las subidas y la postura es menos aerodinámica.

El alcance o reach del cuadro indica lo larga que es una bicicleta. El reach es una medida con gran dependencia de la talla. A mayor talla mayor suele ser el reach. Como norma general las bicicletas destinadas a buscar un mayor rendimiento en bajada tienen un reach mayor. El reach determina el comportamiento en bajada ya que a igualdad de potencia y manillar define la posición de los puntos de apoyo en los descensos.

Stand Over (10):

Es la distancia de la parte superior del tubo superior en el punto medio de la bicicleta con el suelo. Las bicicletas con un stand over elevado presentan varios inconvenientes, como que dificulta subir y bajar de la bicicleta. Además, disminuye la maniobrabilidad al pedalear de pie o en las curvas ya que las rodillas pueden chocar con el tubo superior.

Esta medida adquiere una importancia especial los cuadros más pequeños, ya que están destinados a personas de menor estatura.

Avance la horquilla (Offset):

Es la distancia entre el eje de giro de la dirección y el eje de giro de la rueda delantera. Esta medida depende del fabricante de la horquilla, que por lo general ofrecerá al menos dos medidas diferentes para que los fabricantes de cuadros elijan la que mejor encaja con la configuración y el uso al que va destinada la bicicleta. La finalidad de esta medida es modificar el Trail.

Trail:

Es la distancia entre la intersección del eje de la dirección con el suelo y el punto de contacto de la rueda delantera con el suelo. Cuanto mayor sea esta distancia más estable será la bicicleta en línea recta, pero se pierde maniobrabilidad. Esto se debe a que cuanto mayor es el Trail, mayor es el efecto de autoalineamiento producido por el momento que genera la fuerza de rozamiento sobre el eje de la dirección ya que a igualdad de fuerza, el brazo es mayor. En los modelos con el ángulo de dirección más horizontal, como las bicicletas de descenso se

utiliza un offset mayor para reducir el Trail y lograr un equilibrio entre manejo y estabilidad. Sin embargo, en las bicicletas de XC que tiene la horquilla más vertical, necesitan un offset más pequeño para lograr ese equilibrio entre estabilidad y manejo.



Figura 4. Variación del Trail para distintos offsets.

Fuente: <https://www.bikeexchange.com.co/blog/guia-geometria-de-bicicletas>

2.4 Nociones de la suspensión trasera

2.4.1 Anti-Squat

Se expresa en tanto por ciento e indica como la fuerza a la que está sometida la cadena, y actúa sobre el basculante, compensa la compresión del amortiguador debida a la variación de la velocidad (aceleración) que se produce por la fluctuación de las fuerzas de pedaleo durante cada ciclo. Este parámetro indica cuan efectivo es un sistema de suspensión frente al pedaleo.

Un anti-squat del 100% indica que la fuerza que ejerce la cadena sobre el basculante compensa la fuerza de inercia que comprime el amortiguador. Sin embargo, un anti-squat superior al 100% implica que la fuerza que ejerce la cadena sobre el basculante provoca una extensión del amortiguador. Por el otro lado, si es inferior al 100% implica que la fuerza que ejerce la cadena sobre el basculante no compensa la compresión debida a la fuerza inercial.

El valor del anti-squat varía a medida que lo hace el recorrido de ambas suspensiones; también varía en función de la relación de transmisión, ya que esta define la línea de cadena.

Su cálculo se puede hacer tanto de forma gráfica (Método de Cossalter) como de forma analítica. Para cualquiera de las formas utilizadas hay que conocer diversos datos como: el punto de contacto de las ruedas con el suelo, el punto de pivote principal, el eje de la rueda trasera, la posición de la cadena en la parte superior entre el piñón y el plato y el centro de gravedad del conjunto ciclista-bicicleta.

El valor del anti-squat no solo varía con la relación de transmisión, también lo hace con el recorrido de la suspensión. Gracias a esto se pueden trazar gráficos que relacionan el valor del anti-squat en función del recorrido de la suspensión y así tener una representación visual del sistema, de modo que se puede comparar el funcionamiento de distintos sistemas de suspensión frente al pedaleo.

Del mismo modo también se puede evaluar la estabilidad del sistema de suspensión, entendiendo por sistema estable aquel que tiene la capacidad de permanecer cerca de la posición de equilibrio mientras se transmite potencia a la rueda trasera. Cuando el sistema de suspensión se aleja de la posición de equilibrio debido a las interacciones externas como las aceleraciones producidas por el terreno o el ciclista, puede presentar tres comportamientos diferentes:

- Estable: las perturbaciones provocan un cambio en el sistema y este trata de regresar a la posición de equilibrio.
- Neutral: tras una perturbación el sistema no trata de volver a la posición de equilibrio.
- Inestable: al someterse a una perturbación el sistema se aleja de su posición de equilibrio.

En la mayor parte de los sistemas del mercado el anti-squat disminuye a medida que aumenta el recorrido de la rueda trasera, lo que hace que cuando se acelera en uno de estos sistemas y se produce una perturbación por parte del terreno o del ciclista, la suspensión se comprime a una posición en la que el anti-squat es menor y por tanto la fuerza que ayuda al sistema a volver a su posición de equilibrio es menor. Este sistema es inestable.

Por el contrario, si en el sistema el anti-squat aumenta a medida que lo hace el recorrido, al producirse una perturbación durante la aceleración, el sistema se mueve hacia una posición con mayor anti-squat lo que implica que la fuerza que ayuda al sistema a volver a la posición de equilibrio es mayor. Como resultado, el sistema es estable y el ciclista percibirá la bicicleta más firme (Roberts, PinkBike, 2020).

2.4.2 Anti-Rise o Brake Squat

Al igual que el anti-squat, se expresa en tanto por ciento e indica como la fuerza inercial del conjunto bicicleta ciclista, que provoca la transferencia de pesos, levanta la parte trasera por la extensión del amortiguador.

Un anti-rise del 100% significa que la suspensión trasera funciona de forma completamente independiente al freno trasero. Por otro lado, un anti-rise superior al 100% implica que bajo la acción del freno trasero la suspensión se comprimirá, mientras que un anti-rise inferior al 100% implica que la suspensión trasera se extenderá.

Viene determinado por la posición del centro de gravedad y de la cinemática de la suspensión; dado que para determinar el anti-rise se emplea el centro instantáneo de rotación del elemento en el que se encuentra la pinza de freno.

Al igual que el anti-squat, varía a medida que lo hace el recorrido de la suspensión, lo cual permite crear graficas de anti-rise frente al recorrido, para analizar la evolución de un parámetro frente a otro y poder comparar distintos sistemas (Benedict, 2018).

2.4.3 Pedal Kickback

Expresa el giro de las bielas, en sentido opuesto al del pedaleo, que experimentan al comprimirse el amortiguador. Dependiendo del sistema de suspensión utilizado puede estar relacionado directamente con el anti-squat, por lo que a mayor anti-squat mayor Pedal Kickback. Además, la relación de transmisión utilizada también afecta a este parámetro.

Se busca que este valor sea lo más pequeño posible, para que no intervenga en la conducción. Es mayor cuanto mayor es el recorrido de la suspensión por lo que en bicicletas de mucho recorrido se ven sistemas de guiado de cadena más complejos o bielas especiales para disminuirlo lo máximo posible.

El valor máximo del Pedal Kickback solo se alcanza al realizar topes de suspensión, lo cual ocurre con poca frecuencia, por eso es más interesante analizar este parámetro en la zona media, la correspondiente a obstáculos pequeños y medianos, que son los que se encuentran con mayor frecuencia. En los sistemas monoplato, el Pedal Kickback es mayor cuanto mayor es el piñón engranado, situación que suele ocurrir a velocidades relativamente bajas por lo que es difícil que se produzcan topes de suspensión.

Este retroceso del pedal se debe a la extensión de la cadena entre la parte superior del piñón y el plato, producida por el aumento de la distancia entre el plato y el casete al comprimirse la suspensión, lo que provoca que el pedal se retrase. Este efecto no siempre se nota ya que esta extensión en ocasiones provoca el giro de la rueda trasera y los efectos serán nulos cuando la velocidad angular de la rueda trasera sea mayor que la velocidad angular del casete producida por la extensión (Gerth, 2020).

2.4.4 Leverage Ratio

Este parámetro expresa la relación entre el recorrido de la rueda y el recorrido del amortiguador. En los sistemas de suspensión convencionales para la rueda delantera el leverage ratio es 1, ya que el movimiento de la rueda delantera coincide con la compresión o extensión de la horquilla. Sin embargo, para la parte trasera no es así ya que el desplazamiento de la rueda siempre es mayor que el del amortiguador.

El leverage ratio es un parámetro que puede variar en cada punto, por lo que bicicletas con un mismo leverage ratio medio pueden tener sistemas muy diferentes. Así mismo, este parámetro no define el comportamiento del cuadro. El comportamiento del cuadro viene determinado por la cinemática elegida y sobre todo por el amortiguador elegido, el leverage ratio se comporta como un factor de corrección sobre el amortiguador que permite acercar el comportamiento del amortiguador al buscado en base a los criterios de diseño.

Para cuadros con amortiguadores de aire se busca mejorar la sensibilidad inicial, endurecer el tramo medio del recorrido y disminuir la progresividad en la parte final del recorrido, por lo que el leverage ratio que se busca es progresivo-regresivo.

Un leverage ratio bajo hará que la rueda transmita menos fuerza al amortiguador, mientras que un leverage ratio alto transmitirá mucha fuerza al amortiguador y se necesitará una mayor presión (mayor rigidez) de funcionamiento ya que con leverage ratios altos el amortiguador se comprimirá más lentamente por lo que se generará menor fuerza de amortiguación que con un leverage ratio alto.

Otro aspecto a tener en cuenta es que bicicletas con un mismo leverage ratio medio no tienen por qué tener un comportamiento igual (Roberts, PinkBike, 2019). En una primera aproximación el leverage ratio se puede clasificar en función de su recorrido de tres formas diferentes:

- Lineal (azul): el leverage ratio presenta ligeras variaciones a lo largo del recorrido
- Progresivo (verde): el leverage ratio va desde un índice alto a uno bajo
- Regresivo (rojo): el leverage ratio parte de un valor bajo que va aumentando a medida que se comprime la suspensión.

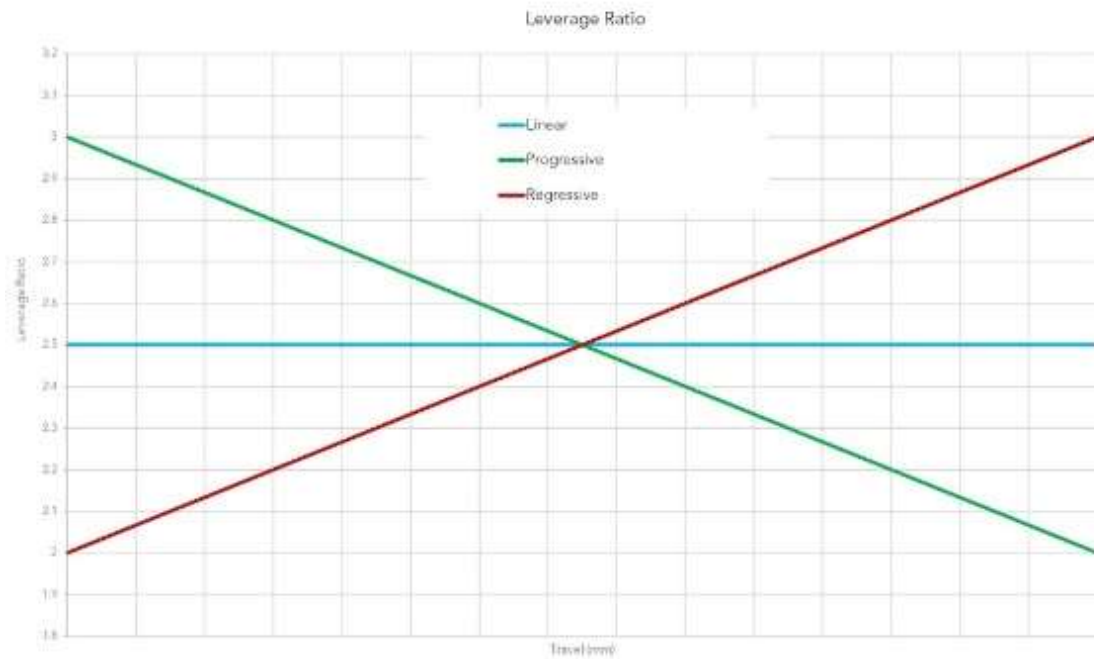


Figura 5. Variaciones de un mismo Leverage Ratio medio en función del recorrido de la rueda.
Fuente: (Roberts, PinkBike, 2019)

2.4.5 Wheel Ratio

Mide la progresividad de la rueda trasera y por tanto la progresividad del cuadro teniendo en cuenta la del amortiguador. Para los cuadros con amortiguadores de aire depende enormemente del volumen de la cámara de aire, ya que a menor cámara de aire mayor será la progresividad del wheel ratio.

No obstante, el wheel ratio se verá influenciado en primer lugar por el amortiguador y su configuración y posteriormente por la cinemática del cuadro.

2.4.6 Trayectoria de la rueda

Determina cómo la bicicleta cambia de forma a medida que varía el recorrido de la suspensión. Las bicicletas con un movimiento de rueda vertical tendrán una longitud de vaina relativamente constante mientras que una que describa un arco tendrá una longitud de vainas variable, con las implicaciones que esto tiene para el manejo de la bicicleta.

Otro aspecto importante de la trayectoria es que determina como de bien la rueda trasera reacciona a diferentes situaciones. Las fuerzas producidas por el ciclista, ya sea pedaleando, en curvas... suelen ser verticales, por lo que bicicletas con una trayectoria de la rueda trasera vertical serán más sensibles a estos movimientos. Por otro lado, las fuerzas debidas a al

terreno, baches, piedras, raíces...tienen una dirección hacia atrás. Este es el motivo por el que muchas bicicletas de enduro y descenso están comenzando a utilizar pivotes altos.

2.4.7 Respuesta cinemática

La respuesta del basculante a las perturbaciones del terreno no depende únicamente del amortiguador, el sistema de suspensión de la bicicleta o la fricción entre los puntos de rotación; la trayectoria que la rueda trasera describe también es determinante.

Cuando un resalte del terreno impacta sobre la rueda trasera se genera una fuerza en el punto de contacto que pasa por el buje trasero. Una respuesta ideal corresponde con aquella en la que la fuerza es paralela a la trayectoria de la rueda. Si la dirección de la fuerza no es paralela a la trayectoria de la rueda en ese punto, habrá una parte de la fuerza que no será absorbida por el sistema de suspensión. El resultado de esto es que la fuerza no absorbida frena la bicicleta además de aumentar la carga sobre los pivotes.

2.4.8 Sag

El sag es el prehundimiento o la precarga de la suspensión bajo el peso del ciclista.

La correcta configuración del sag es muy importante para el correcto funcionamiento de ambas suspensiones. Este prehundimiento garantiza que las ruedas copien el terreno de forma adecuada garantizando la extensión de la suspensión para lograr que las ruedas no pierdan contacto con el suelo.

Dicho de otra forma, al pasar por un agujero el prehundimiento inicial hace que la suspensión se extienda para que no se pierda el contacto de la rueda con el suelo, de modo que el ciclista apenas notaría el agujero. Si no existiera este prehundimiento o fuese corto, la rueda perdería el contacto con el suelo y el ciclista caería con la rueda.

En los sistemas de suspensión de estas características se emplea un sag entre el 20 y 30% dependiendo del uso y preferencias del ciclista.

2.5 Sistemas de suspensión

Como se ha comentado anteriormente, los cuadros de doble suspensión permiten el movimiento de la rueda trasera con respecto al triangulo principal. Para lograr este

movimiento los ingenieros diseñan y perfeccionan distintos tipos de mecanismos, que permiten este movimiento, ajustando la trayectoria, el leverage ratio y demás parámetros en función del uso para el que se plantee la bicicleta. Cabe destacar que no hay mecanismos más o menos adecuados para las distintas disciplinas que otros. La adecuación de un mecanismo en particular esta más relacionada con el uso que piense darle el consumidor que con la disciplina que se practique.

A continuación, se describen los principales sistemas de doble suspensión para bicicletas de XC (ESMTB, 2022).

2.5.1 Monopivote

El basculante, formado por una única pieza, pivota alrededor de una única articulación que ataca al amortiguador directamente. La trayectoria de la rueda trasera describe un círculo de radio constante.

El comportamiento de este sistema es regresivo, pierde dureza en el tramo final del recorrido, por lo que suele usarse con amortiguadores de aire, ya que tienen un funcionamiento progresivo y gracias a ello se puede conseguir un comportamiento lineal.

Debido a su simplicidad las opciones de personalizar el comportamiento por parte de los fabricantes son muy limitadas. Pero a cambio este sistema tiene muy poco mantenimiento.



Figura 6. Orange Stage Evo SE. Fuente: Orange Bikes

2.5.2 Monopivote articulado

Es el sistema más utilizado en la actualidad para bicicletas de XC. El concepto de este sistema es similar al del monopivote, salvo que se añade una bieleta que une el basculante al amortiguador. La bieleta hace que la progresividad pueda ser variable a lo largo del recorrido, permitiendo a los fabricantes cierto grado de configuración en función de su colocación y características.

Su funcionamiento se basa en la flexión de los tirantes y en algunos casos de las vainas (Cannondale Scalpel), por lo que se consigue un sistema muy ligero al prescindir de puntos de rotación. Al ser un sistema estructuralmente simple permite a los fabricantes tener libertad para diseñar el triángulo principal y elegir la posición en la que se colocará el amortiguador. El basculante gira a través de un único pivote de modo que la rueda trasera describe un círculo de radio constante.

Uno de los principales inconvenientes de este sistema es que la suspensión se ve afectada en gran medida por las fuerzas de frenada y de pedaleo. Por culpa de esto requieren del uso de amortiguadores con bloqueo para evitar esta interferencia mientras se pedalea. Además, conviene usar presiones más elevadas en el amortiguador para minimizar estos efectos.

En los últimos años estas suspensiones han proliferado dado que las transmisiones monoplato han facilitado el diseño de estos sistemas debido a que habitualmente se coloca el punto de giro principal sobre el eje del pedalier, en la línea de cadena, con lo que se mejora la interferencia de las fuerzas de pedaleo sobre el sistema de suspensión.



Figura 7. Orbea Oiz H30. Fuente: Orbea

2.5.3 Horst Link

Es un sistema formado por 4 barras similar al monopivote, pero con un punto de giro adicional en las vainas. Fue diseñado por Horst Leitner y patentado por Specialized, pero la patente de Specialized expiró, por eso ahora se puede ver en más marcas (World Patente nº WO 93/13974, 1994).

Este punto divide la vaina de modo que deja de existir un brazo rígido que une la rueda al pivote principal. Esto permite independizar el funcionamiento de la suspensión de las fuerzas de pedaleo, pero sobre todo de las fuerzas de frenado. Por contra, el sistema es más complejo y presenta más puntos de giro por lo que puede acabar teniendo más holguras, además, del aumento de peso que supone tener más puntos de rotación frente a un monopivote articulado.

La rueda trasera describe una trayectoria circular, con un arco muy abierto y prácticamente vertical al suelo y el comportamiento del sistema es generalmente progresivo.

Al tener la rueda y la pinza de freno en el mismo elemento, muchas veces se tiene que llegar a una solución de compromiso entre dos factores que se preferirían diseñar de forma independiente: el anti-squat y el anti-rise, dado que en este caso coincide el centro instantáneo de rotación de la rueda, con el del elemento que porta la pinza de freno.



Figura 7. Transition sentinel. Fuente: Transition Bikes

2.5.4 Punto de giro concéntrico, Active Bracking Pivot o Split Pivot

Es un sistema similar al Horst Link pero el punto de giro está situado en el eje de la rueda trasera. Con esto se logra una gran independencia de las fuerzas de pedaleo y frenado con el funcionamiento de la suspensión, debido a que la rueda trasera y la pinza de freno no están montadas en el mismo elemento, por lo que se puede diseñar de forma independiente la trayectoria de la rueda, la respuesta a la aceleración (anti-squat) y la respuesta a la frenada (anti-rise).

La progresividad de este sistema puede ser variable a lo largo del recorrido. La trayectoria de la rueda es circular de radio constante y centrada en el punto de pivote principal, al igual que en los sistemas monopivote y monopivote articulado.

Los contras de este sistema son que es más pesado y tiene mayor probabilidad de holguras, al tener más puntos de giro que los sistemas monopivote.

Sobre este sistema existen dos patentes la primera del sistema Split Pivot (World Patente nº WO 2008/027277 A2, 2008) y la segunda del sistema Active Bracking Pivot (US Patente nº US 2011/0025015 A1, 2011).



Figura 8. BH Lynx trail Carbon 9.5.

Fuente: https://www.bhbikes.com/es_ES/bicicletas/montana/trail/lynx-trail-carbon-9-5?c=orr

2.5.5 Punto de pivote virtual

Es el sistema con más opciones de configuración, de modo que cada marca le da una interpretación diferente. El basculante está formado por una pieza rígida conectada al triángulo principal (bastidor) a través de dos bieletas. El amortiguador está conectado a una o a las dos bieletas, dependiendo de la configuración.

El punto de pivote virtual se encuentra en el punto de intersección de la prolongación de las dos bieletas, por lo que se desplaza a medida que el amortiguador se comprime o se extiende. Al no ser un punto fijo, la rueda trasera puede describir cualquier tipo de trayectoria, dependiendo de la cinemática del mecanismo. Las múltiples opciones de configuración permiten elegir.

Este sistema ofrece una gran independencia entre las fuerzas de frenado y pedaleo con el funcionamiento de la suspensión, así como una excelente sensibilidad inicial. Suelen transmitir la sensación de ser bicicletas con un mayor recorrido de suspensión.

Los contras de este sistema son: un aumento de la complejidad, un mayor peso, al incorporar dos bieletas, mayor probabilidad de holguras y una gran limitación para diseñar el triángulo principal ya que vendrá limitado por la ubicación de las bieletas.



Figura 9. Santa Cruz Tallboy Carbon C 29. Fuente: <https://www.santacruz bicycles.com/es-ES/bikes/tallboy>

2.5.6 Amortiguador flotante

Parte de la misma base que el punto de pivote virtual, pero en este caso el amortiguador esta unido en sus extremos a las dos bieletas, sin unirse al cuadro. Con ello se consigue que las fuerzas de compresión y extensión actúen desde los dos extremos.

Este diseño consigue magnificar los efectos del punto de pivote virtual que durante el pedaleo comprime el amortiguador por un lado mientras que por el otro lo extiende o se comprime por ambos a la vez.

Frente al PVV tiene el contra de que el diseño es más complejo y se reduce la sensibilidad inicial.

La trayectoria de la rueda trasera depende de la cinemática del basculante y no de los anclajes del amortiguador.

El comportamiento depende de cómo se actúe sobre los extremos. Si se comprimen simultáneamente el sistema tendrá una gran sensibilidad inicial, mientras que si se actúa sobre cada extremo de forma opuesta el sistema será muy progresivo.



Figura 10. Mondraker F-Podium Carbon R. Fuente: <https://mondraker.com/be/es/2022-f-podium-carbon-r?c=46>

2.6 Material del cuadro

El material elegido para la fabricación del cuadro es la fibra de carbono. Es la mejor alternativa para lograr un cuadro con una alta rigidez, una gran resistencia y un bajo peso. Además, este material tiene una larga vida ya que no suele presentar problemas debidos a la fatiga y en caso de que presente fisuras o ligeras roturas, puede repararse.

Este material es el estándar en la industria para cuadros de este tipo; la mayoría de las marcas que fabrican cuadros en este segmento de mercado lo hacen únicamente en fibra de carbono. No obstante, existen unas pocas marcas que fabrican el triángulo principal en carbono y el basculante en aluminio y otra pequeña parte que además de los modelos de carbono fabrica otros completamente en aluminio. Ambos casos son una minoría y están destinados a bicicletas de primeros precios o reservadas a un uso ocasional y con un enfoque principalmente recreativo.

Otra de las ventajas de la fibra de carbono frente a los cuadros fabricados con tubos metálicos es que no presentan soldaduras, por lo que los cuadros de carbono suelen tener una estética más limpia al no romper la continuidad de sus superficies en los puntos de unión.

2.6.1 Fibra de carbono

Se trata de una fibra sintética compuesta principalmente por átomos de carbono que forman filamentos de entre 5 y 10 μm de diámetro. A su vez cada fibra está formada por miles de filamentos, normalmente entre 1000 y 24000, de modo que se ha estandarizado la

nomenclatura a 1k, 3k, 6k, 12k, 18k y 24k para referirse a la cantidad de filamentos por fibra. La diferencia afecta principalmente a la estética.

Su estructura molecular es similar a la del grafito, con la diferencia de que en el grafito las hojas con los átomos ordenados de forma hexagonal se colocan paralelas entre sí, por lo que las uniones entre hojas son más débiles, y en la fibra de carbono, dado que es un material amorfo, las hojas se colocan de forma aleatoria, lo que da lugar a un material con una alta resistencia. (How Products are Made, 2022)

Su principal aplicación es la fabricación de materiales compuestos, casi siempre utilizada con polímeros termoestables, siendo el más común la resina epoxi, aunque también puede utilizarse con otros polímeros.

Destaca por sus propiedades mecánicas, ya que son similares a las del acero, pero con una densidad mucho menor, en torno a los 1750 kg/m³. No obstante las propiedades de la fibra de carbono varían mucho según sea su constitución.

2.6.2 Construcción

La manera más común de trabajar con la fibra de carbono es mediante tejidos fabricados a través de fibras de carbono largas que se usan para componer una lámina plana de una o más capas de fibras. Las capas se mantienen unidas mediante el entrelazado mecánico de las propias fibras o gracias a un material secundario que las une y mantiene en su posición, con el fin de dar al conjunto una integridad suficiente para ser manipulado.

Los tipos de tela se clasifican según la orientación de las fibras utilizadas y según el método de construcción utilizado para mantener las fibras unidas. Las cuatro categorías principales según la orientación de la fibra son (Gurit):

- Tejidos unidireccionales (UD):

Una tela unidireccional es aquella en la que la mayoría de las fibras tienen la misma dirección. Una pequeña cantidad de fibra u otro material puede ir en otras direcciones con la intención principal de mantener las fibras primarias en la posición requerida, y aportar propiedades estructurales extra. Habitualmente para considerar un tejido como unidireccional se requiere que al menos el 75% del peso del tejido tenga la misma dirección. Hay fabricantes que elevan este ratio hasta valores superiores al 90%. Los tejidos unidireccionales suelen tener sus fibras principales a lo largo del rollo (0°), aunque también encontrarse perpendiculares a la longitud del rollo (90°).

Los tejidos unidireccionales permiten colocar fibra exactamente donde se requiere y en la cantidad óptima cuando se conoce la dirección de los esfuerzos. Estos tejidos son los que tienen las propiedades de la fibra más altas posibles al estar todas las fibras alineadas, lo que las hace tremendamente eficaces en esa dirección. Se comportan de manera anisotrópica, lo que quiere decir que soporta muy bien las cargas de tracción en la dirección de las fibras, pero no en sentido perpendicular. Analizando las cargas a la que está sometida una pieza, si tienen mayoritariamente una dirección, se pueden orientar las fibras en esta dirección de modo que se optimiza la cantidad de material empleado y también el peso.

Por lo tanto, junto con el hilo de costura requerido para ensamblar las fibras, hay una cantidad relativamente grande de material parásito secundario en este tipo de tejido UD, que tiende a reducir las propiedades del laminado. Además, el alto coste de instalación de la capa de 0° de una línea de cosido y la velocidad de producción relativamente lenta significa que estos tejidos pueden ser relativamente caros.

- Telas tejidas (Woven fabrics):

Las telas tejidas se producen mediante el entrelazado de fibras unidireccionales a 0° y fibras unidireccionales a 90° que dan lugar a un patrón regular. La integridad del tejido se mantiene por el entrelazado de las fibras. La capacidad de una tela para adaptarse a una superficie compleja, la estabilidad de una tela y la suavidad de la superficie, vienen determinadas por el estilo del tejido. Los estilos de tejido más comunes son:

- Plano. Cada fibra a 0° pasa alternativamente por debajo y por encima de cada fibra a 90°. El tejido resultante es simétrico, con buena estabilidad y una porosidad moderada. Sin embargo, este es el tejido más difícil de cubrir, y el alto nivel de ondulación de la fibra produce que las propiedades mecánicas de la fibra sean relativamente bajas en comparación con los otros estilos de tejido. Además, presenta el inconveniente de que con fibras grandes genera un rizado excesivo y por eso tiende a no usarse para telas muy pesadas.
- Twill. Una o más fibras a 0° se tejen alternativamente por encima y por debajo de dos o más fibras a 90° de manera regular repetida. Este tejido tiene una humectación y capacidad de cubrir superiores que el tejido plano con una pequeña reducción en la estabilidad. Tiene unas ondulaciones más pequeñas, lo que da lugar a superficies más suave y propiedades mecánicas ligeramente superiores.
- Satín. Los tejidos satinados son tejidos twill modificados para producir menos intersecciones entre las fibras a 0° y 90°. El número de fibras cruzadas y pasadas por debajo, antes de que la fibra repita el patrón aparece en la designación y normalmente

son 4, 5 y 8. Los tejidos satinados son muy planos, tienen buena humectación y un alto grado de cubrimiento. Además, tiene unas buenas propiedades mecánicas. La parte negativa de estos tejidos es la baja estabilidad y asimetría que hace que una cara de la tela tenga fibras predominantemente en una dirección mientras que la otra cara tiene fibras predominantemente en la dirección opuesta. Esto hace que se deba de tener cuidado al acoplar varias capas de estas telas para evitar que se integren mechones en el componente.

- Basket. Es el mismo tejido que el plano excepto porque dos o más fibras a 0° se entrelazan alternativamente con dos o más fibras a 90° . No es necesario que la disposición de las fibras sea simétrica, pudiendo encontrarse combinaciones de 8x2, 5x4, etc. Este tejido es más plano y, debido a que tiene menos ondulaciones, es más resistente que el tejido simple, pero menos estable. Se recomienda su uso con telas hechas con fibras gruesas para evitar un rizado excesivo.

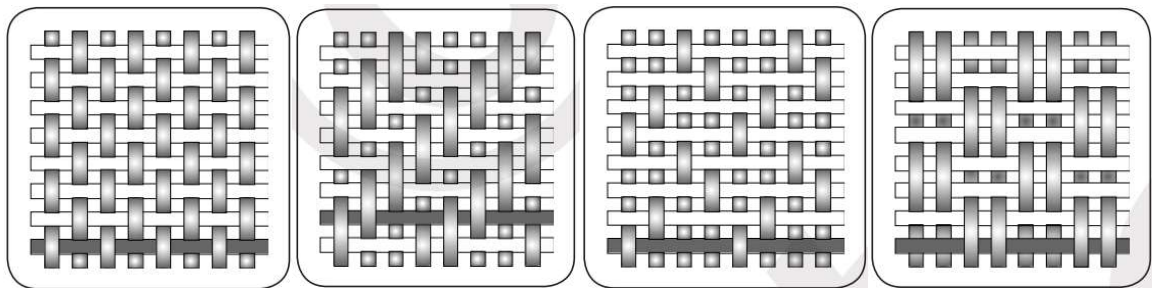


Figura 11. Tejidos. Plano, Twill, Satin y Basket. Fuente: (Gurit)

- Tejidos $0/90^\circ$:
Se utilizan en aplicaciones donde se requiere más de una orientación de fibra y es útil un tejido que combine orientaciones de fibra de 0° y 90° . Los tejidos de $0/90^\circ$ se pueden producir cosiendo en lugar de mediante un proceso de tejido.

2.6.3 Duración

Una de las principales razones por la que los polímeros reforzados de fibra se emplean en aplicaciones aeronáuticas es su excelente durabilidad, ya que son térmicamente estables, resistentes a la oxidación y a la fatiga (NEXUS Projectes SL, 2022).

Sin embargo, existen distintos factores que afectan a su deterioro en mayor o menor medida:

- Envejecimiento físico de la matriz polimérica:
Al igual que ocurre con otros muchos materiales, los polímeros se degradan con el tiempo, pero este envejecimiento de su estructura molecular es muy lento. Este

deterioro es causado fundamentalmente por la humedad y la temperatura y suele provocar que estos polímeros se vuelvan más rígidos y frágiles. Este efecto es menos acusado en los materiales termoestables como el epoxi que es la resina que se utiliza junto a la fibra de carbono para fabricar las bicicletas. Por último, hay que añadir que este efecto no suele ser crítico ya que la mayor parte de la carga la soportan las fibras de carbono y el envejecimiento de estas es prácticamente nulo.

- Humedad:

Al entrar en contacto el aire húmedo con la resina, esta lo absorbe y se producen cambios en sus propiedades. Esta absorción de humedad ocasiona que la temperatura de transición vítrea de la resina disminuya, lo que puede ser problemático en elementos que trabajen a temperaturas superiores a 80°C, pero este no es el caso de las bicicletas.

En el caso de las fibras la humedad puede degradar algunas como las fibras de vidrio y las aramidas, pero en el caso de las fibras de carbono no se produce ningún efecto.

- Luz ultravioleta:

La exposición prolongada a la luz ultravioleta puede provocar el endurecimiento y la decoloración de la matriz, pero este efecto solo actúa sobre la capa superior, por lo que en piezas gruesas es poco importante. Este efecto es más importante en fibras como el Kevlar o las aramidas, mientras que la fibra de carbono y la de vidrio son mucho más resistentes. Para disminuir los efectos de la luz ultravioleta pueden utilizarse recubrimientos resistentes a esta radiación, como lacas o pinturas.

- Productos químicos (soluciones alcalinas, productos de limpieza):

Los materiales compuestos suelen tener una buena resistencia a la mayoría de los productos químicos que se utilizan en la industria. En el caso de las fibras de vidrio se debe tener cuidado con las soluciones alcalinas, ya que provocan una degradación importante en estas. Sin embargo, las fibras de carbono son más resistentes a la mayoría de los químicos, pero se debe cuidar que las acetonas no entren en contacto con la resina epoxi, pues provoca su degradación.

- Corrosión galvánica:

La corrosión galvánica se produce cuando dos materiales que están en contacto entre sí y pertenecen a distintos grupos galvánicos se encuentran sumergidos en un electrolito o medio húmedo. La corrosión se produce más rápido cuanto mayor sea la diferencia entre los potenciales galvánicos que aparecen en la Figura 12. Se observa cómo en el caso que nos ocupa, las aleaciones de aluminio y el grafito (fibra de carbono) están en extremos opuestos, por lo que se necesitará aislar las superficies de contacto entre estos dos materiales, ya sea con grasas o láminas de fibra de vidrio,

dependiendo de si el contacto es una unión rígida permanente, rígida desmontable o una articulación. Al tratarse de una bicicleta de montaña no se puede garantizar que no se filtre humedad entre ambas superficies para minimizar la posibilidad de corrosión, ya que el sudor, el agua y el barro son difícilmente evitables.

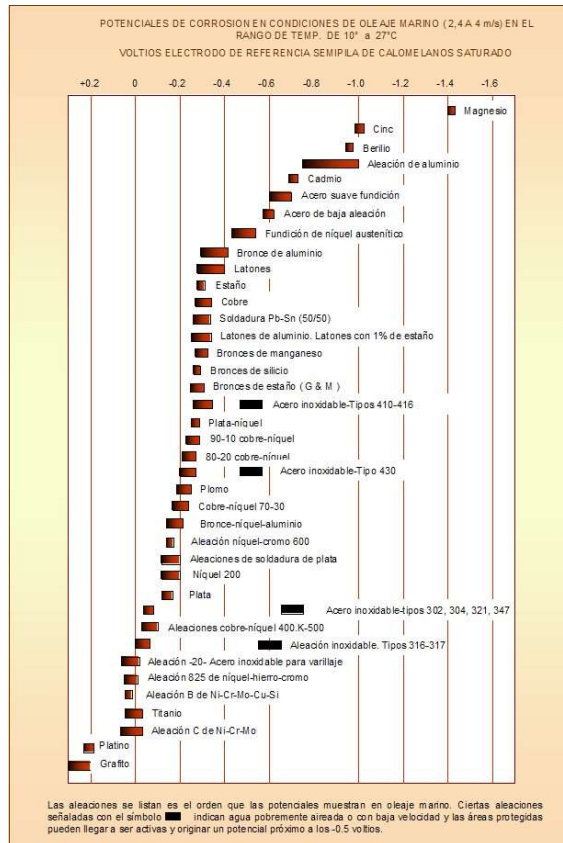


Figura 12. Potenciales de corrosión en condiciones de oleaje marino.

Fuente: https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/pfcm12_2_3.html

Durante este proceso se produce carburo de aluminio (Al_4C_3) en la interfase, que es un material frágil y muy reactivo con el agua.

2.6.4 Resistencia a la fatiga

En general, los materiales compuestos tienen una excelente resistencia a la fatiga si se compara con la mayoría de los metales, especialmente cuando la dirección de los esfuerzos coincide con la de la fibra. A menudo la falla por fatiga es el resultado de la acumulación gradual de pequeñas cantidades de daño. En los materiales compuestos el comportamiento de fatiga se ve influenciado por la tenacidad de la resina, su resistencia a las microfisuras y la cantidad de vacíos y otros defectos que ocurren durante el proceso de fabricación. Los laminados a base de epoxi suelen tener una muy buena resistencia a la fatiga en comparación

con el poliéster y el viniléster, haciendo que esta sea una de las principales razones por las que se utiliza en estructuras aeronáuticas.

La forma más común de rotura por fatiga en los cuadros de fibra de carbono es la fractura interlaminar. Según la carga aplicada influye tanto en el comienzo de la delaminación como en el crecimiento de esta (C. Rocandio, 2016). Además, en cargas inferiores al 50% de la carga máxima de rotura, el crecimiento de la grieta es muy lento, prácticamente nulo.

También se observa que cuando la tasa de liberación de energía en los ensayos disminuye ligeramente, la probabilidad de fallo disminuye de manera notable.

2.7 Proceso de fabricación

2.7.1 Principales procesos de fabricación

Los cuatro principales procesos para trabajar la fibra de carbono son:

- Moldeo por transferencia de resina (RTM):

Este método cuenta con un sistema de inyección que introduce presión en un molde previamente precalentado que contiene la fibra de carbono. Es un proceso que teniendo la maquinaria adecuada resulta rápido y limpio, y que permite controlar el espesor de la pieza y su automatizado. Además, el resultado final no tiene una alta dependencia de la habilidad del operador.

La fibra de carbono se coloca entre las dos caras del molde y se cierra el molde mediante una prensa, tornillos... En las pestañas del molde se colocan sellos que evitan las fugas de resina y de vacío. Una vez cerrado el molde se inyecta la resina y se expulsa el aire del interior del molde a través de unos orificios alejados del punto de inyección, a través de la presión ejercida por la propia resina o empleando unos tubos de vacío.

Para piezas grandes se usa una variación de este proceso denominada VRTM (Vacuum Resin Transfer Moulding) en el que se sustituye la parte superior del molde por una semirrígida que aprovecha el vacío que se genera en el interior del molde para sellarlo gracias a la presión atmosférica. Además, el vacío generado en el interior inyecta la resina a presiones más bajas, inferiores a un bar (Composite Integration Ltd, 2022).

- Infusión por vacío (RTI):

Se trata de una técnica de molde cerrado en que utiliza un film plástico como contra molde. Las fibras de refuerzo se colocan a mano en el molde, lo que permite colocarlas con precisión. La resina se introduce en el molde por la acción del vacío que también compacta las fibras de refuerzo. Esto impide que queden huecos en los que se puedan acumular excesos de resina, dando lugar a fabricaciones en las que la relación fibra/resina es muy alta y como resultado se obtienen laminados con unas propiedades físicas superiores a las de otros procesos. Tiene la ventaja de que no requiere moldes de alto coste ya que se pueden utilizar los mismos moldes que en el RTM (Gazechin Composites Ibérica, s.f.)

- Prepreg:

Consiste en unos rollos de fibra de carbono que ha sido preimpregnada con resina que ya incluye el agente de curado, haciendo que no sea necesario añadir más resina. Se recortan láminas de la forma requerida y se colocan llenando todo el molde y asegurando que estén bien pegados para que no haya burbujas de aire entre las láminas que puedan provocar un futuro fallo en la pieza. Una vez finalizado este proceso se introduce en un horno que puede ser autoclave o no y se cura durante horas. (Gazechin Composites Ibérica, s.f.)

Vacuum bagging:

Se colocan las láminas de prepreg en la posición adecuada sobre el molde y sobre esta se coloca una bolsa sellada que permite hacer el vacío. Se somete al material a la temperatura indicada por el fabricante y durante el tiempo especificado. Este es el proceso con un menor coste y además permite la fabricación de piezas de gran tamaño.

Prensa:

Se ejerce una presión entre 1 y 7 bares con las dos caras de un molde, de modo que se comprimen las láminas de prepreg. Suele utilizarse con piezas pequeñas y por lo general planas, no es adecuado para piezas complejas.

Autoclave: son hornos que permiten regular la temperatura y la presión.

Tienen un precio elevado, pero con ellos se consiguen unas mejores propiedades mecánicas, un buen acabado superficial y un bajo contenido de burbujas.

- Carbono forjado:

Consiste en una disposición al azar de fibras discontinuas que se mezclan con resina que posteriormente se somete a una elevada presión en una prensa caliente. Esto da lugar a compuestos que son fuertes en todas direcciones y que reduce la complejidad

de la fabricación, ya que no requiere colocar varias láminas en distintos puntos y con diferentes orientaciones. Permite crear piezas muy complejas con una excelente tolerancia de ajuste y un buen acabado superficial.

2.7.2 Consejos fabricación

Para la fabricación de piezas de fibra de carbono se recurre a los laminados, ya que cada lámina de fibra de carbono es muy fina y difícilmente dará la rigidez requerida. Los laminados son un conjunto de láminas apiladas unas sobre otras de forma contigua, de manera que se garantiza su continuidad en el plano ortogonal de las láminas, así se consigue que cada lámina trabaje juntamente con las demás.

Variando el tipo de construcción de las láminas, su material y su orientación se pueden conseguir laminados con diferentes propiedades, que se adecuen a las aplicaciones que se pretendan dar a la pieza.

No obstante, existe una serie de recomendaciones que facilitan el diseño de un laminado correcto:

- La disposición de las láminas debe de ser simétrica, es decir, la secuencia de apilamiento de las láminas respecto al plano medio debe ser igual.
- Las láminas deben tener un espesor de capa lo más parecido posible.
- La relación de fibra-resina de cada lámina debe ser similar.
- Es recomendable que los laminados contengan el mismo tipo de fibra.

Sin embargo, estas normas no son de obligado cumplimiento, ya que en laminados complejos pueden limitar el diseño y ser difíciles de aplicar.

En muchos diseños se busca lograr un laminado con unas propiedades quasi isotrópicas, es decir, que el laminado tenga el mismo comportamiento en todas las direcciones. Para ello se combinan láminas del mismo material con diferentes orientaciones para obtener los valores de las propiedades físicas del laminado lo más cercanas posibles a las deseadas. Las orientaciones más utilizadas son 0° , $\pm 45^\circ$ y 90° ya que son fáciles de cortar e identificar durante el proceso de fabricación y cada una de ellas aporta una propiedad diferente al conjunto. Por ejemplo, las capas a 0° aportan resistencia y rigidez a los esfuerzos axiales; en cambio las capas a $\pm 45^\circ$ brindan resistencia y rigidez al corte y a la torsión; por último, las capas a 90° proporcionan resistencia tangencial y rigidez, lo que sirve para crear una capa de consolidación que mantenga todo unido, además de ayudar a resistir la presión.

3 ANÁLISIS DE MERCADO

La bicicleta proyectada se diseña pensando en el mercado español, ya que es del que se dispone de mayores datos. Solo analizando los medios especializados como revistas o webs tanto de ciclismo como de mountain bike puede verse que la mayoría de los reportajes de bicicletas que no tienen asistencia eléctrica, se centran en el segmento del Cross Country y Down Country. Dentro de este segmento hay más presencia de las bicicletas de doble suspensión, en parte por el mayor interés de los fabricantes de promocionar estas bicicletas, ya que tienen un mayor margen de beneficio. Por su parte, en los medios de habla inglesa se ve como las bicicletas que mayor presencia tiene son las que están centradas en disciplinas que priorizan las bajadas, más concretamente el enduro y el descenso. Una explicación a esta diferencia puede ser que en España el poder adquisitivo es menor y por eso las bicicletas de la mayoría de los usuarios, especialmente los que se inician, son rígidas. Además, en España no siempre es fácil encontrar lugares en los que practicar disciplinas más agresivas, ya que esta perseguido el realizar modificaciones en los montes para crear peraltes o saltos, prácticamente no existen sedas exclusivas para practicar estas modalidades y las sendas naturales que hay se comparten con el resto de los usuarios que van al monte a pasear, correr... lo que hace que sea peligroso bajar rápido por el riesgo de atropello. Además, gran parte del centro de España no tiene la orografía necesaria para disfrutar del Enduro o del Downhill.

Por otro lado, en lo referente a pruebas, en los años antes de la pandemia estaban aumentando tanto el número de marchas cicloturistas de mountain bike como el de pruebas de XCO y XCM, tanto de un día como de varios. En 2020 y en 2021 se redujo tanto el número de pruebas como el de participantes, y este año ha vuelto a aumentar y el XCM está en auge. Cada vez hay más participantes y público en este tipo de pruebas y están adquiriendo especial relevancia a nivel mediático las pruebas de varios días de duración. Hasta el punto de que casi en cada comunidad autónoma se realiza al menos una prueba de XCM por etapas.

No obstante, para ver la situación del mercado actual se realizan dos análisis, el primero es un análisis de las bicicletas que podemos encontrar actualmente, su geometría y su evolución y el segundo es un estudio sobre los usuarios, sus costumbres y preferencias.

3.1 Evolución y análisis de las geometrías actuales

Al igual que ocurre con otros mercados, el de la bicicleta está en constante desarrollo. Los ciclos de vida para un cuadro dentro de la industria duran entre 3 y 5 años. Pasado este tiempo el cuadro estará prácticamente desfasado. Los nuevos avances en los componentes, la introducción de nuevos estándares, las mejoras de los materiales y de los procesos de fabricación, dan lugar a una constante evolución de los modelos del mercado. Estos desarrollos no solo tienen el objetivo de aumentar las ventas de bicicletas, sino que también se busca diseñar bicicletas cada vez más polivalentes, con mejores capacidades en situaciones cada vez más extremas. Este es uno de los principales motivos por los que la geometría de las bicicletas está en constante evolución.

Los cambios en las geometrías y los diseños no solo se deben a la búsqueda del mejor aprovechamiento de los nuevos componentes, sino que también están ligados al aumento de la complejidad de las pruebas ciclistas en todas las modalidades: Cross Country Olímpico, Cross Country Maratón, Enduro, Down Hill... Del mismo modo, e impulsado por el nuevo estándar de las bicicletas de 29", las pruebas a las que se presenta el público no profesional también han aumentado en cuanto a complejidad. Esto ocasiona un ciclo en el que los usuarios compran bicicletas con más capacidades todoterreno, para participar en pruebas y realizar rutas más exigentes técnicamente, lo que hace que su técnica mejore y puedan exprimir más sus monturas y poco a poco se vayan atreviendo a ir por terrenos más abruptos que ponen más cerca del límite estas bicicletas, lo que incita que la próxima bicicleta que adquieran esté pensada para rodar por estos terrenos, de modo que cobran más importancia las bicicletas que estén pensadas para afrontar terrenos con mayor complejidad técnica (bicicletas de doble suspensión).

Otro de los recursos dados por los fabricantes ha sido ofrecer la misma bicicleta con la opción de escoger una horquilla de 100 mm de recorrido (horquilla estándar para XC) o una horquilla de 120 mm. Sin embargo, esta no es la solución ideal ya que el aumento en el recorrido de la horquilla provoca unos cambios a nivel geométrico en el cuadro que hacen que la bicicleta cambie ciertas capacidades. Por ejemplo, el ángulo del sillín se retrasa, lo que provoca que los grupos musculares grandes no tengan tanta implicación en el pedaleo y se quita peso a la rueda delantera, además de alejarla del centro de gravedad y elevarlo ligeramente, lo que hace aumentar la transferencia de pesos entre ejes haciendo que la bicicleta sea más propensa a despegar la rueda delantera del suelo en subidas inclinadas. Otra de las razones que hacen que esta no sea la mejor solución es el aumento de la altura del centro de gravedad, que ocasiona una disminución de la estabilidad.

3 ANÁLISIS DE MERCADO

Para estudiar y cuantificar la evolución de las geometrías del mercado se han recopilado los datos de la geometría de 74 bicicletas de diferentes marcas la tabla del ANEXO 1, donde no solo se muestran los datos referentes a la geometría, sino que también aparece el año en el que estaban en el catálogo y la disciplina a la que pertenecen. Todas las medidas corresponden a la talla más adecuada para una persona de 175 cm de altura.

Con el fin de analizar con mayor facilidad los datos se han dividido por disciplinas y se han cogido los valores mínimo, promedio y máximo de cada una, dando como resultado la Tabla 1. Se excluyen los valores para bicicletas de ruedas que no sean de 29" ya que estas tienen requisitos geométricos diferentes.

		Medida del tubo del sillín	Longitud del tubo superior	Largo del tubo de dirección	Ángulo del tubo de dirección	Ángulo del tubo del sillín	Largo de vainas	Batalla	Offset del pedalier	Stack	Reach	Tamaño de ruedas	Recorrido de la horquilla	Recorrido del amortiguador
XC	min	420	568	90	67,4	73,0	425	1098	34,4	575	415	29	100	60
	med	440	598	102	69,0	74,4	436	1131	43	594	434	29	101	99
	max	465	618	110	71,0	76,5	450	1156	53	608	460	29	120	110
DC	min	420	578	90	66,1	73,2	429	1126	30	582	400	29	110	100
	med	438	602	100	67,4	74,6	435	1157	36	600	436	29	121	112
	max	465	627	110	69,5	76,1	445	1178	45	613	461	29	130	130
Trail	min	405	592	95	65,0	73,8	428	1145	16	593.1	430	29	130	120
	med	428	604	106	66,2	75,6	436	1184	36	612	446	29	138	131
	max	445	619	115	68,0	77,9	445	1207	43	622	464	29	150	150

Tabla 1. Abanico de valores de los parámetros geométricos para cada categoría de bicicleta.

Observando la tabla puede verse la evolución de los distintos parámetros según el cambio de disciplina.

La longitud del tubo del sillín se reduce ligeramente, para poder utilizar tijas telescópicas con un mayor recorrido y mejorar el manejo en los tramos más técnicos. También se consigue un tubo superior más bajo que reduce el stand over, lo que ayuda que las rodillas puedan pasarlo por encima con mayor facilidad y posicionar mejor el cuerpo en diferentes maniobras.

La longitud del tubo superior, al igual que el reach, aumenta debido a la búsqueda de bicicletas más largas que den una mayor estabilidad. Este aumento no hace que el ciclista vaya más estirado ya que viene de la mano con una potencia más corta para ganar más agilidad a los inputs del manillar y de un mayor Stack que eleva la posición de las manos.

El largo del tubo de la dirección aumenta ligeramente, de modo que es casi insignificante. Esta medida nos da una mayor altura de los puntos de agarre lo que facilita las bajadas

inclinadas, pero se ve como aumenta poco debido a que a medida que vamos hacia bicis con mayor capacidad para el descenso, el recorrido de las horquillas aumenta y con ello la altura del manillar. Esto último es fácilmente visible en el Stack y el recorrido de la horquilla.

El ángulo de la dirección se relaja, lo que hace que las bicicletas se enfrenten mejor a los obstáculos y provoca un ligero aumento de la batalla volviendo la bicicleta más estable sobre todo a alta velocidad y en bajadas con mucha inclinación, pero perdiendo agilidad en curvas cerradas a baja velocidad.

El tubo del sillín sin embargo se vuelve más vertical lo que favorece una mejor implicación de los grupos musculares grandes y ayuda a centrar el peso en la bicicleta, facilitando que la rueda delantera no se despegue del suelo en las subidas empinadas.

El largo de las vainas se mantiene prácticamente constante. Esto se debe a que se busca que sea relativamente pequeño para mejorar el funcionamiento de la bicicleta y ganar algo de agilidad. Además, viene condicionada en parte por la medida del neumático empleado.

El offset del pedalier disminuye, ya que al aumentar el recorrido de las suspensiones la bicicleta queda más baja al llegar al final del recorrido lo que puede provocar que el plato, los pedales o las bielas impacten contra un obstáculo.

En Figura 13 se muestran los datos de la Tabla 1 para su mejor comprensión.

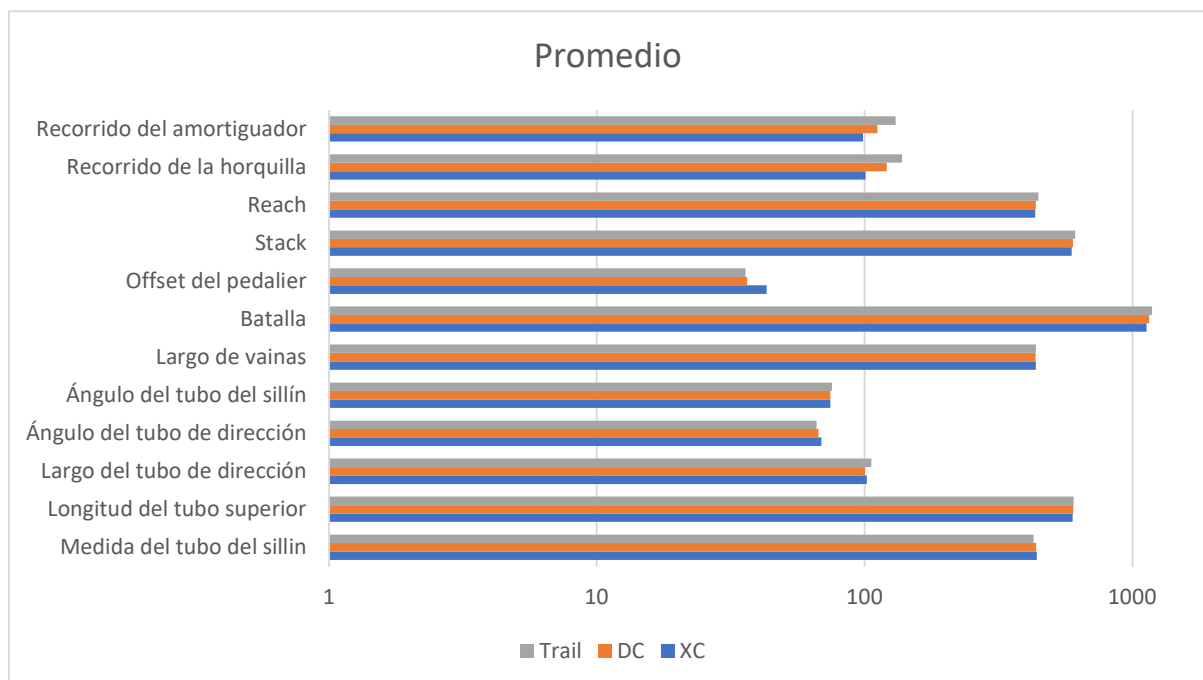


Figura 13. Tamaño medio de los distintos parámetros geométricos de cada categoría. Fuente: Propia.

3 ANÁLISIS DE MERCADO

Dado que las distintas medidas que aparecen en la tabla tienen magnitudes muy diferentes se recurre a una tabla y un gráfico en el que se muestran las variaciones en tanto por ciento de las distintas medidas respecto a una bicicleta de XC.

	Medida del tubo del sillín	Longitud del tubo superior	Largo del tubo de dirección	Ángulo del tubo de dirección	Ángulo del tubo del sillín	Largo de vainas	Batalla	Offset del pedalier	Stack	Reach	Tamaño de ruedas	Recorrido de la horquilla	Recorrido del amortiguador
DC	-0.53	0.67	-1.71	-2.40	0.16	-0.23	2.26	-15.46	0.92	0.40	0.00	19.75	13.05
Trail	-2.83	0.87	4.45	-4.13	1.55	-0.24	4.61	-19.43	2.82	2.53	-0.29	37.56	32.82

Tabla 2. Porcentaje de variación de cada parámetro geométrico respecto a una bicicleta de XC.

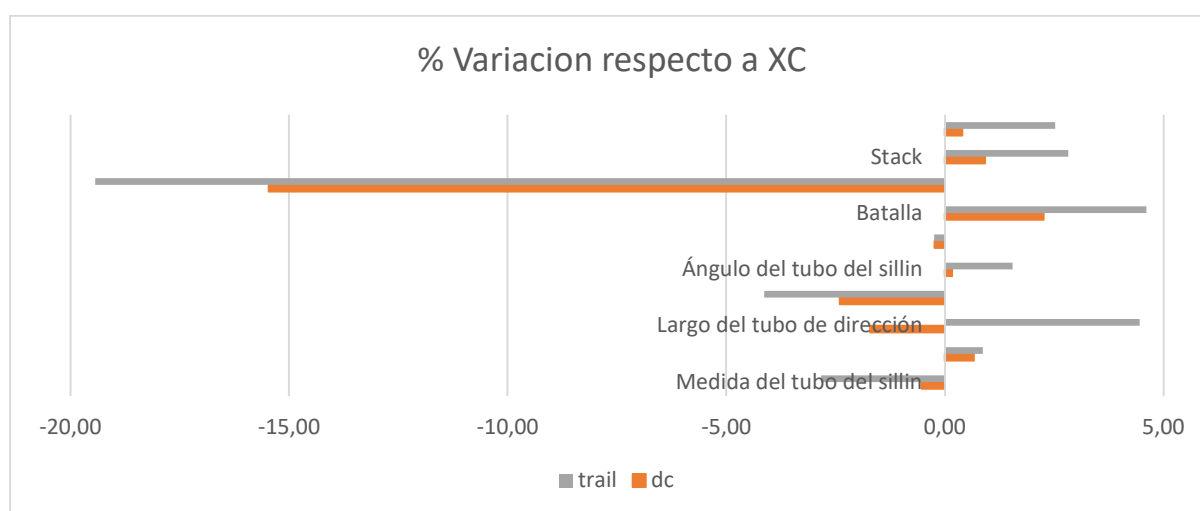


Figura 14. Representación de la Tabla 2.

Con la Figura 14 se ve muy claramente que la mayoría de los datos varían en la misma dirección en las bicicletas de Down Country y Trail y que esta variación es más notable en las bicicletas de Trail. Esto se debe a que las bicicletas de Trail están pensadas para ser eficientes en bajadas técnicas y con mucha inclinación, mientras que las de XC buscan tener buenas capacidades tanto subiendo como bajando, además de buscar una cierta agilidad para moverse en zonas más reviradas. Las de Down Country, como se puede ver por su nombre, son bicicletas, en primer lugar, diseñadas a partir de las de Cros Country y en segundo lugar que buscan tener más capacidades para el descenso que las de XC. Como se comentó anteriormente, muchas marcas lo que hacen es aprovechar un cuadro de una bicicleta de XC ya existente y montarla una horquilla con algo más de recorrido, por lo que los datos de las bicicletas de Down Country no muestran una visión real de cómo debería ser una bicicleta de este segmento.

Esta forma de fabricar las bicicletas de Down Country no es la óptima para aprovechar las capacidades que debería una bicicleta destinada a mejorar a una tradicional de XC bajando por lugares complejos y subir con un rendimiento similar.

3.1.1 Evolución de la generación actual

Con el fin de observar hacia dónde va el mercado en la actualidad se debe mirar de dónde vine y de este modo en base a la progresión hacer suposiciones con coherencia. Para ello se procede a comparar los modelos de la anterior generación, de los que se tienen datos, con los actuales.

Marca	Modelo	Disciplina	Año	Medida del tubo del sillín	Longitud del tubo superior	Largo del tubo de dirección	Ángulo tubo de dirección	Ángulo del tubo del sillín	Largo de vainas	Batalla	Offset del pedalier	Stack	Reach
Berria	Mako	XC	2019	457	605	105	71,0	73,0	437	1098	40	608	419
Berria	Mako 9	XC	2021	445	618	105	69,2	74,5	435	1141	50	604	450
BH	Lynx	XC	2019	440	599	110	68,5	73,5	425	1124	40	594	423
BH	Lynx	XC	2021	440	580	95	68,0	75,8	430	1131	40	580	436
BMC	Fourstroke	XC	2018	460	610	100	70,0	73,5	445	1126	40	595	434
BMC	Fourstroke	XC	2021	440	607	107	67,5	75,6	429	1155	44	590	445
Cannondale	Scalpel	XC	2019	440	599	110	69,5	73,5	435	1118	38	592	424
Cannondale	Scalpel	XC	2021	440	599	105	68,0	74,5	436	1151	40	591	435
Canyon	Lux	XC	2018	445	585	105	70,0	74,0	450	1114	34	594	415
Canyon	Lux cf 9	XC	2020	465	599	100	70,0	74,5	435	1126	38	591	435
Cube	Ams 100	XC	2020	420	590	107	70,0	74,5	443	1125	42	600	427
Cube	AMS C:68X	XC	2021	420	594	110	67,4	74,7	437	1156	43	593	437
KTM	Scarp	XC	2019	430	600	105	70,0	74,5	441	1129	45	603	433
KTM	Scarp	XC	2020	430	600	105	68,0	75,0	435	1145	45	596	440
Merida	Ninety-six rc 8999	XC	2019	460	590	100	70,0	74,5	437	1118	40	589	429
Merida	Ninety-six rc 9000	XC	2021	440	596	95	68,5	76,5	435	1146	45	585	453
MMR	Kenta	XC	2019	457	568	105	70,0	73,8	445	1117	44	600	418
MMR	Kenta	XC	2021	457	590	105	69,0	76,0	435	1138	50	602	440
Orbea	Oiz	XC	2018	432	589	100	70,0	74,0	440	1098	45	597	417
Orbea	Oiz	XC	2021	432	593	95	69,0	75,0	430	1119	47	591	435
Scott	Spark	XC	2021	440	600	95	68,5	73,8	435	1128	51	587	429
Scott	SPARK	DC	2021	440	590	90	67,2	76,1	438	1159	45	603	441
Specialized	Epic	XC	2018	434	595	105	69,5	74,8	438	1123	38	597	433
Specialized	Epic	XC	2021	430	598	100	67,5	75,5	433	1148	48	591	445

Tabla 3. Comparación entre modelos actuales sus predecesores.

3 ANÁLISIS DE MERCADO

De nevo, para mejorar la lectura de los resultados se muestran la variación que ha sufrido cada nuevo modelo con respecto a su predecesor en la siguiente tabla.

Marca	Modelo	Medida del tubo del sillín	Longitud del tubo superior	Largo del tubo de dirección	Ángulo del tubo de dirección	Ángulo del tubo del sillín	Largo de vainas	Batalla	Offset del pedalier	Stack	Reach
Berria	Mako	-12	13	0	-1,8	1,5	-2	42,8	10	-4	31
BH	Lynx	0	-19	-15	-0,5	2,3	5	7	0	-14	13
BMC	Fourstroke	-20	-3	7	-2,5	2,1	-16	29	4	-5	11
Cannondale	Scalpel	0	0	-5	-1,5	1	1	33	2	-1	11
Canyon	Lux	20	14	-5	0	0,5	-15	12	3,6	-3	20
Cube	Ams 100	0	3,59	3	-2,62	0,18	-6	30,69	1,37	-7.9	9,79
Ktm	Scarp	0	0	0	-2	0,5	-6	16	0	-7	7
Merida	Ninety-six rc 8999	-20	6	-5	-1,5	2	-2	28	5	-4	24
MMR	Kenta	0	22	0	-1	2,2	-10	21	6	2	22
Orbea	Oiz	0	4	-5	-1	1	-10	21	2	-6	18
Scott	Spark	0	-10	-5	-1,3	2,3	2,5	31,3	-5,5	15,6	12
Specialized	Epic	-4	3	-5	-2	0,75	-5	25	10	-6	12
PROMEDIO		-3,0	2,8	-2,9	-1,5	1,4	-5,3	24,7	3,2	-3,3	15,9
%Variación		-0,68	0,47	-2,86	-2,14	1,83	-1,21	2,19	7,44	-0,56	3,66

Tabla 4. Variación de los distintos parámetros de las bicicletas actuales respecto a sus predecesoras.

De la Tabla 4 se observa lo siguiente:

- La variación en cuanto a la longitud del tubo del sillín en la mayoría de los modelos es nula o varía muy poco, nunca más de 2 cm y en la mayoría de los casos en los que cambia es para disminuir. Esto se debe a que esta medida es la que está más relacionada con la talla del ciclista y en los casos en los que disminuye podría estar relacionada con una disminución del rango de alturas para una determinada talla o con la inclusión de una tija telescópica de mayor recorrido.
- En cuanto a la variación del tubo superior, esta viene ligada al aumento de reach en busca de tener una bici más larga y por tanto más estable. Este aumento se ve compensado por la disminución de la longitud de la potencia.
- Para el tubo de dirección vemos que en la mayoría de los casos disminuye. Esto se debe a que algunos modelos están empezando montar cableado interno desde la dirección, por lo que la disminución de la altura de la pipa se ve compensada por el aumento de altura de la potencia y los espaciadores requeridos para estos sistemas.
- Como se observa, el ángulo del tubo de la dirección se relaja para la mayoría de los modelos en busca de enfrentar mejor los obstáculos de las bajadas. Al mismo tiempo

el ángulo del tubo del sillín se incrementa con el fin de lograr una posición más centrada sobre la nueva bicicleta.

- El largo de vainas disminuye ligeramente en la mayoría de los modelos con el fin de compensar el aumento de la longitud de la parte delantera y ganar algo de agilidad en la bicicleta. A pesar de ello todas las bicicletas han aumentado la batalla.
- La caída del pedalier disminuye en la mayoría de los casos, posiblemente impulsado por la búsqueda de evitar contactos de los platos y las bielas con los obstáculos, dado que en los últimos años ha aumentado el rango de los casetes con piñones cada vez más grandes, lo que permite usar platos de más dientes (más grandes), para obtener las mismas relaciones cortas.

A continuación, se presenta esta última tabla en la que se exponen los valores medios de cada apartado geométrico de las distintas generaciones. Con el fin de mostrar de forma más simple lo comentado anteriormente.

Generación	Disciplina	Medida del tubo del sillín	Longitud del tubo superior	Largo del tubo de dirección	Ángulo del tubo de dirección	Ángulo del tubo del sillín	Largo de vainas	Batalla	Offset del pedalier	Stack	Reach
Posterior	XC	442,9	594,2	103,9	69,8	73,9	439,3	1118,1	41,4	596,3	425,1
Actual	XC	439,9	597,0	101,0	68,3	75,3	434,0	1142,9	44,6	593,0	441,0

Tabla 5. Valores medios de los parámetros geométricos de la generación actual de bicicletas y su predecesora.

Haciendo la media de todas estas variaciones obtenemos el siguiente grafico:

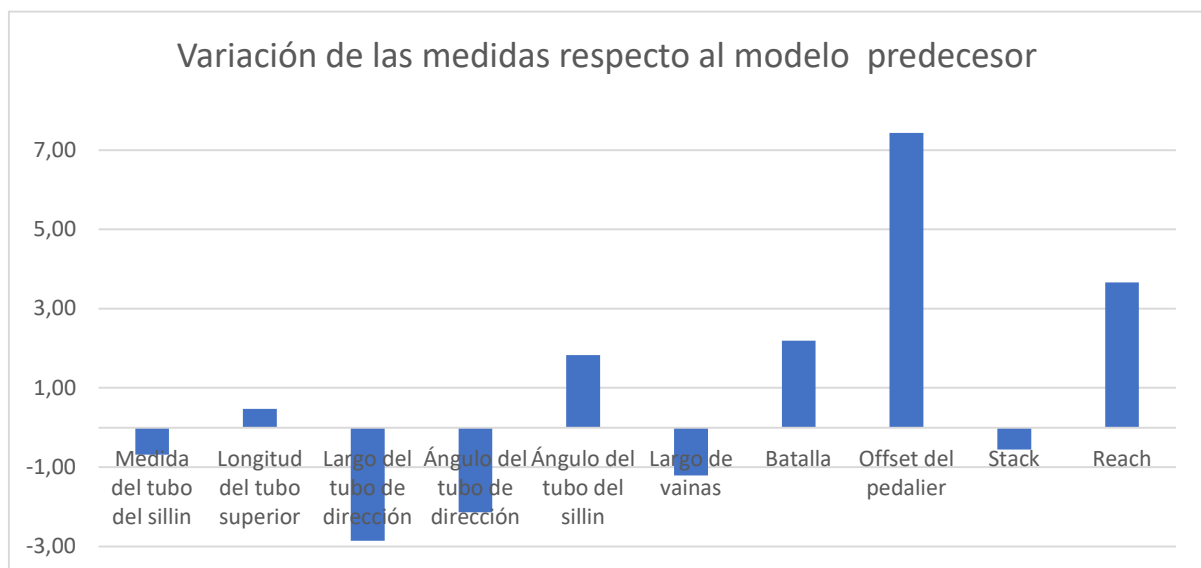


Figura 15. Tanto por ciento de variación de los parámetros geométricos de la generación actual respecto a la predecesora.

Con el aumento del reach, de la batalla y el ángulo de dirección más relajado, se puede ver como el mercado actual busca hacer bicicletas más estables y con mejor capacidad para absorber obstáculos, que estarán ligeramente más limitadas a la hora de subir, pero que por lo general trabajarán mejor en los segmentos de mayor dificultad técnica. También son bicicletas que por aumento de la batalla y la subida del pedalier tienen mayor dificultad para afrontar secciones muy lentas y reviradas.

3.2 Otras evoluciones

No todos los avances se centran en la evolución de la geometría o en parámetros relacionados con la mejora del rendimiento, la disminución del peso o el aumento de la rigidez. Existen otros factores en los que los fabricantes innovan para buscar que sus nuevos modelos tengan un mayor impacto. A continuación, se exponen algunos de los más importantes en los últimos años.

- Cableado interno: esta innovación se empezó a introducir hace aproximadamente una década. En los inicios se empezaron a ocultar los cables de los cambios y posteriormente se hizo lo mismo con los del freno. Esta mejora se comenzó a introducir en las bicicletas de carretera para buscar una menor resistencia aerodinámica: al ocultar los cables dentro del cuadro se evita su contacto con el aire. Posteriormente fue adaptada por las bicicletas de mountain bike, no solo por la estética más limpia que ofrece este sistema, también impide la acumulación de barro en los cables y los enganchones con ramas, raíces y demás elementos que a menudo dañaban los cables. Otra ventaja de ocultar los cables, en el caso de los desviadores, es que van cubiertos por la funda prácticamente desde la maneta hasta el desviador, mientras que antes solían ir expuestos en algunos tramos y eran más propensos a acumular suciedad que acababa penetrando en las fundas y dañándolas prematuramente, provocando un mal funcionamiento del sistema.

En las bicicletas de doble suspensión actuales existen muchos cables que quitan algo de limpieza visual al diseño de la bicicleta, como el del cambio trasero, los de los frenos, el de la tija telescópica y los de bloqueo remoto de la horquilla y el amortiguador.

Los principales inconvenientes de este sistema son que en ocasiones las irregularidades del terreno producen que los cables choquen con las paredes internas del cuadro, provocando molestos ruidos. La solución más empleada para solucionar

esto es cubrir los cables con fundas de espuma para que cuando choquen no hagan ruido. Otro inconveniente es que los mantenimientos se hacen más complejos. Por ejemplo, el cable del cambio suele necesitar ser sustituido cada cierto tiempo por el desgaste de este y de la funda que lo envuelve. Con el cableado externo esta operación se realizaba en pocos minutos, pero con algunos sistemas de cableado interno este tiempo se ha multiplicado enormemente, ya que en muchas ocasiones hay que guiar a ciegas el cable por el interior del cuadro hasta el orificio de salida. Algunos fabricantes, como Specialized o Santa Cruz, para evitar este problema recurren al guiado interno de los cables a través de conductos creados en la fibra de carbono, pero esta solución aumenta el coste y el tiempo de fabricación.



Figura 16. Guiado de cables interno. Fuente: Santa Cruz.

La última innovación en este apartado viene heredada de las bicicletas de carretera en las cuales se empezaron a introducir los cables provenientes de las manetas, por dentro del manillar, la potencia y posteriormente, el cuadro, a través del orificio superior del tubo de la dirección. Esto empezó a introducirse en el mountain bike hace pocos años y aún no ha sido adoptado por todos los fabricantes, como sí lo ha hecho el cableado interno convencional. Para adoptar este sistema se ha montado un rodamiento de 1,5" en la parte superior e inferior de la dirección, y el hueco sobrante entre la parte interior del rodamiento superior y el tubo de la horquilla, se ha montado un espaciador con unos agujeros por los que pasan los diferentes cables.

Tiene la ventaja de que, al entrar los cables por el orificio superior de la dirección, es más fácil su enrutamiento.

- Doble bidón: Como se verá en el apartado 3.3.3, los usuarios dan bastante importancia a esto, por lo que tiene sentido diseñar la bicicleta pensando en ofrecer esta posibilidad, aun a costa de penalizar en otros apartados como puede ser el peso. Tanto es así que marcas como Scott en su nueva Spark han llegado a esconder el amortiguador dentro del cuadro para poder albergar un segundo bidón, sin sacrificar

su diseño de amortiguador vertical. También hay casos como el de la Ghost Lector FS que han colocado el segundo bidón en el tubo superior, en lugar de en el tubo del sillín, ya que en este es donde sitúan el amortiguador.



Figura 17. Anclaje de los bidones en bicicletas con amortiguador vertical. Izquierda: Ghost Lector FS. Derecha: Scott Spark. Fuente: Ghost bikes y Scott bikes

- Guía cadenas: con la implantación de las transmisiones monoplato surgió un problema y es que, al no tener desviador delantero, cuando la bicicleta pasaba bruscamente sobre una irregularidad del terreno, la cadena saltaba y en ocasiones se salía del plato. Con el tiempo se introdujeron cambios en las transmisiones que mitigaban este efecto, como el uso de desviadores traseros con una mayor tensión que limita el salto de la cadena o los platos narrow-wide que alternan dientes estrechos con dientes anchos para mejorar el contacto con la cadena, ya que los huecos interiores de los eslabones presentan la misma construcción.

Sin embargo, estos elementos no permiten asegurar que la cadena no caiga del plato en situaciones límite, y por ello se comenzó a utilizar el guía cadenas en las bicicletas de XC. Este sistema se coloca cercano al punto de contacto superior de la cadena con el plato, dejando una tolerancia tal con la cadena que permita su paso en todas las posiciones, pero que no permita que se salga, solucionando definitivamente el problema de las caídas de cadena.

- Integración de herramientas: las bicicletas son máquinas relativamente complejas que requieren de ajustes precisos para un correcto funcionamiento. Además, las bicicletas son bastante delicadas por lo que no es raro que puedan tener una avería. Los pinchazos, las roturas de cadena o el mal apriete de algún tornillo son algunas de las más comunes. Estas averías son fáciles de solucionar en medio de una ruta o carrera con un multiherramientas y una bomba. Además de estas herramientas también hay otros elementos como las cámaras, bridas, bombonas de CO₂ y sus adaptadores, mechas... Una larga cantidad de elementos que hacen que llevarlo todo en los bolsillos del mallot sea incómodo y peligroso en caso de caer sobre la espalda. Una de las opciones más utilizadas para guardar estos elementos es una bolsa que se

coloca detrás del sillín, pero no es recomendable utilizar esta bolsa con tijas telescópicas. Por eso cada vez más fabricantes buscan nuevas formas para integrar las herramientas en el cuadro. Algunos fabricantes como Trek o Specialized utilizan tapas que permiten el acceso al interior del tubo diagonal para aprovechar ese hueco como almacenaje. Sin embargo, no todas las soluciones son tan complejas. Por ejemplo. Cannondale integra el multiherramientas bajo el soporte del bidón del tubo diagonal; o BH que integra un gran número de herramientas en la cavidad del tubo de la horquilla con su sistema FIT.

- Bloqueo de la dirección: este sistema se encarga de limitar los grados de giro de la dirección. Esto se hace para evitar que en caso de caída las manetas de freno o de cambio choquen con la parte superior del tubo superior dañando la pintura o el carbono, además de evitar que las barras de la horquilla impacten con el tubo diagonal. Habitualmente estos sistemas se emplean con direcciones semiintegradas que tienen unos topes que limitan el giro a unos 150° aproximadamente. Este valor depende del modelo y del fabricante elegidos.

3.3 Análisis de los consumidores

Las bicicletas son una compra pasional que muchas veces tiene más que ver con el entusiasmo que con una necesidad real, por eso una parte importante a la hora de diseñar una bicicleta es conocer al público al que va destinada, sus intereses y preferencias.

Es por ello por lo que se publicó una encuesta en ForoMTB (mayor foro de ciclismo de habla hispana), para tener una idea de las preferencias del mercado español.

La encuesta se divide en tres partes.

- Preguntas personales
- Intereses y preferencias sobre el mountain bike
- Preferencias sobre la bicicleta

Los resultados de la encuesta están publicados en el ANEXO 2.

3.3.1 Preguntas personales

A partir de la primera sección de la encuesta se pueden sacar conclusiones de cómo será el ciclista tipo. Para este caso se supondrá un ciclista hombre, de una edad comprendida entre los 26 y los 55 (95,4%). El ciclista medio tendrá una edad entre 36 y 45 (50%). Estos datos

se tendrán en cuenta más adelante para elegir el IMC y con ello determinar el peso de los distintos ciclistas.

Otro dato muy interesante que se observa es que el 79,23% de los encuestados se encuentran en un estado de forma físico superior a la media. Además, el 61,53% de los participantes en la encuesta tienen más de 10 años de experiencia en el mountain bike. Teniendo esto en cuenta, se considera que la mayor parte del público al que va destinada esta bicicleta tienen mucha experiencia dentro del mountain bike, están en buena forma y tienen un buen desempeño técnico. Además, la bicicleta deberá tener una buena resistencia al desgaste, pues la mayoría de los usuarios (63,07%) montan entre 3 y 5 días a la semana en bicicleta.

La mayoría de los encuestados participan en marchas o carreras, pero el 71% de los encuestados participan en menos de 5 al año, con lo que se puede presuponer que la mayoría de los usuarios se fijan unas pruebas objetivo en las que buscan dar lo mejor de sí y buscarán una bicicleta en función de estas pruebas objetivo.

También se puede ver que la mayor parte de los ciclistas residen en comunidades autónomas en las que predominan el sol y la buena temperatura (74,6%). Se consideran provincias con estas características climáticas todas aquellas que no tienen un clima atlántico; es decir, todas salvo, Galicia. Asturias. Cantabria, País Vasco y Navarra.

En lo referente a la adquisición de una bicicleta, aproximadamente el 63% de los usuarios cambian de bicicleta cada 5 años o menos. Este periodo coincide con la media de tiempo en la que tanto los fabricantes de bicicletas como los de componentes evolucionan sus productos, por ello se asume que buscan las mejoras de calidad y rendimiento que el mercado ofrece para poder seguir avanzando como ciclistas. No obstante, un 76% no tendría problema en adquirir una bici de segunda mano, por lo que se buscará que la bicicleta a diseñar tenga unas especificaciones y un diseño atemporal de cara a tener una mejor percepción por el público en su reventa.

Por último, un 61% de la gente tiene amplios conocimientos de mecánica y se encargan ellos de la totalidad o la mayoría de los mantenimientos, por lo que escoger estándares que permitan un mantenimiento sencillo, sin herramientas demasiado específicas ayudará a estas labores de mantenimiento.

3.3.2 Intereses del público encuestado

No solo la información personal de los potenciales clientes es importante para entender el mercado al que va destinado la bicicleta; también es transcendente conocer que es lo que más les importa dentro del mountain bike. Es por ello por lo que en la segunda parte de la encuesta se hacen preguntas con el objetivo de conocer los intereses, que se expondrán a continuación.

Según las respuestas a la encuesta, la mayoría del público practica XC. Además, se ve como las disciplinas se practican más cuanto menos centradas en bajar están, es decir, disciplinas como el descenso o el enduro son mucho menos practicadas que el Trail o el XC; lo cual corresponde con la presencia de cada una de las disciplinas en los medios especializados.

El XC maratón es la disciplina que más practican las personas encuestadas. Esto seguramente se deba a que la gente con la bicicleta de montaña suele practicar rutas por entornos naturales y serán rutas más largas de los 90 min que suele durar una prueba de XCO. Por ello es interesante diseñar una bicicleta pensando en estos usuarios y no en el desempeño en circuitos de XCO. Así mismo se observa que el Trail tiene cierto público en España, casi el mismo que el XC, de modo que en un primer análisis el diseño de una bicicleta de XCM, pero con algo más de recorrido, tiene sentido.

Por otro lado, el 55% compite o ha competido alguna vez y a un 81% le gustaría participar en carreras por etapas, lo cual supone otro punto a favor de las bicicletas de doble suspensión, ya que aportan un extra significativo de comodidad, al absorber en gran medida las irregularidades en la parte delantera y trasera de la bicicleta, disminuyendo su impacto sobre el cuerpo del ciclista. Además, la mayoría de las personas (88%) realizan salidas con una dificultad media/alta. Por eso es importante una bicicleta con un buen rendimiento en tramos técnicos.

Un 69% prioriza disfrutar de sus salidas en bicicleta frente a mejorar su forma física, lo cual permite suponer que estos usuarios realizarán rutas variadas y nunca o rara vez harán entramientos de series repitiendo una y otra vez los mismos segmentos.

Otro dato importante es que el 78% de los encuestados van solos o suelen hacerlo, por lo que cobra especial importancia el diseño de una bicicleta segura (estable) y, además, estos usuarios deben cargar con una serie de herramientas que les permitan solucionar las averías más comunes, como pinchazos, roturas de cadena, desajustes de la transmisión, tornillos que se han quedado flojos... Así mismo, circular sin compañía hace que el cubrir las

necesidades de hidratación y nutrición sea imperante. El descuido de estas necesidades puede generar una pérdida del rendimiento y la concentración que provoque un accidente. Además, el 68% tiene preferencia por rutas de entre 2 y 4 horas y un 26% hacen rutas de más de 4 horas, donde aún es más importante tener cubierto el tema de la alimentación y la hidratación. En sus salidas habituales la mayoría de la gente (63,8%) suele acumular más de 1000 m de desnivel; casi en proporciones similares los que se suelen enfrentar a subidas largas (más de 30 minutos) con los que suelen hacer subidas más cortas. Las subidas de corta duración generan un mayor consumo del glucógeno muscular, por lo que es más probable que aparezcan las “pájaras” debido al agotamiento de las reservas de glucógeno muscular, ya que es el combustible que emplean los músculos cuando se realizan esfuerzos de no muy larga duración, pero si alta intensidad (típico en las subidas cortas).

Otro aspecto para tener en cuenta es que el 58% de los encuestados disfrutan más en los tramos de bajada, por lo que tiene sentido diseñar una bicicleta que priorice el rendimiento en bajadas. Así mismo el 29% de la gente disfruta más en las subidas, por lo que buscar un comportamiento extremadamente bueno en bajadas que penalice en las subidas no tiene sentido. Además, el 72% prefieren los senderos, donde es importante tener una bicicleta no excesivamente perezosa que se mueva bien de un lado a otro. Por otro lado, el 19% prefieren las trialeras, que son segmentos de mucha inclinación que normalmente tienen diversos obstáculos como piedras, raíces o escalones; lo cual hace que sea importante que la bicicleta sobrepase bien los obstáculos y tenga una buena estabilidad. Para finalizar, el 61% usan tija telescópica, lo cual ayuda a cumplir con los dos requisitos anteriores y da una idea de que la mayoría de la gente suele enfrentarse a segmentos complicados, ya que de lo contrario pocos ciclistas cargarían con los 400 o 500 g de peso extra que supone.

3.3.3 Preferencias sobre la bicicleta

En cuanto a las preferencias de los usuarios sobre los componentes de la bicicleta se ve que la mayoría elige las transmisiones monoplato (86%), lo cual facilita el diseño del sistema de suspensión en lo que a eficacia de pedaleo se refiere. También se ve como los platos más usados, para un casete con un rango de piñones de 10 a 50, son el de 32 y el de 34 dientes, ambos a un nivel similar, por lo que se buscará que la bicicleta tenga un buen rendimiento con estos desarrollos.

Otro dato importante, sobre todo a la hora de diseñar el basculante y los pasos de rueda, es que la mayoría de los usuarios prefieren cubiertas con un balón entre 2,15” y 2,35” (87%), lo que encaja más o menos con los estándares del mercado y un 60% montan cubiertas de más

de 2,25". Además, el 94% de los encuestados usan cubiertas con tacos intermedios o pequeños, indicativo de que la mayoría de los ciclistas montan por terreno seco y con un agarre decente, o que prefieren sacrificar agarre en curvas y frenadas para disminuir la resistencia a la rodadura.

Por último, se presentaron una serie de características para una bicicleta de doble suspensión a la que se otorgaba una puntuación en función de la importancia que le daba cada usuario.

El factor al que más importancia dan los usuarios es a la independencia entre el amortiguador y las fuerzas de pedaleo, seguido del peso del cuadro y de la capacidad de bloquear las suspensiones. Otras características algo menos importantes para los usuarios son la independencia entre el amortiguador y las fuerzas de frenado, la fabricación de todo el cuadro en fibra de carbono, el espacio para dos bidones y el cableado interno; mientras que la característica menos importante según los usuarios encuestados es la integración de herramientas en el propio cuadro.

4 ESTÁNDARES DE LOS COMPONENTES

4.1 Dirección

Como se vio en el apartado 2.2, la dirección de la bicicleta es el elemento que permite la rotación de la horquilla respecto al cuadro. Esta rotación debe ser suave y no presentar holguras, ya que de lo contrario afectará al manejo y a la seguridad. Para conseguir este giro se montan dos rodamientos que unen la pipa y el tubo de dirección. Un rodamiento se coloca en la parte inferior y otro en la superior.

En la actualidad se han estandarizado las horquillas con un tubo de dirección tapered o cónico. El estándar tapered se caracteriza por tener un ancho de 1,5" en la parte inferior y 1" 1/8" en la parte superior en el tubo de la horquilla. Con esto se aumenta la rigidez de la horquilla frente a las tradicionales cilíndricas de 1" 1/8" sin tener una penalización importante en peso.

Existen diferentes tipos de direcciones en función de cómo se unen los rodamientos al cuadro

- Dirección integrada: Los rodamientos se montan directamente en el interior de la pipa de dirección, quedando enrasados con los extremos de esta. Las propias paredes de la pipa de dirección tienen la forma necesaria para sujetar los rodamientos.
- Cazoleta externa: los rodamientos están dentro de unas cazoletas que se unen al cuadro mediante un ajuste con apriete. Las cazoletas sobresalen de la pipa de dirección. Actualmente solo se usan en bicicletas de gama baja.
- Semiintegrada: Al igual que en el anterior tipo, los rodamientos están dentro de cazoletas, pero esta vez se montan dentro de la pipa de dirección, de modo que todo el sistema permanece oculto.

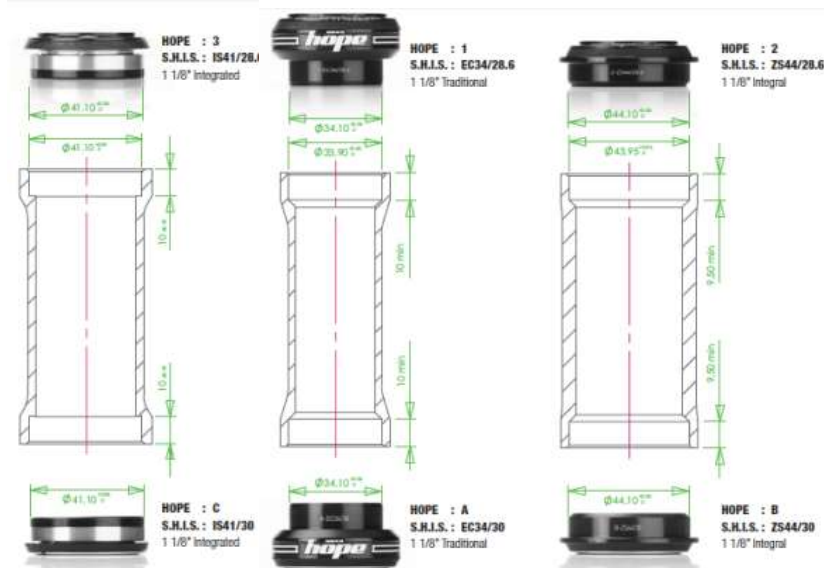


Figura 18. Tipos de direcciones de bicicleta: integrada, cazoleta externa y semiintegrada. Fuente: Hope.

El sistema de dirección semiintegrada tiene varias ventajas respecto a los anteriores y es que al usar cazoletas se puede jugar con la excentricidad de estas y variar ligeramente el ángulo de dirección para poder adaptarlo a las necesidades del ciclista. Es decir, se puede tener un ángulo más vertical y por lo tanto una distancia entre ejes menor para los ciclistas que prefieran una bicicleta rápida de reacciones o, girando 180 grados las cazoletas se puede tener una dirección más horizontal, con lo que se conseguirá una bicicleta más larga y estable que facilite su conducción en bajadas a alta velocidad. Gracias a este sistema se pueden tener dos bicicletas en una.

Además, también permite el uso de sistemas de bloqueo de la dirección sin la necesidad de montar elementos adicionales. Estos sistemas limitan los grados de rotación de la horquilla para evitar que durante un accidente la rueda delantera gire y provoque que la propia horquilla o los elementos del manillar choquen con el cuadro. De este modo se llegan a evitar desde daños estéticos hasta daños estructurales en el propio cuadro o la rotura de alguna de las distintas manetas del manillar.

Los últimos lanzamientos de bicicletas tienden al uso de pipas de dirección cilíndricas a pesar de que los tubos de dirección son más anchos en la base. Esto se debe a que se usan rodamientos del mismo tamaño en la parte superior e inferior. A través de esta construcción se consigue un espacio entre el interior del rodamiento superior y el exterior del tubo de la dirección, el cual se puede utilizar para introducir los cables dentro del cuadro, con lo que se consigue una visión más limpia del cockpit y se evitan los agujeros en el cuadro para la entrada de cables, además de hacer más fácil el mantenimiento para los sistemas de cableado interno. Esta nueva forma de integrar los cables ha sido adaptada directamente de

las bicicletas de carretera donde se implementaron estos sistemas para evitar la exposición de los cables y así mejorar la aerodinámica de las bicicletas.

4.2 Pedalier

El eje de pedalier soporta toda la potencia ejercida al pedalear, por eso cuanto más rígido sea menos energía se perderá durante la pedalada. En base a esta idea se han diseñado los nuevos estándares, que mejoran este aspecto si se comparan con los ejes de cuadradillo. En la actualidad predominan los siguientes estándares:

- BB30: En este tipo de pedalier los rodamientos van montados a presión en la caja del pedalier, haciendo que queden dentro de esta. La caja del pedalier puede medir 68 o 73 mm.
- Presfit30: EL montaje es similar al BB30, pero en este caso los rodamientos van dentro de unas cazoletas de plástico. Los rodamientos se introducen en las cazoletas a presión, al igual que las cazoletas dentro del cuadro. Puede montarse en cajas de pedalier de 68, 73, 83 y 92 mm.

Este sistema tiene el inconveniente de que si entra suciedad en el cuadro acaba ocasionando ruidos muy molestos al pedalear. Además, después de salidas con barro o con agua los rodamientos podrían llegar a griparse si no se limpiara la bicicleta después de la salida, y cuando se volviera a utilizar la bici y se pedaleara en vez de girar el rodamiento con la biela, giraría la cazoleta.

- BSA: En este sistema los rodamientos van montados dentro de dos cazoletas que van roscadas a la caja de pedalier, quedando fuera de esta. El nombre BSA se refiere a que la rosca es inglesa 1.37"x24Tpi, que significa que tiene un diámetro de 1.37" (34,798mm) y el paso es de 24 filetes por pulgada. El lado izquierdo va roscado a izquierdas y el derecho va roscado a derechas. Se monta en cajas de pedalier de 68, 73, 83 y 100 mm.

Este sistema es más pesado que los anteriores, pero no presenta los mismos problemas de ruido, además permite la instalación de protectores de plato y guiacadenas sin necesidad de utilizar tornillería adicional.

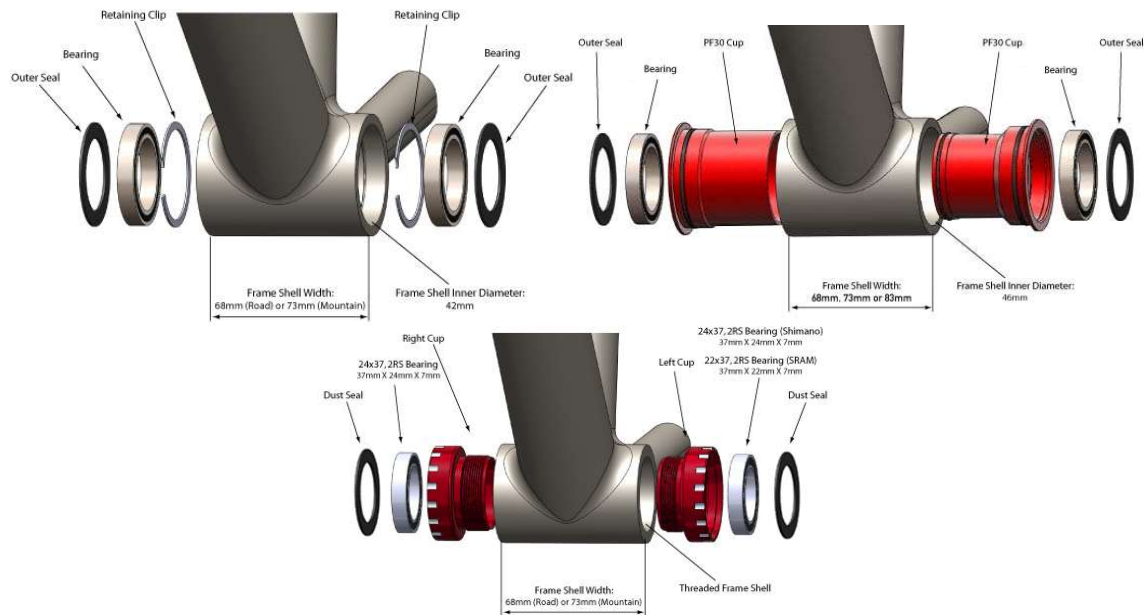


Figura 19. Tipos de pedalier: BB30, Pressfit y BSA. Fuente: Wheelsmfg

4.3 Diámetro de rueda

La principal revolución del mountain bike en los últimos 10 años ha sido la estandarización de las bicicletas de 29". Tradicionalmente se utilizaban bicicletas de 26" con neumáticos muy estrechos entre 1,75" y 2,1". En estas bicicletas la ligereza era primordial sobre cualquier otro aspecto, como puede ser la seguridad, el manejo o la rigidez.

Las bicicletas de 26" tenían una clara limitación en el momento de superar obstáculos de gran tamaño, por ello se decidió aumentar el diámetro de las llantas. Así es como surgieron los nuevos estándares:

- 27,5": durante unos años estuvo parejo al de 29", especialmente en tallas pequeñas. Y durante mucho tiempo se mantuvo como única medida en las bicicletas de Trail, enduro y descenso, pero finalmente el mercado en estos segmentos ha ido migrando a las ruedas de 29".
- 29": es el más utilizado en la actualidad. Su mayor capacidad para superar obstáculos ha hecho que sea el preferido por la mayoría de los ciclistas. Sin embargo, presenta algunos inconvenientes como que debido a su mayor peso y mayor inercia se necesita más energía para moverlos y sobre todo para acelerarlos. Esto es especialmente notable en las bicicletas de primeros precios que montan llantas y neumáticos muy pesados.

4.4 Bujes

Prácticamente desde el inicio de las bicicletas de 29" se empezaron a utilizar, en la rueda posterior, bujes con un eje de 12 mm y un ancho de 142 mm entre las caras exteriores que posteriormente pasó a ser de 148 mm, conocido como el estándar boost. La finalidad de estos cambios era lograr un aumento de la rigidez con respecto al anterior estándar QR 9 que tenía un eje de 9 mm y un ancho de 135 mm. El incremento de la anchura permite que los radios estén a una mayor distancia del centro de la llanta y por consiguiente se mejore la rigidez lateral de la rueda. Además, este nuevo estándar permite el uso de cubiertas más anchas ya que el aumento de la anchura del buje, el de la caja del pedalier y, por consiguiente, el de la línea de cadena, dejan un mayor espacio para estas.

Además de este estándar existe otro que emplea ejes de 12 mm de diámetro y 157 mm de ancho, conocido como superboost, que se emplea principalmente en bicicletas de descenso.

4.5 Amortiguador

Los amortiguadores de aire son los más utilizados en las bicicletas de XC. Tienen varias ventajas frente a los amortiguadores de muelle. Quizás una de las más notables es su capacidad de configuración ya que variando la presión interna del amortiguador se puede adaptar a ciclistas de distintos pesos o estilos de conducción. Esta característica también permite ajustar la presión para que cada ciclista encuentre su configuración ideal. En los amortiguadores de muelle la rigidez es constante, lo que hace que en ocasiones haya que cambiar el muelle para adaptarlo a las características del ciclista.

Otra diferencia entre ambos sistemas es que el de muelle tiene un comportamiento prácticamente lineal, mientras que los de aire son progresivos, lo que en ocasiones hace que haya ciclistas que no pueden sacar el máximo partido a la suspensión trasera, por no ser capaces de acercarse al tope del recorrido.

En la actualidad predominan los amortiguadores métricos que surgen del consenso entre los distintos fabricantes para fabricar medidas estandarizadas, facilitando así la elección del amortiguador. Anterior a este estándar estaba el imperial, que tenía la desventaja de que había cerca de 90 tipos diferentes de casquillos de montaje, dificultando su elección; mientras que el estándar métrico tiene 18 casquillos diferentes. Con la estandarización del sistema métrico comienza a introducirse un nuevo sistema de anclaje superior denominado Trunnion,

en el que los tornillos se fijan directamente al cuerpo del amortiguador en lugar de utilizar el típico ojal y pasador. Con esto se consigue, a igualdad de longitud del amortiguador, un mayor volumen de la cámara de aire, además de otras mejoras, como poder integrar mejor el amortiguador en cuadros de tallas pequeñas o la posibilidad de igualar el recorrido del amortiguador en un cuerpo más pequeño.

5 DISEÑO DE LA BICICLETA

5.1 Geometría

Con el diseño de la geometría se ha buscado desarrollar una bicicleta que tenga las mejores especificaciones para las pruebas actuales de XCM, partiendo de la base de que esta tendrá un recorrido de suspensión de 120 mm en ambas ruedas.

Al estar diseñada para un uso de XCM se busca que la bicicleta tenga un buen rendimiento tanto en subidas con mucha inclinación y terreno muy irregular, que requieren una buena tracción y postura, como en bajadas del mismo estilo.

Del mismo modo también se busca que la bicicleta tenga un comportamiento general estable, pero sin sacrificar la agilidad, especialmente en las zonas más reviradas.

Para alcanzar estos requisitos se proponen las siguientes especificaciones geométricas:

- Reach: 440 mm.
- Stack: 610,7 mm.
- Vainas: 425 mm.
- Longitud del tubo del sillín: 440 mm.
- Longitud tubo superior: 592,3 mm.
- Longitud de la pipa: 95 mm.
- Distancia entre ejes: 1144,9 mm.
- Caída del pedalier: 50 mm.
- Ángulo del tubo del sillín: 76°.
- Ángulo del tubo de dirección: 67,5°.

El eje del pedalier se sitúa más bajo que en la mayoría de las bicicletas de su categoría, con lo que se busca aumentar la estabilidad, bajando el centro de gravedad. Para esta posición del eje del pedalier se ha tenido en cuenta que la mayoría de los usuarios de la bicicleta montarán platos de 32 o 34 dientes, frente a los 38 dientes que suelen montar los ciclistas profesionales de XCO, que son para los que se suelen diseñar las bicicletas.

Con las vainas cortas de 425 mm, que es el mínimo posible por la longitud de cadena (Figura 27), se reduce la batalla de la bicicleta para aumentar la agilidad, especialmente la de la parte trasera, lo cual puede ayudar a mover la bicicleta en bajadas inclinadas.

La longitud del tubo del sillín está a la par de la mayoría de las bicicletas de esta franja de alturas (talla M). Esto es porque esta medida es la que realmente marca el margen de alturas que podrán usar la bicicleta, ya que otras medidas como la longitud del cuadro (reach) están más relacionadas con el comportamiento de la bicicleta. En esto se basa Specialized en su gama de enduro con su concepto S-Sizing, donde han diseñado bicicletas que son válidas para un amplio rango de alturas en las que la mayoría de los usuarios pueden escoger entre al menos dos modelos de distintas longitudes en función del comportamiento que prefiera; bicicletas más cortas para personas que prefieren una bicicleta más ágil y bicicletas más largas para personas que prefieren mayor estabilidad.

El ángulo del sillín, bastante vertical, está diseñado pensando en centrar la postura del ciclista, para mejorar el control de la bicicleta en ascensos inclinados, ya que la bicicleta tiene una parte frontal larga. El ángulo del sillín está notablemente más inclinado que en la competencia, pero de forma efectiva la inclinación del sillín es menor, ya que, para evitar la interferencia entre el tubo del sillín y la rueda trasera en la posición de máxima compresión, la parte final del tubo del sillín está más inclinada hacia la horizontal, resultando en una inclinación de $74,9^\circ$ para la altura de sillín que correspondería para una persona de 170 cm de altura y de $74,5^\circ$ para una persona de 180 cm.

La longitud de la pipa de dirección viene condicionada por la disciplina en la que se centra el diseño de la bicicleta. Las pruebas XCM son pruebas largas en las que el ciclista está varias horas montado en la bicicleta, por ello se busca que lleve una posición relativamente erguida, con el objetivo de evitar molestias en la espalda. Se podría diseñar una pipa más larga, pero con los 20 mm de la horquilla frente a una bicicleta convencional y la posibilidad de poner espaciadores o una potencia con angulación positiva, no se considera necesario.

El ángulo de la dirección es ligeramente más vertical que la media de las bicicletas de categoría (Down Country). Como uno de los objetivos es que la bicicleta sea buena tanto en subidas como en bajadas, a la vez que tiene un equilibrio entre agilidad y estabilidad, se ha elegido este ángulo para lograr ese objetivo; aunque como se verá en el apartado 5.2.1, el ángulo de la dirección podrá variar si el ciclista está interesado en variar el comportamiento de la bicicleta.

5.2 Componentes elegidos y requisitos geométricos del cuadro

La elección de los componentes es un tema muy importante a la hora de diseñar el cuadro de la bicicleta ya que gran parte de ellos están unidos directamente a este o afectan a la geometría. Por ello es crucial decidir cuáles son los estándares de los diferentes componentes antes de comenzar el diseño.

Los componentes y los estándares se han elegido pesando en que la bicicleta sea lo más polivalente posible, que tenga un ciclo de vida con un bajo número de incidencias y que siga los principales estándares del mercado para que no existan problemas de repuestos.

5.2.1 Dirección

Para esta bicicleta se ha escogido una dirección semiintegrada que permite el guiado interno de los cables a través del tubo de la dirección, de modo que se obtiene una estética más limpia de la parte frontal. Para lograrlo se requiere de una horquilla que tenga el tubo de la dirección tipo tapered (menos diámetro en la parte superior) y que el rodamiento superior sea mayor que el convencional de 1,1/8" que se monta en este tipo de horquillas.

Se ha elegido un modelo de dirección semiintegrada de la marca Acros que no solo permite el guiado de cable descrito anteriormente, sino que también permite ajustar el ángulo de dirección en 1° mediante un juego de cazoletas excéntricas. Esto permite variar el ángulo de la horquilla, para que cada usuario pueda elegir, en función de sus preferencias, el comportamiento de la bicicleta.

El juego de dirección en cuestión tiene varias piezas que le dan estas características. Por un lado, para lograr el guiado interno se requieren de tres piezas: la primera es la tapa superior (1), que es un sello cuya función es evitar que entren agentes externos al rodamiento y a la parte interna de la dirección, al cual se han añadido dos espacios adicionales para introducir los cables; la segunda es el rodamiento superior (2), sobre que está sobre dimensionado, no solo para aportar más rigidez a la parte superior de la dirección, sino que también para permitir el paso de los cables entre el hueco que deja libre; y la tercera es la pista interior de la dirección (3), que conecta la pista interior del rodamiento de la parte superior con la parte exterior del tubo de la dirección en ese punto, la cual no solo es más grande que las pistas convencionales (por ser mayor el espacio entre los elementos), sino que también tienen unos canales por los que se pasan los cables sin rozar con el interior de la pipa de dirección o con el exterior del tubo de la dirección, evitando que se desgasten estas partes o las fundas de los cables.

Por el otro lado, el ajuste del ángulo de la horquilla se lleva a cabo mediante las dos cazoletas excéntricas (4). Estas se colocan entre el cuadro y los rodamientos mediante un ligero ajuste. La excentricidad de estas piezas permite dotar a la horquilla de 0.5° más o menos en función de cómo se coloquen estas piezas. De modo que para decidir qué ángulo se prefiere solo hay que rotar 180° estas piezas. Al hacer el cambio es importante asegurar que los tetones que se ven en la primera imagen encajen correctamente en su posición, para no forzar el sistema por hacer un montaje indebido.



Figura 20. Juego de dirección semiintegrada elegido. Despiece superior y despiece inferior. Fuente: Acros.

En caso de que se prefiera una dirección recta de acuerdo a la diseñada, se podrán montar unas cazoletas sin excentricidad que mantengan el ángulo de dirección de la horquilla igual al del tubo de la dirección.

Las dimensiones del conjunto superior e inferior se muestran en la Figura 21. Estas serán las que se deberán tener en cuenta para diseñar el tubo de dirección de la bicicleta.

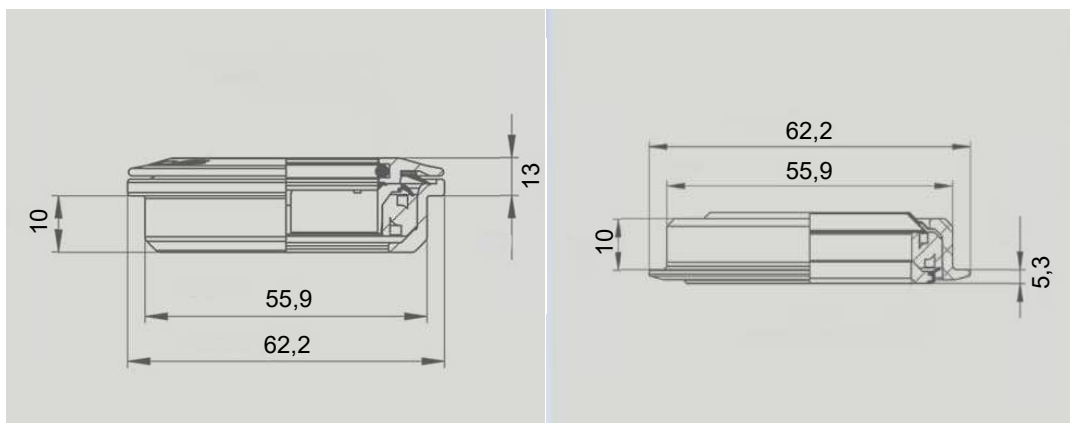


Figura 21. Juego de dirección semiintegrada dimensiones. Cojinete superior y cojinete inferior. Fuente: Acros.

5.2.2 Buje

Para el buje se ha elegido el estándar superbust. Los 9 mm extra de ancho frente a un buje normal (boost), no solo aportan rigidez a la rueda trasera a costa de añadir un pequeño extra de peso, también ofrecen la posibilidad de montar neumáticos más anchos gracias al desplazamiento hacia el exterior de la nueva línea de cadena, que pasa a ser de 56,5 mm frente a los 52 mm del sistema boost tradicional. Esto permite ganar casi 5 mm por cada lado para el neumático trasero.

Los requisitos para el montaje del eje trasero en el cuadro son los siguientes. La medida OLD en nuestro caso es 157 mm, por lo que la anchura mínima del cuadro en la parte trasera es 189 mm.

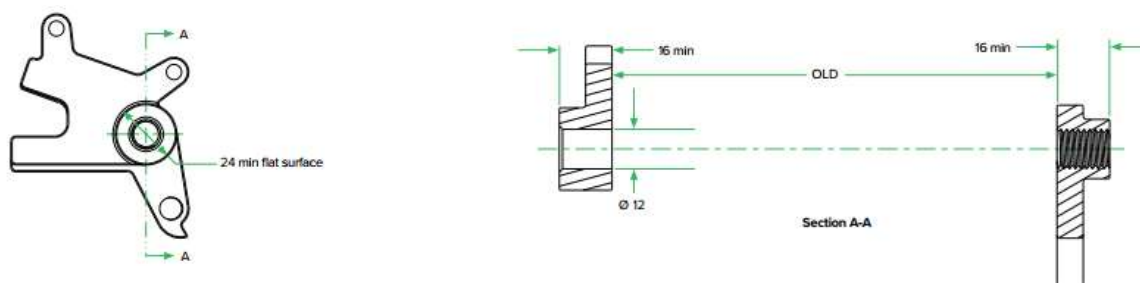


Figura 22. Dimensiones del eje de la rueda trasera en función del OLD. Fuente: SRAM.

5.2.3 Bielas

La elección de las bielas está condicionada por el ancho del eje trasero ya que ambos deben tener el mismo estándar para que coincida la línea de cadena del plato con la del casete. Si se montan componentes de distintos estándares, por ejemplo, un eje trasero superbust con unas bielas boost, el plato estará 4,5 mm hacia el interior del cuadro. Esto provoca que para llegar a los piñones exteriores (los más pequeños) la cadena esté más torcida de lo que debería, provocando más desgaste en la cadena, más tensión en el desviador, y mayor desgaste en los dientes de los piñones y del plato. Esta situación es muy desfavorable ya que los piñones exteriores por su propia construcción sufren mucho más desgaste, por cada vuelta de las bielas el piñón inferior se gasta 5 veces más que el superior, para un rango de casete de 10 a 50 dientes.

A la hora de diseñar el cuadro también hay que tener en cuenta las dimensiones de las bielas ya que, si se diseñan mal, las bielas podrían llegar a rozar o chocar con el cuadro. Para evitar que esto pase se diseñan las vainas teniendo en cuenta las medidas de las bielas que ofrece

SRAM. Además, se deja un espacio libre entre las vainas y las bielas que permita la evacuación del barro.

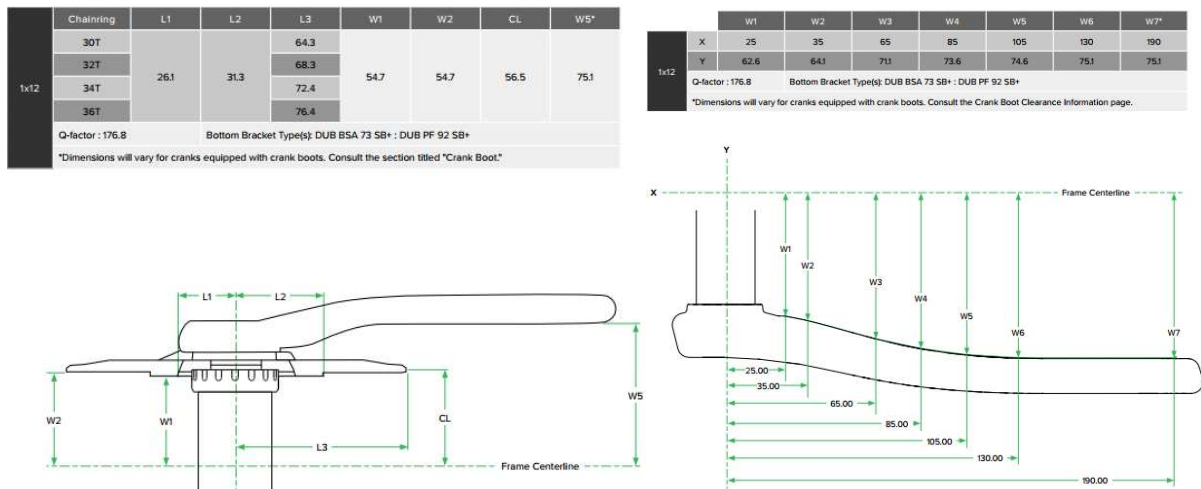


Figura 23. Dimensiones de las bielas y el plato. Fuente: SRAM.

5.2.4 Plato

Aprovechando la tabla de la Figura 23 se dimensiona la parte derecha de la vaina para que se puedan montar platos redondos de hasta 38 dientes o platos ovalados de 36 dientes.

Ambos están por encima de los tamaños que los usuarios montan habitualmente, según los datos de la encuesta. No obstante, se ha querido diseñar así pensando en que la bicicleta sea lo más polivalente posible para el público, ya que habrá muchos usuarios que por su condición física o las singularidades del terreno por el que monta, puedan sacar partido a estos platos. No solo esto, también se abre la puerta a los usuarios que realizan entrenamientos de fuerza velocidad con la bicicleta de mountain bike; en estas series se requiere pedalear a una cadencia baja ejerciendo una gran cantidad de fuerza sobre los pedales, en un terreno llano y puede que con platos de 32 o 34 dientes la mayoría de los usuarios vayan sobrados de desarrollo.

Para ilustrar esto mejor se pueden ver las velocidades que un ciclista alcanzará con un neumático de 29" de diámetro y un ancho de 2,6". Como se ve, para una cadencia típica para estas series, unas 50 rpm, la velocidad que se alcanza para un plato de 32 dientes es de 22,3 km/h y con un plato de 34 dientes se queda en 23,7 km/h, velocidades bastante bajas en las que la mayoría de los ciclistas no podrán entrenar fuerza velocidad. En cambio, para platos de 38 dientes se podría alcanzar una velocidad de 26,5 km/h, un valor que para parte de los ciclistas ya será suficiente para entrenar esta característica.

Plato	Cadencia	Piñones											
		52	42	36	32	28	24	21	18	16	14	12	10
32	50	4,3	5,3	6,2	7,0	8,0	9,3	10,6	12,4	14,0	15,9	18,6	22,3
	60	5,2	6,4	7,4	8,4	9,6	11,2	12,8	14,9	16,7	19,1	22,3	26,8
	70	6,0	7,4	8,7	9,8	11,2	13,0	14,9	17,4	19,5	22,3	26,1	31,3
	80	6,9	8,5	9,9	11,2	12,8	14,9	17,0	19,8	22,3	25,5	29,8	35,7
	90	7,7	9,6	11,2	12,6	14,4	16,7	19,1	22,3	25,1	28,7	33,5	40,2
	100	8,6	10,6	12,4	14,0	15,9	18,6	21,3	24,8	27,9	31,9	37,2	44,7
	110	9,4	11,7	13,6	15,4	17,5	20,5	23,4	27,3	30,7	35,1	40,9	49,1
	120	10,3	12,8	14,9	16,7	19,1	22,3	25,5	29,8	33,5	38,3	44,7	53,6
34	50	4,6	5,6	6,6	7,4	8,5	9,9	11,3	13,2	14,8	16,9	19,8	23,7
	60	5,5	6,8	7,9	8,9	10,2	11,9	13,6	15,8	17,8	20,3	23,7	28,5
	70	6,4	7,9	9,2	10,4	11,9	13,8	15,8	18,5	20,8	23,7	27,7	33,2
	80	7,3	9,0	10,5	11,9	13,6	15,8	18,1	21,1	23,7	27,1	31,6	38,0
	90	8,2	10,2	11,9	13,3	15,3	17,8	20,3	23,7	26,7	30,5	35,6	42,7
	100	9,1	11,3	13,2	14,8	16,9	19,8	22,6	26,4	29,7	33,9	39,5	47,5
	110	10,0	12,4	14,5	16,3	18,6	21,7	24,9	29,0	32,6	37,3	43,5	52,2
	120	11,0	13,6	15,8	17,8	20,3	23,7	27,1	31,6	35,6	40,7	47,5	56,9

Tabla 6. Velocidad alcanzada en función de la cadencia y de la relación de transmisión.

Gracias a esta tabla también puede verse las velocidades que se alcanzan con distintos desarrollos a distintas cadencias y así evaluar si los platos en base a los datos de la encuesta encajan con lo que se presupone que puede necesitar un ciclista durante una salida, entrenamiento o carrera de mountain bike. Antes de analizar las velocidades conviene saber que la cadencia típica se encuentra entre las 70 y las 80 rpm para pedaleos cómodos en llano o falso llano, si suponemos que en esa situación la velocidad se encuentra entre 20 y 25 km/h, se ve que para estos dos platos se tienen entre 2 y 5 piñones extra por si se quiere aumentar más la velocidad. Observando la velocidad mínima a 70 rpm se ve como se llega a unos 6 km/h lo que es suficientemente bajo como para poder subir cuestas con pendientes muy pronunciadas. En caso de necesitarse más desarrollo, bajando la cadencia hasta 50 rpm la velocidad se quedaría cerca de los 4,5 km/h. con esto se concluye que la velocidad mínima es adecuada ya que permite subir pendientes muy pronunciadas a cadencias que no son exageradamente bajas, además de que a velocidades por debajo de este valor sería fácil perder el equilibrio y tener una caída. En el otro extremo tenemos la velocidad máxima que se podría alcanzar pedaleando con la bicicleta y se ve que para una cadencia normal (80 rpm) se pueden alcanzar unos 36 o 38 km/h según el plato elegido, lo cual es más que de sobra para la mayoría de los ciclistas. En situaciones de bajada o en esfuerzos de alta intensidad se podría llegar a rondar los 55 km/h de velocidad máxima, pero esto solo se daría en ocasiones puntuales ya que exige una cadencia muy elevada y rara vez se requiere pedalear a esta velocidad durante la práctica del mountain bike.

5.2.6 Pedalier

El pedalier que se elige es tipo BSA (roscado) ya que no requiere de un utillaje muy específico, tiene una buena duración y suele ser ruidoso. Se ha elegido un ancho de pedalier de 73 mm ya que es el único compatible con el sistema superboost.

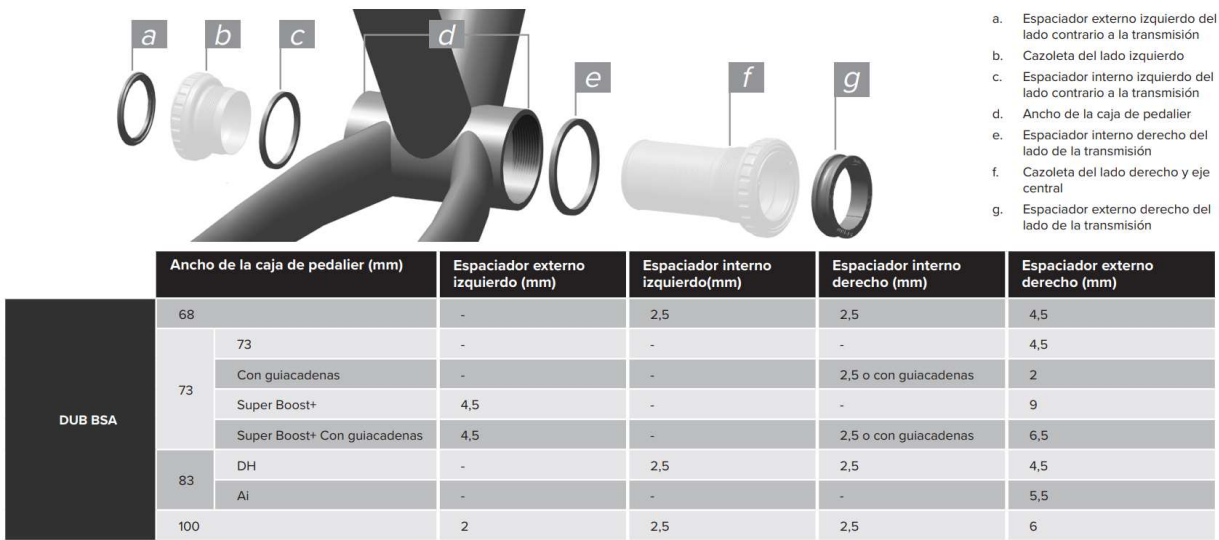


Figura 25. Especificaciones de montaje Pedalieres tipo BSA. Fuente: SRAM.

5.2.7 Sistema de freno trasero

El sistema de freno trasero elegido es el direct mount, que se caracteriza por permitir el montaje de la pinza de freno sobre el propio cuadro. El sistema se ha diseñado pensando en que la bicicleta irá equipada con un disco de 160 mm en el eje trasero, que es el tamaño estándar para este tipo de bicicletas. No obstante, podrán montarse discos de mayor tamaño mediante el uso de espaciadores.

Se ha descartado el estándar flat mount por ser ligeramente más pequeño y porque requieren ir montados sobre la vaina con lo que dejaría de conseguirse la independencia de diseño entre la respuesta del amortiguador al freno y al pedaleo, ya que la rueda y la pinza de freno estarían montadas sobre la misma pieza.

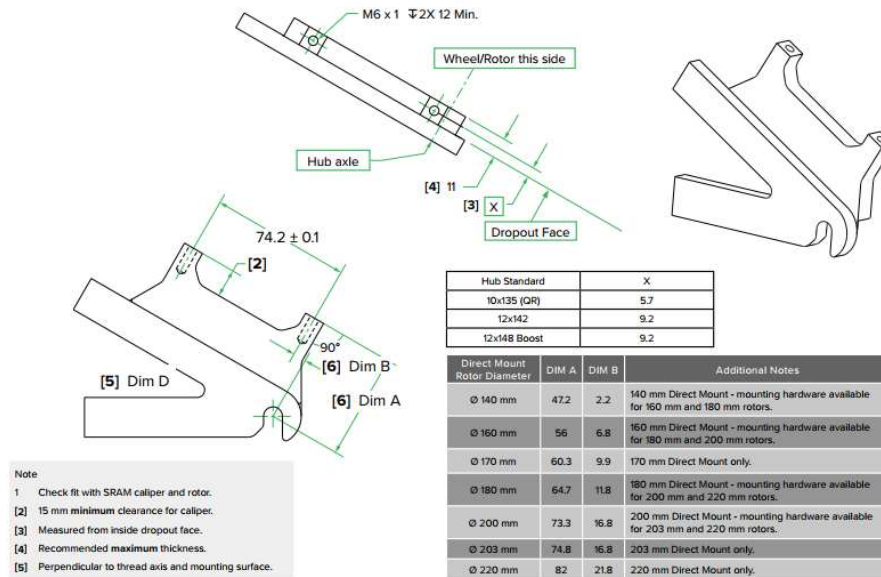


Figura 26. Requisitos de montaje de una pinza de freno direct mount. Fuente: SRAM.

5.2.8 Longitud de vaina

La longitud de la vaina ha sido elegida de acuerdo con la longitud mínima que permite SRAM en su manual de especificaciones para cuadros. Se ha buscado la longitud mínima de la vaina para así dotar a la bicicleta de una parte trasera reactiva y ágil.

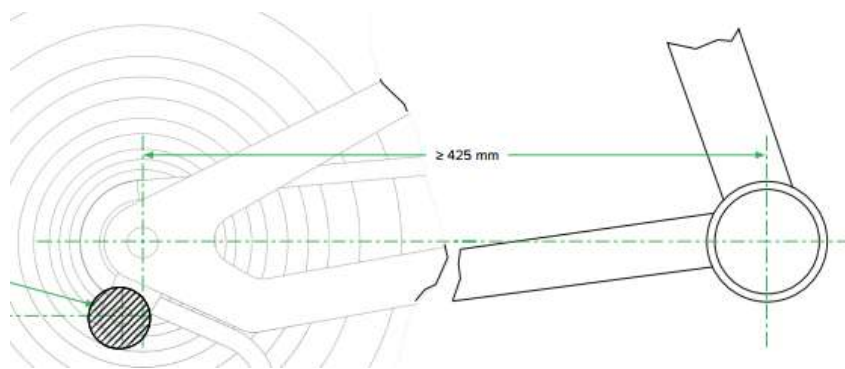


Figura 27. Dimensión mínima de la longitud de vaina. Fuente: SRAM.

5.2.9 Amortiguador

Para el diseño de la bicicleta se ha elegido un amortiguador de 190 mm de distancia entre ojos y con un recorrido de 45 mm. Se ha elegido este amortiguador por tener un tamaño comedido y un recorrido bastante largo. Al montar un amortiguador relativamente pequeño se consigue aumentar el espacio en el interior del cuadro. El amortiguador elegido tiene bloqueo remoto en el manillar que permite bloquear la suspensión, abrirla completamente o

dejarla en un punto intermedio. Otra característica de este amortiguador es que permite ajustar el volumen de la cámara positiva mediante unos elementos de plástico denominados tokens. Cuantos más tokens se coloquen menor será el volumen de la cámara positiva y por tanto más progresivo será el comportamiento del amortiguador.

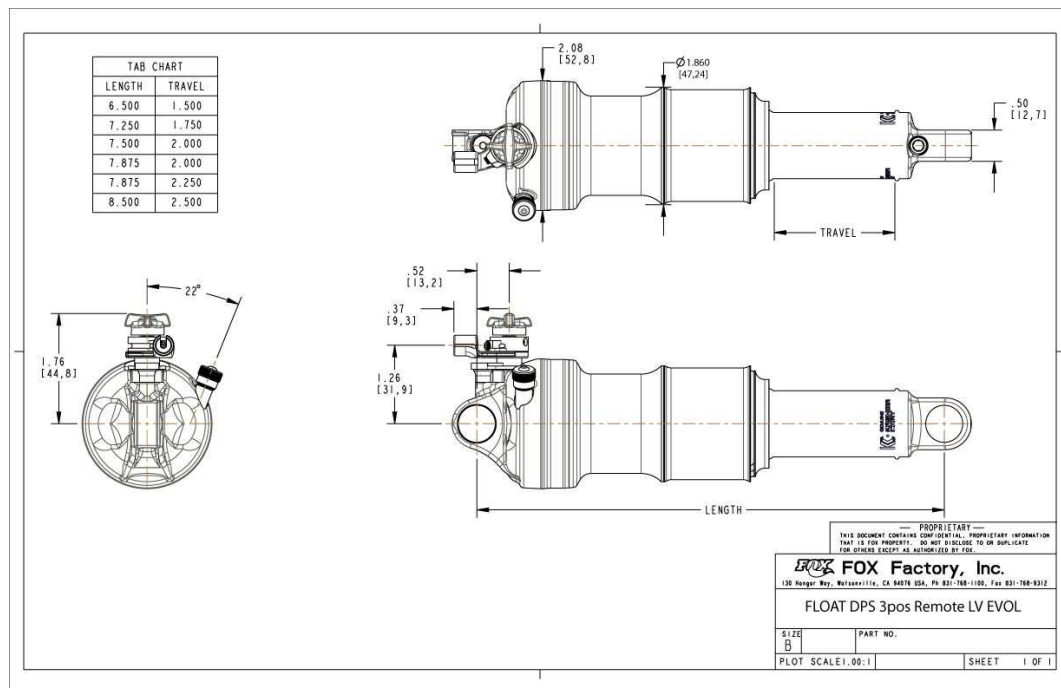


Figura 28. Plano amortiguador Fox Float DPS. Fuente: Fox.

5.2.10 Horquilla

La horquilla elegida es una Fox 34 SC performance. Se ha elegido por tener una buena rigidez y un peso reducido sin tener un precio excesivamente alto. La horquilla elegida tiene un recorrido de 120 mm, con lo que la longitud total de la horquilla es 530,2 mm y tendrá un offset de 44 mm, ya que la dirección no tiene un ángulo muy horizontal. Si el ángulo fuese más relajado (horizontal) podría estudiarse el aumento del offset.

La horquilla sigue el estándar boost por lo que la rueda delantera deberá tener un buje de 110 mm. Por último, el tamaño máximo de neumático que admite esta rueda es de 29x2,6". Al igual que ocurre con el amortiguador, esta horquilla también permite añadir o quitar tokens para regular la progresividad de la horquilla.

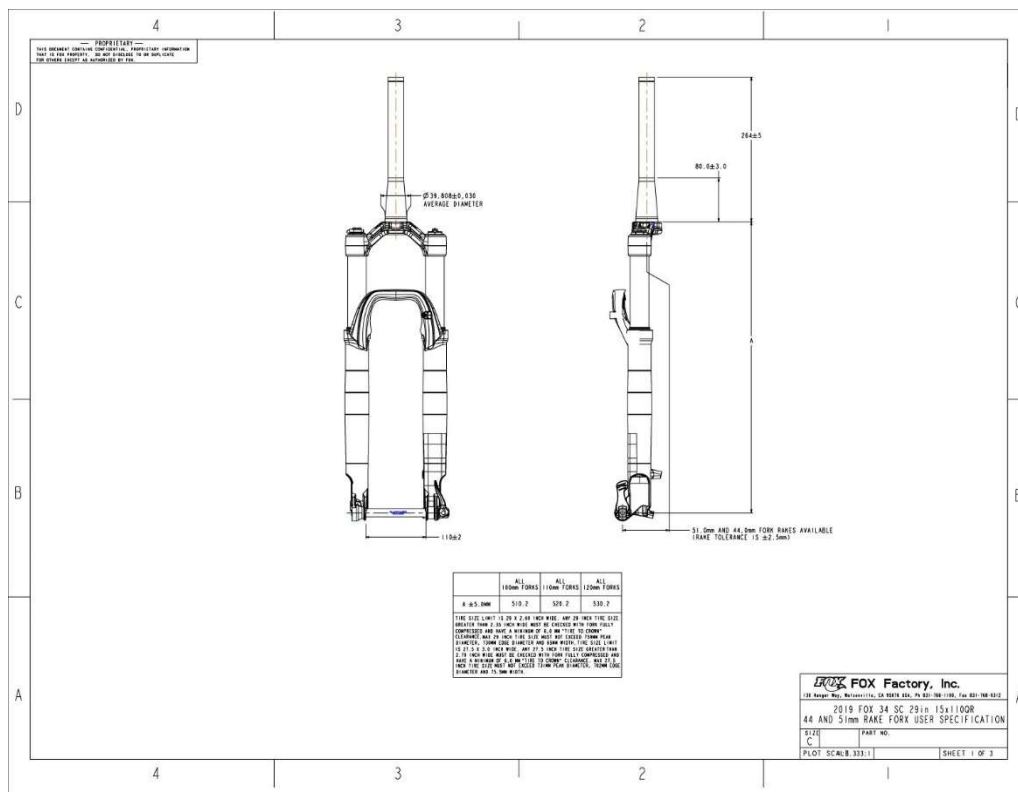


Figura 29. Horquilla Fox 34 SC. Fuente: Fox.

5.2.11 Tija

Para la tija se ha elegido el segundo estándar de menor diámetro que es 30,9 mm. Se ha elegido este tamaño por la búsqueda de un menor peso y para lograr un espacio ligeramente mayor para la rueda trasera cuando la suspensión este totalmente comprimida. El tamaño de 27,2 mm se ha descartado por no contar apenas con tijas telescópicas y porque las pocas que hay tienen recorridos más cortos, además, suelen tener más holgura, ya que son menos rígidas.

5.2.12 Rodamientos

Los rodamientos del cuadro corresponden con los puntos de articulación del basculante los cuales tienen la particularidad de que no realizan giros completos.

Se recurre a unos rodamientos de ISB, concretamente los de la serie VMax, diseñados especialmente para basculantes de bicicletas de montaña. Tiene un diseño particular que soporta mejor los giros reducidos típicos de los basculantes. Para ello se ha suprimido la jaula interior que separa las bolas con el fin de introducir un número mayor de bolas. Además, las pistas son más profundas para aumentar el apoyo lateral y mejorar la rigidez a la torsión, un

aspecto fundamental en las bicicletas de montaña. Por último, se maximiza la cantidad de grasa en el interior de los rodamientos para evitar ruidos y reducir el desgaste, con lo que se aumenta la vida útil de los mismos.

Como resultado se consigue un aumento de la capacidad de carga hasta un 35 o 40% más que las series regulares, sin suponer un incremento significativo del peso ni del tamaño (ISB, s.f.).

Punto	Rodamiento	D	d	B	Da
Pivote principal	6805 2RS	37	25	7	35
Tirante-vaina	6804 2RS	32	20	7	30,5
Tirante-Bieleta	6800 2RS	19	10	5	17
Bieleta-Amortiguador	6800 2RS	19	10	5	17
Bieleta-Cuadro	6802 2RS	24	15	7	22

Tabla 7. Rodamientos seleccionados.

5.2.13 Interferencia con las ruedas

En la mayoría de los casos las bicicletas montan la misma medida de neumático delantero y trasero. Sin embargo, los dos neumáticos no tienen por qué tener los mismos requisitos, especialmente en el mountain bike. El neumático delantero se encarga de guiar la bicicleta y detenerla y el trasero es el encargado de dar tracción a la bicicleta. Por esta razón los neumáticos delanteros suelen tener un taqueado más profundo en toda la superficie, ya que los tacos altos en esta rueda lastran mucho menos que en la rueda trasera y además, incrementan la retención en las frenadas. Por su parte los neumáticos traseros tienen mayor importancia en el consumo de energía ya que es el encargado de dar tracción y carga con más peso, es por ello por lo que en la rueda trasera se montan neumáticos más estrechos y/o con un taqueado central más bajo.

Al fin y al cabo, la decisión del tipo de neumático es personal de cada usuario y se verá influenciada por sus gustos y el terreno por el que se tenga pensado rodar. Para lograr un diseño lo más polivalente posible se buscará que la bicicleta tenga la capacidad de montar la misma medida de neumático en la rueda delantera y la trasera. Según la Figura 29 el máximo tamaño de neumático es de 29" de diámetro y 2,6" de ancho por lo que se establece este mismo límite para la rueda trasera.

5.3 Requisitos para XCM

Una buena bicicleta de XCM no solo debe contar con una geometría acorde a las exigencias de las pruebas para las que está potencialmente destinada. También hay otros parámetros importantes para tener en cuenta.

Para empezar el diseño del triángulo está condicionado por el uso de dos bidones. Como se explicó anteriormente esto no solo es una tendencia de mercado si no que es una necesidad para muchos usuarios y así lo reflejan los datos de la encuesta (ver apartado 3.3.3). Cubrir las necesidades de hidratación durante un entrenamiento, marcha o carrera es una prioridad absoluta para cualquier ciclista. Una pérdida de hidratación de un 2% de peso corporal afecta al rendimiento y las pérdidas superiores al 5% del peso corporal pueden llegar a disminuir la capacidad de trabajo un 30% (Armstrong LE, Costill DL & Fink WJ, 1985) (Craig EN y Cummings EG, 1996) (Maughan RJ, 1991) (Sawka, 1990), además del riesgo que conlleva en disciplinas del mountain bike la pérdida de concentración.

El espacio para dos bidones no implica que haya que llevarlos. Cada usuario podrá elegir la cantidad de líquido que desea cargar en la bicicleta en función de distintos elementos, como la duración de la ruta, la presencia de fuentes de agua potable, la temperatura... de modo que si no requiere de los dos bidones, puede montar en uno de ellos un recipiente en el que poder guardar distintos elementos, desde herramientas a chubasqueros, manguitos...y así liberar ese espacio de los bolsillos del mallot, con lo que se mejora la transpirabilidad y se disminuye la sudoración y por tanto la pérdida de agua.

Con el fin de lograr el mismo objetivo se plantea el uso de un espacio de almacenaje sobre el tubo superior, en el que se puedan guardar distintos elementos que se usen con frecuencia durante las rutas. Principalmente esto serán los productos destinados a la alimentación del ciclista, que es otra de las prioridades durante las rutas.

Habitualmente se recomienda ingerir alimentos cada 30 ó 60 minutos, por lo que en rutas largas sin avituallamientos se requiere de un hueco considerable para guardar las barritas, geles, pastillas de sal, sobres de isotónico...

Este sistema se inspira en las bicicletas de triatlón, que integran estos elementos en el cuadro para mejorar la aerodinámica de la bicicleta y al mismo tiempo permitir que el ciclista mantenga una postura aerodinámica.



Figura 30. Almacenaje en el tubo superior Canyon Speedmax. Fuente: Canyon.

Además de esto, el diseño del triángulo principal busca tener una capacidad suficiente en su interior como para portar espacio de almacenaje en el que poder guardar las herramientas, a la par que se llevan los dos bidones de hidratación. Es decir, un sistema similar al SWAT Box diseñado por Specialized.



Figura 31. Almacenamiento tubo diagonal. Sistema SWAT Specialized Epic. Fuente: Specialized.

5.4 Comportamiento de la suspensión

5.4.1 Elección del sistema de suspensión

Para la elección del sistema de suspensión más adecuado se ha utilizado el método de la matriz de Harry's. Con este método se evalúan los distintos sistemas de suspensión del apartado 2.5 en base a los siguientes criterios:

- Sensibilidad: Es la capacidad que tiene el sistema de suspensión de absorber las irregularidades del terreno. Un sistema con mucha sensibilidad tendrá una puntuación de 2, mientras que un sistema con -2 será muy poco sensible.
- Configuración: Un sistema que permita configurar los distintos parámetros principales y de forma independiente tendrá una puntuación de 2 y otro que sea poco configurable tendrá una puntuación de -2.
- Complejidad: hace referencia a la dificultad que tiene el diseño de un sistema para ofrecer un buen funcionamiento. Los sistemas que sean más sencillos de diseñar tendrán un valor de 2. Mientras que los que sean difíciles de diseñar tendrán -2.
- Peso: Los sistemas que por sus características de construcción sean más ligeros tendrán una puntuación de 2 mientras que los más pesados de -2.
- Mantenimiento: está directamente relacionado con la cantidad de los puntos de rotación. Los sistemas con más puntos de rotación requerirán un mayor mantenimiento y por tanto se les asignará un valor de -2 y a los que requieran un menor mantenimiento de 2.
- Pedaleo: el valor de 2 corresponde a los sistemas en los que se puede conseguir una buena independencia entre las fuerzas de pedaleo y el amortiguador.
- Frenado: el valor de 2 es para aquellos sistemas en los que se puede lograr que las fuerzas de frenado tengan poca interferencia con el funcionamiento del amortiguador.

Para evaluar la puntuación de cada sistema en cada uno de los diferentes apartados se recurre a lo descrito anteriormente en el apartado 2.5. Se descarta el amortiguador flotante, ya que este sistema requiere tener el amortiguador en posición vertical.

Sistema	Monopivote				Monopivote articulado				Horst link				Pivote Concéntrico				Punto de pivote virtual			
Criterios	-2	-1	1	2	-2	-1	1	2	-2	-1	1	2	-2	-1	1	2	-2	-1	1	2
Sensibilidad		x			x						x				x					x
Configuración	x					x					x				x					x
Complejidad			x				x				x				x		x			
Peso				x			x			x				x			x			
Mantenimiento				x			x			x				x			x			
Pedaleo	x				x					x					x					x
Frenado	x				x					x					x					x
Puntuación	-2				-3				-1				3				2			

Tabla 8. Matriz de decisión sistema de suspensión.

En base a estos resultados se elige el sistema de pivote concéntrico para la bicicleta. Sin ser el mejor en ninguno de los apartados, tiene un gran equilibrio en todos ellos y con un buen

diseño del mecanismo se puede conseguir un funcionamiento sobresaliente para una bicicleta de XCM.

5.4.2 Características del amortiguador

Como se vio en el apartado 5.2.9, el amortiguador escogido es un Fox Float DPS 3pos Remote LV EVOL. Se ha escogido este amortiguador por encajar con el tamaño requerido y por ser el único del que se ha encontrado una vista del interior.

Los principales fabricantes de amortiguadores no muestran las curvas del funcionamiento de sus amortiguadores, lo cual es un inconveniente muy grande a la hora de diseñar el sistema de suspensión, ya que el comportamiento de este viene determinado principalmente por el del amortiguador.

Para solucionar este problema se ha recurrido a ingeniería inversa básica. Se ha utilizado un fotograma de un video de presentación del amortiguador en el que se muestra su sección. Posteriormente se han ajustado las dimensiones del amortiguador con las que aparecen en el plano que proporciona el fabricante y se han ajustado a la longitud y recorrido seleccionados, 190 mm y 45 mm de recorrido.

El amortiguador de la imagen es de 210 mm de longitud entre ojos y 50 mm de carrera por lo que para ajustar el modelo al seleccionado se han quitado 15 mm de la cámara de aire positiva y 10 del vástago. Por ello el volumen de la cámara positiva en el punto de máxima extensión del amortiguador se corrige restando el volumen que genera un prisma de 15 mm de altura y un área igual a la del pistón en esa cámara.

Las dimensiones de las áreas se consideran correctas porque las dimensiones del modelo se han ajustado al ancho especificado por el fabricante en el plano.

Además, este amortiguador cuenta una extensión de la cámara negativa en el perímetro del cuerpo, por lo que al pequeño volumen que hay en la parte inferior del embolo hay que sumarle el de esta cámara.

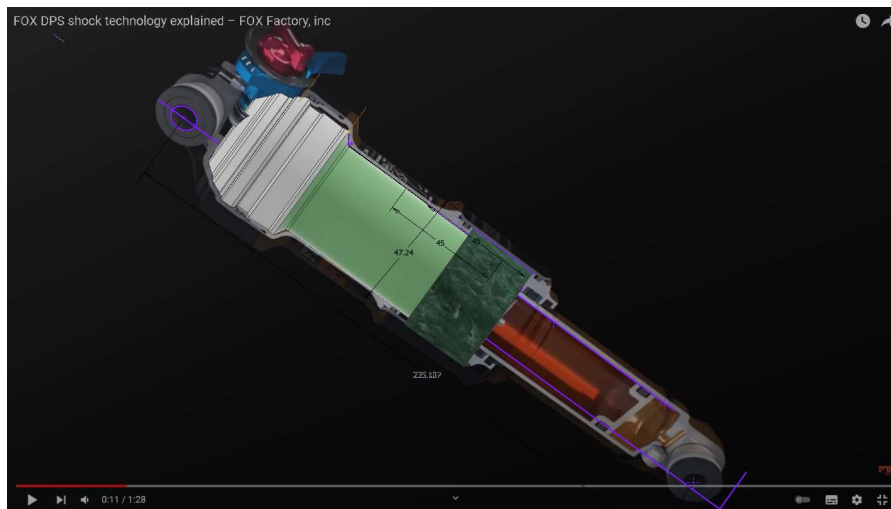


Figura 32. Modelado de los volúmenes de las cámaras del amortiguador. Fuente: propia.

Por tanto, el volumen en la posición de extensión se calcula a través de la imagen y el volumen en compresión se calcula a través de los 45 mm de desplazamiento del embolo una vez se conocen las áreas de este para la cámara positiva y la cámara negativa. Como resultado se obtienen las siguientes especificaciones para el amortiguador:

Longitud del amortiguador	190 mm
Recorrido amortiguador	45 mm
Volumen inicial cámara positiva	84384 mm³
Volumen inicial cámara negativa	5665 mm³
Área avance	1076 mm²
Área retroceso	543 mm²

Tabla 9. Propiedades del amortiguador.

Una vez tenemos estos datos se pueden obtener las curvas de funcionamiento del amortiguador para cualquier ciclista de forma sencilla. Para ello se hacen las siguientes suposiciones:

- En la posición de máxima extensión el amortiguador estará en reposo. Por tanto, la fuerza que ejerce la presión del aire de la cámara positiva sobre el embolo será igual a la fuerza que ejerce la presión del aire de la cámara negativa sobre el embolo. Gracias a esta suposición se determina la relación entre la presión inicial de ambas cámaras, ya que conocemos el área del embolo en cada una de ellas.
- La bicicleta se diseña para que el punto de sag esté en el 25% del recorrido (celda amarilla). Esto implica que en este punto el amortiguador tendrá que soportar el peso del ciclista que recae sobre la rueda trasera calculado en el apartado 6.3.1. Con esta

condición se determina la presión de la cámara inicial de la cámara positiva. Pero con los datos del amortiguador solo se conoce la fuerza que ejerce en su extremo, para conocer la fuerza que llega a la rueda trasera hay que multiplicarla por el leverage ratio de la bicicleta diseñada que aparece en el apartado 5.4.3.

- La variación de presión en cada una de las cámaras se determina a través de la variación de los volúmenes, siguiendo la ley de Boyle-Mariotte.

Con todo esto se obtienen los siguientes valores de funcionamiento del amortiguador.

	Reco rrido	Volumen cámara positiva (mm ³)	Volumen cámara negativa (mm ³)	Presión cámara positiva (MPa)	Presión cámara negativa (MPa)	Fuerza avance (N)	Fuerza retroce so (N)	Fuerza (N)	Leve rage ratio	Fuerza en la rueda (N)
0	0,0	84384	5665	1,67	3,31	1797	1797	0	2,99	0
1	1,9	82367	6683	1,71	2,81	1841	1599	242	2,95	82
2	3,8	80349	7702	1,75	2,43	1887	1388	500	2,91	172
3	5,6	78331	8720	1,80	2,15	1936	1226	711	2,87	248
4	7,5	76313	9738	1,85	1,93	1987	1097	890	2,84	313
5	9,4	74295	10756	1,90	1,74	2041	994	1048	2,8	374
6	11,3	72277	11775	1,95	1,59	2098	908	1191	2,77	430
7	13,1	70260	12793	2,01	1,47	2159	835	1323	2,74	483
8	15,0	68242	13811	2,07	1,36	2222	774	1449	2,72	533
9	16,9	66224	14829	2,13	1,26	2290	721	1569	2,69	583
10	18,8	64206	15848	2,19	1,18	2362	674	1688	2,66	634
11	20,6	62188	16866	2,27	1,11	2439	634	1805	2,64	684
12	22,5	60170	17884	2,34	1,05	2520	598	1923	2,62	734
13	24,4	58153	18902	2,42	0,99	2608	565	2043	2,6	786
14	26,3	56135	19921	2,51	0,94	2702	536	2165	2,59	836
15	28,1	54117	20939	2,60	0,90	2802	510	2292	2,57	892
16	30,0	52099	21957	2,70	0,85	2911	487	2424	2,56	947
17	31,9	50081	22975	2,81	0,82	3028	465	2563	2,55	1005
18	33,8	48063	23993	2,93	0,78	3155	445	2710	2,54	1067
19	35,6	46046	25012	3,06	0,75	3294	427	2866	2,54	1128
20	37,5	44028	26030	3,20	0,72	3445	411	3034	2,54	1195
21	39,4	42010	27048	3,35	0,69	3610	395	3215	2,54	1266
22	41,3	39992	28066	3,52	0,67	3792	381	3411	2,55	1338
23	43,1	37974	29085	3,71	0,64	3994	367	3626	2,57	1411
24	45,0	35956	30103	3,92	0,62	4218	355	3863	2,59	1491

Tabla 10. Datos del amortiguador en distintos puntos (ciclista 175 cm).

La gráfica de funcionamiento es la siguiente:

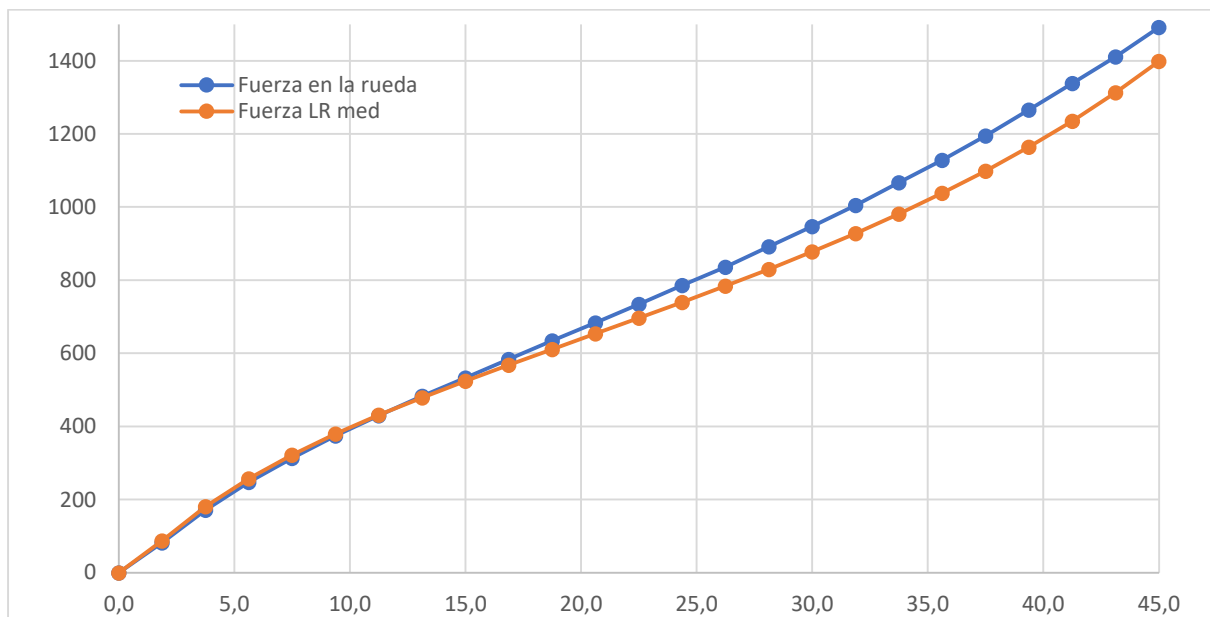


Figura 33. Comparación del funcionamiento del sistema diseñado con otro con un leverage ratio lineal.

En la figura superior se muestra que representa la fuerza en la rueda trasera en función del recorrido del amortiguador para el sistema diseñado (azul) y para otro con un leverage ratio lineal con el mismo valor medio (naranja). Como se observa, el sistema diseñado consigue una mayor sensibilidad en los primeros tramos del recorrido, pues necesita menos fuerza para alcanzar la misma compresión. También tiene una zona intermedia muy lineal, lo que permite aprovechar el recorrido de forma uniforme, además de ser más firme que en la alternativa naranja, lo que hace que se mantenga más estable en los apoyos como pueden ser peraltes y que resista mejor el hundimiento provocado por el pedaleo. Por último, el tramo final del recorrido es ligeramente progresivo para dificultar que se alcance el tope de suspensión. Todo esto coincide con los requisitos que se proponen en el apartado 5.4.3.

Al tratarse de un amortiguador de aire se puede lograr la misma configuración para cualquier ciclista ajustando la presión interna del amortiguador a la que proporcione un 25% de sag para cada uno ellos. Por tanto, los datos del amortiguador para cada uno de los tres ciclistas estudiados será:

Altura (cm)	Masa trasera (kg)	Presión (MPa)	Fmax rueda (N)	Ratio Fmax/Peso trasero
170	34,38	1,32	1161	3,44
175	44,20	1,67	1491	3,44
180	53,96	2,04	1822	3,44

Tabla 11. Presión del amortiguador para los ciclistas estudiados.

La última columna muestra cuantas veces puede soportar el sistema a máxima compresión el peso sobre la rueda trasera en reposo, a partir del máximo de la fuerza del amortiguador. Este dato puede utilizarse para calcular si el sistema resiste los esfuerzos cuando el amortiguador está comprimido al máximo. El cálculo se ha hecho sin tener en cuenta el amortiguamiento, por lo que de tener en cuenta este el valor sería superior.

Para los cálculos del apartado 6.4 se emplea la rigidez del amortiguador en la zona próxima al punto de sag obteniendo los valores de la Tabla 24.

5.4.3 Leverage ratio

Como se comentó anteriormente, el leverage ratio es un factor de corrección que actúa sobre el amortiguador. Con él, se pueden hacer ligeras variaciones sobre el comportamiento del amortiguador de modo que se consiga un comportamiento diferente que se ajuste a los criterios que prefiere cada fabricante.



Figura 34. Leverage ratio de la bicicleta diseñada. Fuente: Propia.

Al tratarse de una bicicleta destinada a pruebas de XC maratón se han buscado tres objetivos:

- Mejorar la sensibilidad inicial del basculante. Para lograrlo se ha buscado una primera parte progresiva que disminuya la cantidad de fuerza necesaria para comprimir el amortiguador, de modo que se consiga una mejor absorción de las primeras irregularidades del terreno y así disminuir la fatiga que estas provocan sobre el cuerpo del ciclista.

- En segundo lugar, se ha buscado que la parte de recorrido posterior al punto de sag sea lo más lineal posible. Como en este punto del amortiguador la progresividad va aumentando, se ha intentado corregir con un leverage ratio cada vez menos progresivo. La ventaja de esta parte intermedia tan lineal es que se tiene un comportamiento más estable, con una buena absorción a la vez que una buena firmeza, lo cual aporta un extra de confianza en los apoyos. El comportamiento de este tramo es similar al de los sistemas que usan muelles.
- Por último, se ha buscado una parte final ligeramente progresiva pero que mantenga parte de la linealidad buscada en la zona intermedia. Como el comportamiento de los amortiguadores de aire es muy progresivo, se ha diseñado un sistema con un leverage ratio regresivo en la zona final para compensar parte de este extra de progresividad. La razón detrás de esto es que a partir de los datos de la encuesta no se prevé que el usuario promedio de esta bicicleta pueda agotar la totalidad del recorrido de la bicicleta con facilidad. Y si se da el caso siempre se pueden utilizar los sistemas de tokens internos que tienen la mayoría de los amortiguadores (incluido el amortiguador que se ha utilizado como referencia) para variar el volumen de la cámara positiva, o si se prefiere se puede aumentar la presión del amortiguador, con lo que se conseguirá un comportamiento más firme en todo el recorrido y el punto de sag se adelantará.

5.4.4 Fuerzas

A partir del leverage ratio y de la curva de funcionamiento del amortiguador se determina la fuerza necesaria para comprimir la rueda. A partir de esto se puede analizar si los objetivos que buscamos conseguir a partir del leverage ratio se han conseguido:

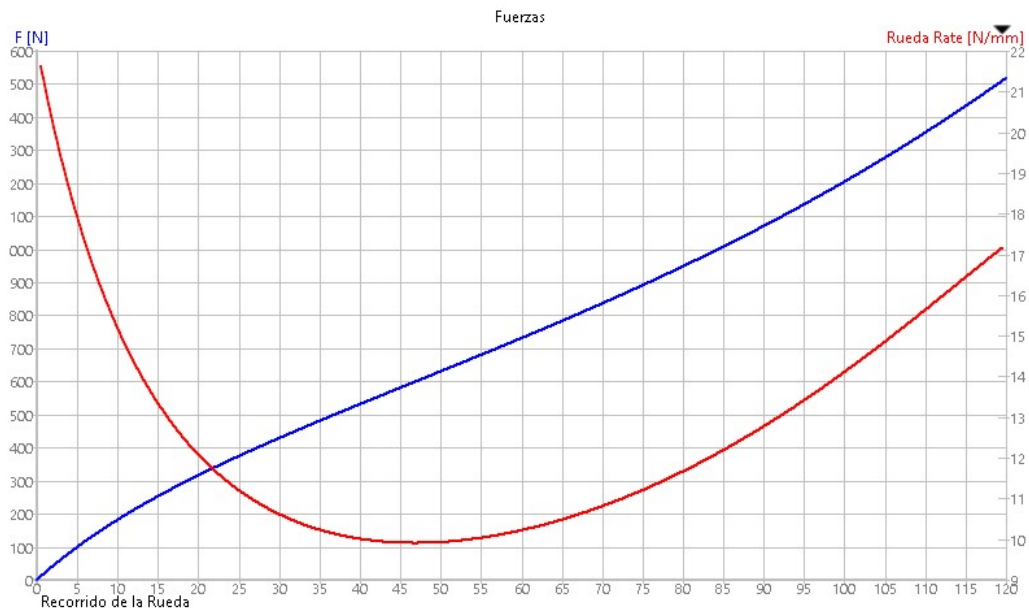


Figura 35. Fuerza en la rueda trasera y gradiente de fuerza del sistema diseñado. Fuente: Propia.

Como se observa en la curva azul, tenemos un comportamiento bastante lineal desde los 35 mm de recorrido (cercano al punto de SAG) hasta los 80 mm de recorrido por lo que se logró el recorrido medio lineal que se buscaba con el leverage ratio. Así mismo, se puede observar a través del gradiente de la fuerza en la rueda (curva roja) como los primeros 20 mm son muy sensibles, cumpliendo con otra de las condiciones que se buscaban.

Por último, se ve como la parte final del gradiente de fuerza aumenta ligeramente, lo cual aumenta la progresividad, para dificultar que se alcance fácilmente el tope de la suspensión, pero no tanto como para que no se le pueda sacar partido a este último tramo.

Por último, se estudian las fuerzas para los 3 ciclistas propuestos: el del límite superior de altura, el del límite inferior y el de altura media. Se ajusta la presión interna del amortiguador de modo que cada ciclista tenga un 25% de SAG, obteniendo lo siguiente:

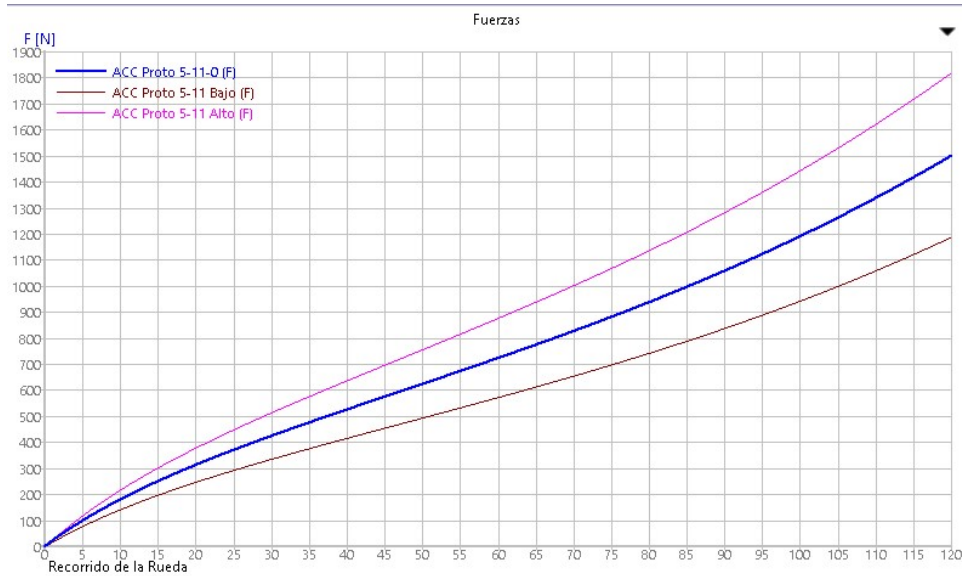


Figura 36. Fuerza en la rueda trasera para los diferentes ciclistas. Fuente: Propia.

En la gráfica se ve cómo las curvas mantienen la misma forma base que coincide con los criterios de diseño anteriormente definidos, por lo que se puede concluir que en cuanto a las fuerzas el diseño es adecuado.

5.4.5 Anti-Squat

Es uno de los parámetros más importantes a la hora de diseñar una bicicleta para XC maratón ya que un buen diseño garantizará un pedaleo eficaz, siendo esto crucial en pruebas de gran recorrido ya que permite un buen aprovechamiento de la fuerza, con lo que se reduce el gasto de energía, y permite ir más rápido a igualdad de esfuerzo, reduciendo el tiempo necesario para recorrer una misma distancia y las necesidades de alimentación e hidratación.

Del mismo modo, sentir que la bicicleta hace un buen aprovechamiento de la fuerza que se ejerce al pedalear no supone un lastre a nivel psicológico que acabe haciendo que el ciclista pierda motivación.

En el apartado 6.4 se estima que el ratio de anti-squat idóneo para nuestra bicicleta está entre el 90 y el 130% por lo que se buscará que los valores de anti-squat de la bicicleta estén dentro de este rango.

Como se ha comentado el anti-squat depende de la altura del centro de gravedad del conjunto bicicleta ciclista y de la línea de cadena, la cual viene determinada por el tamaño del plato, el del piñón engranado y la longitud de vainas. Por eso, no solo se deben tener en cuenta las alturas de los distintos ciclistas que pueden montar en esta bicicleta, sino que además hay

que tener en cuenta las distintas relaciones de transmisión que potencialmente se usarán. Actualmente en el mercado se han impuesto las transmisiones monoplato de 12 velocidades, las cuales montan casetes con 10 dientes en el piñón más pequeño y entre 50 y 52 dientes en el piñón más grande.

Además, a partir de los datos de la encuesta vemos como la mayoría de los usuarios utilizan platos de 32 o 34 dientes con lo cual la línea de cadena está bastante acotada, lo que facilita un diseño eficaz.

El otro parámetro del que depende el anti-squat es el centro instantáneo de rotación del elemento que porta la rueda, que en este caso al haber elegido un sistema de pivote concéntrico coincide con el punto de pivote principal. La ventaja de este sistema es que al ser un punto fijo facilita el diseño.

Como norma general los fabricantes suelen colocar este punto en la vertical del eje del pedalier a una altura que coincida con los dientes del plato. Esta solución suele aportar unos valores cercanos al 100% de anti-squat, pero no es lo más efectivo porque conforme se consume el recorrido el anti-squat disminuye drásticamente. Para mejorar este funcionamiento se ha optado por aumentar la altura de este pivote, con lo que se consigue un aumento del valor del anti-squat en todas las relaciones de transmisión en todos los puntos de recorrido. Además de esto también se ha adelantado este punto respecto a la vertical del eje del pedalier, dentro de los márgenes que permite el triángulo principal, para buscar que el anti-squat disminuya lo mínimo posible a medida que se consume el recorrido. Con este diseño se busca conseguir un sistema lo más estable posible dentro de las limitaciones geométricas que tiene el cuadro.

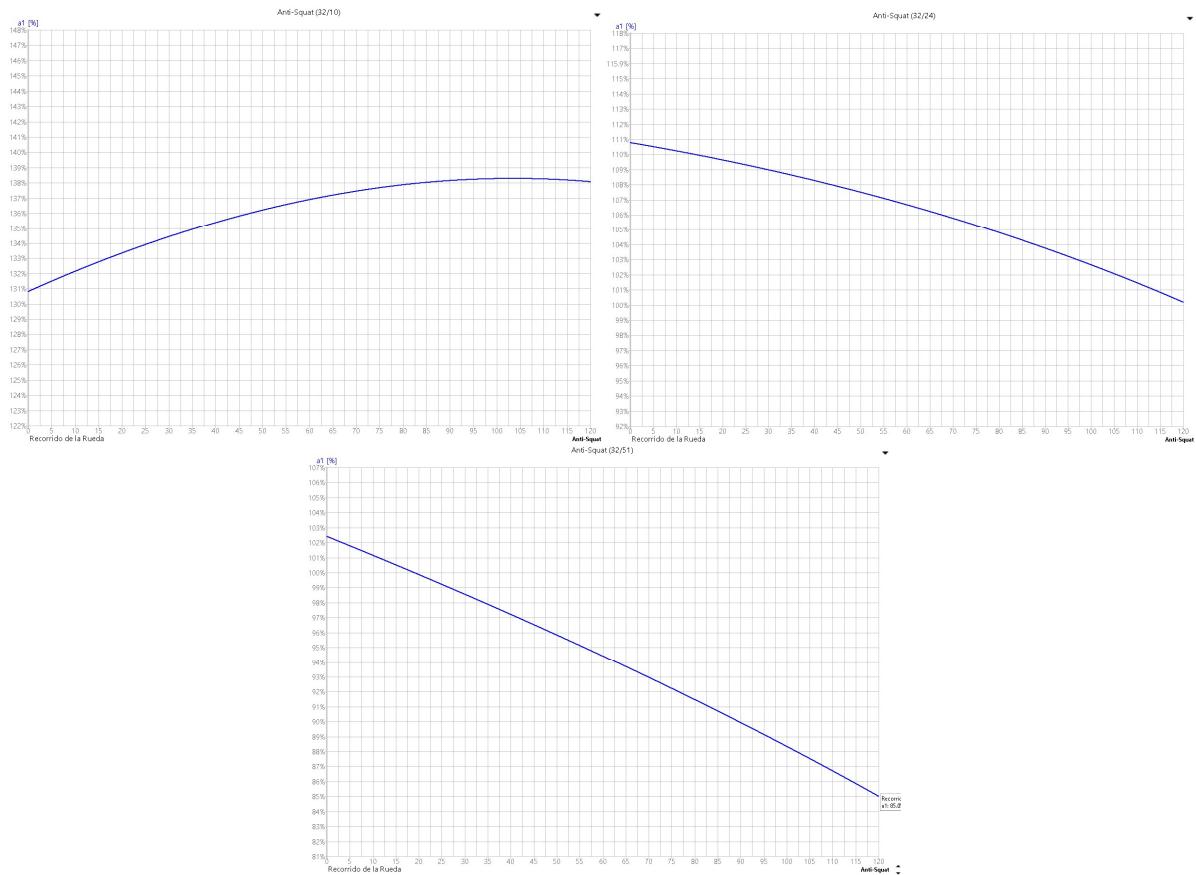


Figura 37. Valores de anti-squat para un ciclista de altura media con relacion de transmision 32/10, 32/24 y 32/51. Fuente: Propia.

En las imágenes superiores se muestran las curvas de anti-squat para tres relaciones de transmisión. En la primera se muestra para una relación de transmisión 32/10, que corresponde a la que mayor anti-squat tiene. Como se ve, con esta relación de transmisión, el anti-squat aumenta a medida que se comprime el amortiguador, lo cual hace que el sistema sea estable. Por otro lado, cuando la relación de transmisión es 32/24 (relación media) y cuando es de 32/51 (relación más baja), se ve como a medida que aumenta el recorrido de la rueda el anti-squat disminuye, lo cual hace que el sistema sea inestable, pero como se comentó con anterioridad al aumentar la distancia del pivote a la vertical del eje del pedalier se disminuye este efecto con respecto a los diseños convencionales.

Entre la curva correspondiente a la relación 32/10 y a la 32/51 existen otras 10 más correspondientes a las relaciones intermedias, por ello a veces es preferible analizar el comportamiento de este parámetro a través de graficas como las siguientes que ofrecen una visión más global.

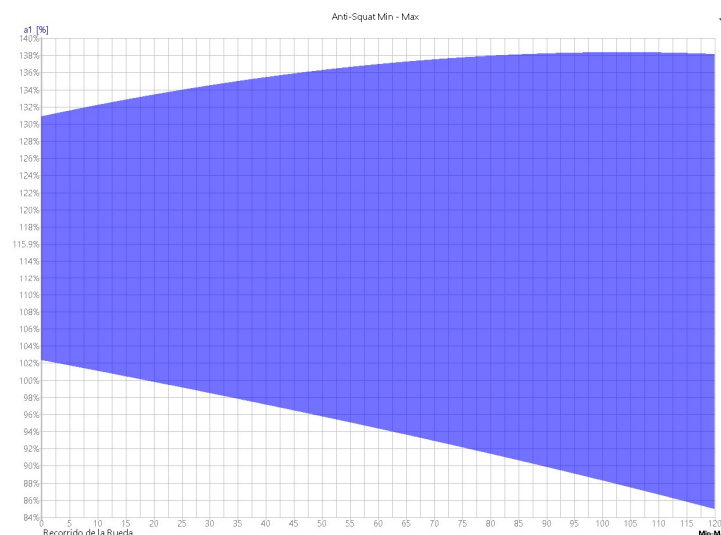


Figura 38. Rango de los valores de anti-squat para un plato de 32 dientes y un ciclista de 175 cm. Fuente: Propia

En la Figura 38 se muestra el rango en el que se encuentran las diferentes relaciones de transmisión para un ciclista de 1,75 m que monta un plato de 32. La ventaja de esta gráfica es que se puede ver de una forma sencilla los valores entre los que se encuentra el anti-squat para un recorrido determinado. Por ejemplo, en la gráfica superior se puede ver como en el punto de sag los valores de anti-squat se encuentran entre el 98 y el 134%. Esto hace que sea más fácil comprobar diferentes configuraciones.

A continuación, se muestran las gráficas de anti-squat para el ciclista de menor altura, el de altura media y el más alto que se prevé que vaya en esta bicicleta; tanto para el plato de 32 dientes como para el de 34. En primer lugar, se observa como la gráfica para los ciclistas de menor altura presenta valores de anti-squat superiores a los ciclistas más altos. Esto se debe a que los ciclistas más altos tienen el centro de gravedad más elevado, por lo que la transferencia de peso será mayor y por tanto una misma fuerza sobre la misma línea de cadena tendrá menor efecto para compensar la compresión sobre el amortiguador. En segundo lugar, se observa como las gráficas para el plato de 34 dientes presentan valores más bajos y tiene menor amplitud. Esto es debido a que la línea de cadena se sitúa más cerca del punto de pivote principal. Por tanto, es el plato de 34 dientes el que ofrece un comportamiento más constante para la bicicleta.

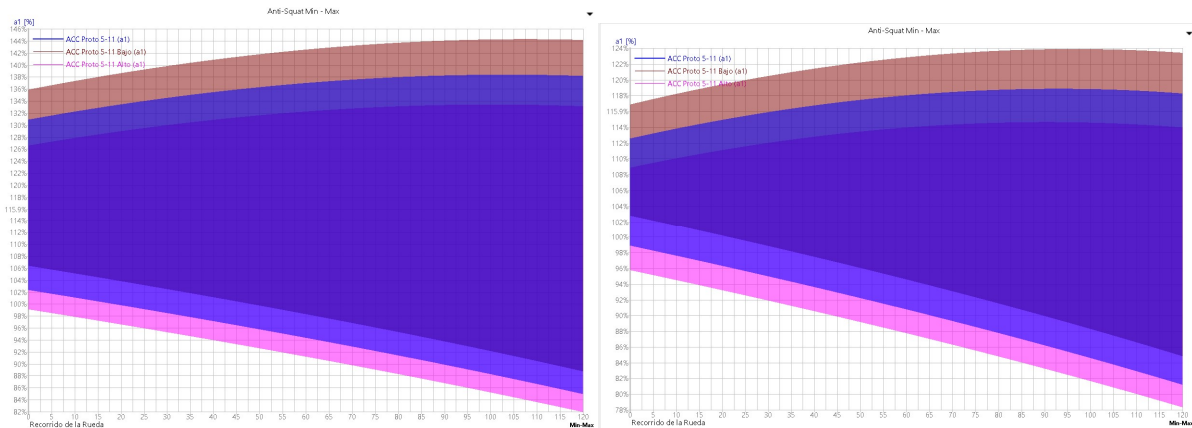


Figura 39. Rangos de anti-squat para las distintas alturas, con platos de 32 y 34 dientes. Fuente: Propia.

Una vez comprobado que las graficas se encuentran dentro de los valores y formas deseadas, se pueden dar por buenos los resultados.

Los valores del anti-squat en el punto de SAG, para los distintos ciclistas y lineas de cadena se muestran en la siguiente tabla:

Piñón														
Plato	Altura	10	12	14	16	18	21	24	28	33	39	45	51	Promedio
32	1700	138,6	131,1	125,8	121,8	118,7	115,1	112,4	109,6	107,0	104,8	103,0	101,6	115,8
	1750	133,2	126,0	120,9	117,1	114,1	110,6	108,0	105,3	102,9	100,7	99,0	97,7	111,3
	1800	128,8	121,9	117,0	113,3	110,4	107,0	104,5	101,9	99,5	97,4	95,8	94,5	107,7
34	1700	119,4	115,2	112,2	109,9	108,1	106,1	104,5	102,9	101,3	100,0	98,9	98,0	106,4
	1750	114,8	110,7	107,8	105,7	103,9	101,9	100,4	98,9	97,4	96,1	95,0	94,2	102,2
	1800	111,0	107,1	104,3	102,2	100,6	98,6	97,2	95,7	94,2	92,9	92,0	91,1	98,9

Tabla 12. Valor del anti-squat en el punto de sag para las distintas relaciones de transmisión. Fuente: Propia.

Como se observa casi la totalidad de los valores en el punto de sag se encuentran dentro de los límites definidos anteriormente. Se estudian los valores en este punto porque es donde se pedaleará más tiempo, los valores por debajo de este punto solo se darán cuando la rueda pase por un badén y la suspensión se extienda para seguir el terreno, lo cual dura un instante. También puede producirse este efecto cuando el ciclista pedalee en bajadas, ya que se descarga la rueda trasera, pero en esta situación no es tan importante la eficiencia de pedaleo porque la gravedad ayuda a alcanzar velocidad; además, las transmisiones monoplato tienen una baja velocidad máxima, ya que se quedan cortas de desarrollo, por lo que no tarda en alcanzarse la velocidad límite, lo que hace que no sea necesario seguir pedaleando.

En el caso contrario, por encima del punto de SAG, sí que tiene sentido analizar los datos, ya que el amortiguador se comprime al pedalear por terreno muy irregular. Además, en las subidas pronunciadas el amortiguador irá comprimido por estar la rueda trasera más cargada.

Se diseña con un anti-squat superior al 100% para compensar las aceleraciones verticales producidas por la variación del centro de gravedad. En el apartado 6.3.2 no son extremadamente grandes ya que es un modelo ideal de pedaleo, pero en la realidad estas fuerzas son bastante más altas ya que no siempre se pedalea de forma simétrica. Además, en el modelo ideal se ha supuesto que la parte superior no se mueve y en la realidad se producen ligeros vaivenes del tronco que acompaña al movimiento de las piernas.

Otra situación que no se tiene en cuenta es cuando se pedalea de pie. En esta situación el movimiento del centro de masas es mucho más exagerado que cuando se pedalea sentado, pero es difícil de cuantificar con modelos sencillos. Lo que sí que se puede saber es que la pierna más adelantada es la que genera la potencia y cuando esta baja se la acompaña con todo el cuerpo. Asumiendo esto se puede afirmar en un punto cercano al de máxima fuerza el centro de gravedad del ciclista estará bajando y que ambas situaciones provocan una compresión del basculante, haciendo que se pierda energía. Si a la vez que esto ocurre se requiere tener la suspensión desbloqueada por temas de tracción o de comodidad, el movimiento de la suspensión será importante. Para compensar esto se puede diseñar una bicicleta con un anti-squat superior al 100% que compense la compresión producida por el movimiento del centro de gravedad con la extensión producida por anti-squat.

Sin embargo, el problema que presenta esta solución es que si el anti-squat es demasiado alto, cuando el ciclista pedalee sentado estará levantando su peso a cada golpe de pedal, situación que es muy ineficiente.

5.4.6 Pedal Kickback

El diseño de la cinemática del cuadro busca que el pedal kickback sea lo más bajo posible sin tener que disminuir en exceso el valor del anti-squat. Debido a que estos parámetros están estrechamente relacionados, por lo que se ha llegado a una solución de compromiso. A continuación, se muestra el pedal kickback para todas las relaciones de transmisión, en azul para el plato de 34 dientes y en rosa para el plato de 32.

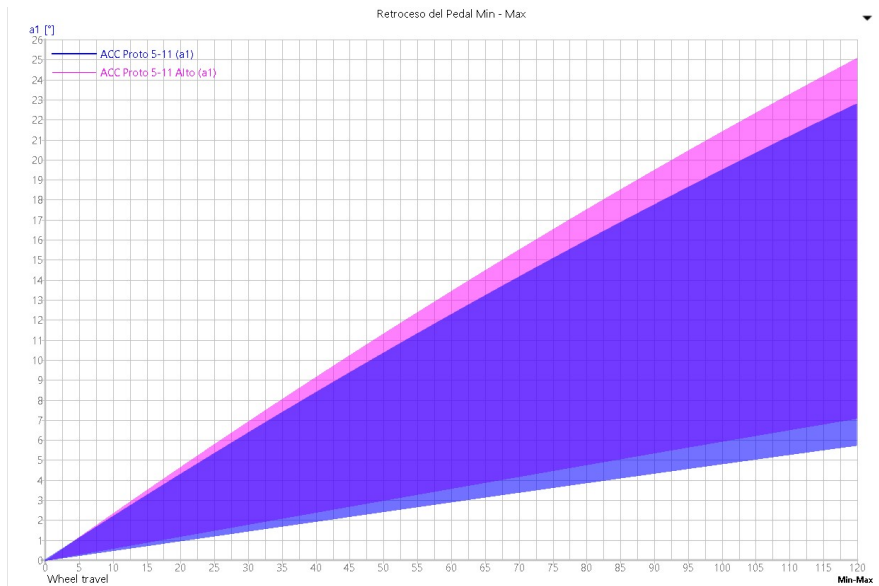


Figura 40. Rango del pedal kickback para plato de 32 y 34 dientes. Fuente: Propia.

Los valores más altos corresponden al uso de los piñones más grandes que son los que se utilizan a velocidades bajas y con los cuales es más difícil hacer topes de suspensión, por lo los 25° de giro de las bielas con el plato de 32 o los 23° con el plato de 34 difícilmente se alcanzará, salvo en bajadas en las que el ciclista no haya cambiado a la marcha adecuada.

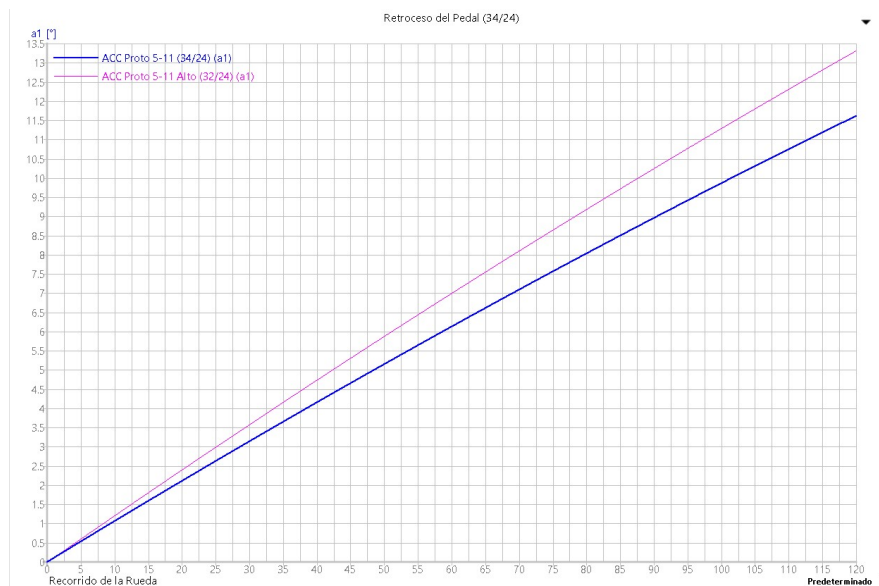


Figura 41. Valor máximo del pedal kickback para plato de 32 y 34 dientes. Fuente: Propia.

En la Figura 41 se muestra como varía el pedal kickback cuando esta engranado el piñón de 24 dientes. Se ha elegido este piñón porque tiene un tamaño medio y se considera que es de los piñones más grandes con los que se puede hacer tope. Como puede verse el valor máximo para el plato de 32 dientes es de 13,5° y de 11,5° para el plato de 34. No obstante

hay que tener en cuenta que en muchas ocasiones los no se harán desde el punto de extensión, si no que se harán desde el punto de sag por lo que el giro de las bielas será menor. Para el caso del piño de 24 dientes sería unos 3 grados menor.

Con todo lo comentado anterior mete se puede asumir que el sistema es seguro y que no difícilmente entorpecerá la conducción hasta hacerla peligrosa.

5.4.7 Anti-Rise

Como se observa el sistema de suspensión funciona de forma semiindependiente con respecto al freno trasero, para lograr una independencia total de la fuerza de freno el valor tendría que ser de 0%, mientras que con un valor del 100% implica que la fuerza del freno trasero compensa la extensión de la suspensión trasera debido la transferencia de pesos durante la frenada, con lo que se consigue que la bicicleta mantenga su geometría a costa de perder independencia en el movimiento de la suspensión.

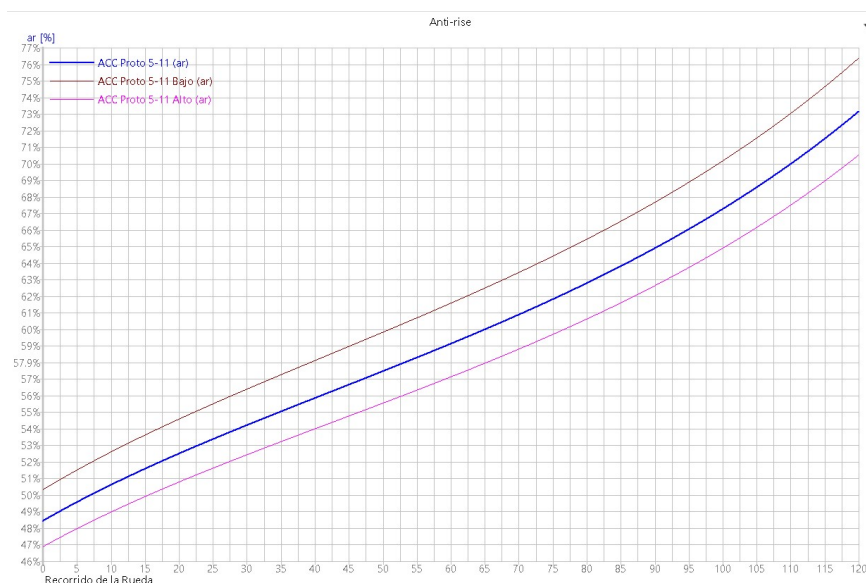


Figura 42. Evolucion del anti-rise para los distintos ciclistas. Fuente: Propia.

Ambas situaciones son igualmente buenas dependiendo de la situación en la que se encuentre el ciclista, por ello se ha optado por una solución intermedia entre estos conceptos. Los valores del anti-rise en el punto de sag son:

Altura (mm)	Anti-Rise (%)
1700	56,0
1750	53,8
1800	52,1

Tabla 13. Valores de anti-rise en el punto de SAG.

Como se ve son cercanos al 50% con ello lo que se busca es tener una suspensión que funcione de forma semiindependiente al freno, que garantice una buena sensibilidad y seguimiento del terreno a la vez que hace la bicicleta no pierda la geometría. Así mismo, a medida que aumenta el recorrido de la rueda se da importancia al mantenimiento de la geometría, ya que cuando el recorrido está cerca del tope de la suspensión se requiere de una menor sensibilidad del amortiguador ya que las fuerzas que actúan sobre este son suficientemente grandes como para desplazarlo.

5.4.8 Localización de los puntos cinemáticos

Para conseguir el comportamiento del sistema de suspensión especificado en el apartado 5.4 los puntos han de estar colocados en las siguientes coordenadas cuando la bicicleta se encuentra en reposo.

Unión	x (mm)	y (mm)
Cuadro-Vainas	27,0	73,5
Vainas-Tirantes	-425,0	50
Tirantes-Bieleta	-56,0	326,8
Bieleta-Amortiguador	-30,3	323,8
Bieleta-Cuadro	6,3	300,0
Cuadro-Amortiguador	179,4	405,6

Tabla 14. Coordenadas puntos cinemáticos.

5.5 Diseño del triángulo principal

Llegado el momento de diseñar el triángulo principal se deben buscar todos los aspectos que pueden condicionar este diseño. En primer lugar, se debe tener claro el tipo de comportamiento que buscamos que tenga la bicicleta, ya que este determinará parámetros importantes de la geometría y a su vez, serán estas medidas las que limiten el diseño de esta y las demás partes del cuadro.

Medidas como el reach o el stack nos delimitan el largo y el alto de la parte frontal del cuadro respectivamente, mientras que el ángulo del tubo del sillín y su longitud nos delimitan el espacio trasero.

En segundo lugar, otro parámetro que delimita el diseño del triángulo principal es el recorrido de la suspensión trasera, que a su vez viene delimitado por el sistema de suspensión elegido. En este caso en concreto, la rueda trasera describe un arco circular, por lo que cuanto mayor sea el recorrido de la suspensión trasera (desplazamiento vertical), más próxima estará la rueda al tubo del sillín y por tanto este deberá ser más vertical.

El recorrido de inserción de la propia tija también tiene influencia en la parte trasera del triángulo principal, ya que una mayor distancia de inserción permite un mayor rango de alturas de los ciclistas, con el contra de que obliga a que parte de este tubo sea recto. Para este caso se ha decidido que la máxima inserción de la tija sea de 225 mm. Teniendo en cuenta que la mínima distancia de inserción de la tija es de 75 mm y que las tijas suelen rondar entre 350 mm y 450 mm, se obtiene que la altura del asiento se puede regular 250 mm. La menor altura será 125 mm sobre el cierre del tubo del sillín y la máxima altura 375 mm sobre el mismo punto. A todo esto hay que sumar que las tijas convencionales se pueden recortar para bajarla aún más, por lo que el límite inferior podría ser bastante menor, pero llegado el caso sería más interesante que el usuario valorase la idea de elegir una talla menor.

Además, la inclinación del tubo del sillín viene determinada por cuestiones biomecánicas ya que se busca que la posición de pedaleo permita al ciclista pedalear en una posición que no sea lesiva. En este caso se considera que esa posición se da para unos 75°.

Por otro lado, el recorrido de la suspensión delantera no tiene la misma importancia ya que el punto donde hace tope la horquilla, y por tanto la rueda delantera esta más próxima al cuadro, puede presentar pequeñas variaciones en función del modelo, pero se sitúa prácticamente en la misma posición. Además, el modelo de horquilla seleccionado para el diseño presenta varios recorridos, pero como se ve en la Figura 29 el punto de tope no varía, solamente aumenta la longitud de las barras.

El cuadro se diseña pensando que sea lo más versátil posible y por tanto se busca que pueda albergar el mayor tamaño de rueda permitido por la horquilla. En las especificaciones de la horquilla se indica que el mayor tamaño de rueda que admite es de 29" por 2,6" de ancho (ver Figura 29), lo que implica un diámetro de ruedas de 755 mm y se busca que en el punto más próximo al cuadro se tenga un espacio libre de 15 mm entre las ruedas y el triángulo principal.

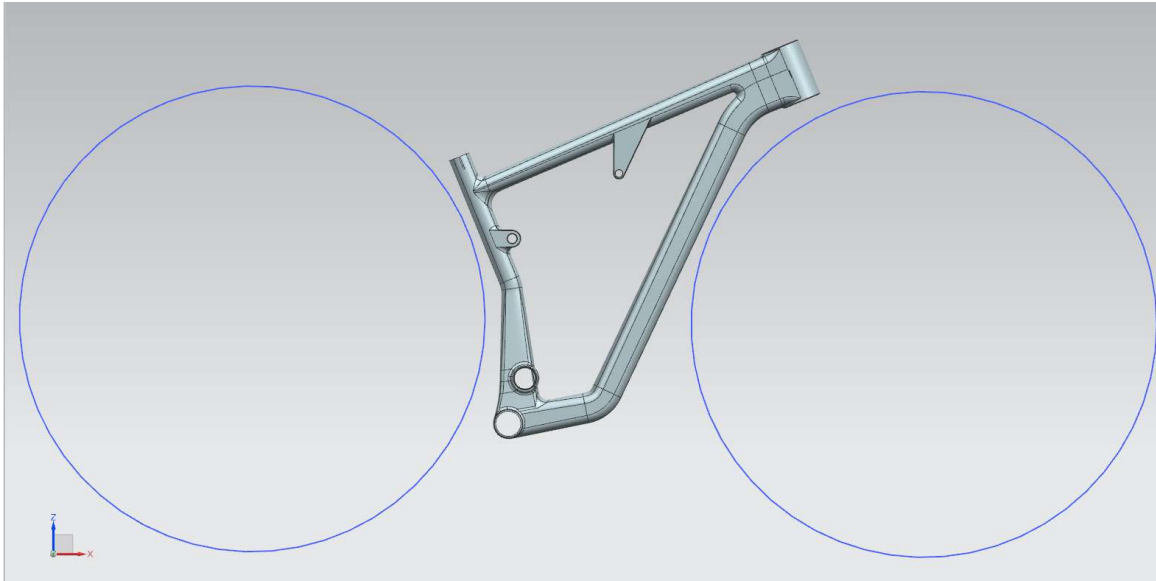


*Figura 43. Espacio entre el cuadro y los neumáticos de máximo diámetro en posición de máxima compresión.
Fuente: Propia.*

Como la bicicleta se enfoca en el mercado español y en su uso en pruebas de larga duración, la capacidad para albergar dos bidones de gran tamaño (800 ml) es fundamental. Por ello se opta por un tubo diagonal con una curva en la parte inferior que permite albergar un bidón extra unido al tubo del sillín, a parte del que va unido al tubo diagonal. Además, se busca que en el interior del cuadro a la vez que están los dos bidones se pueda tener un espacio para guardar herramientas con sistemas análogos al de Specialized SWAT box, O al de Mérida Ninety-Six, a la que se la pueden acoplar útiles de sujeción mediante uniones atornilladas al propio cuadro.

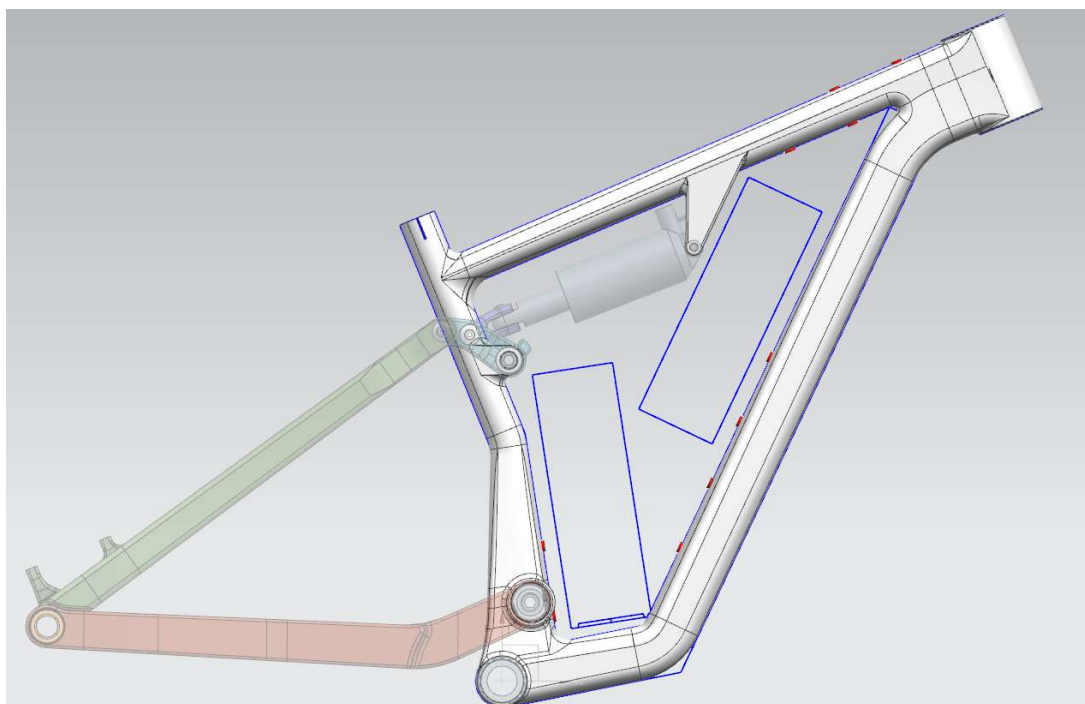


Figura 44. Espacio de almacenaje del cuadro. Fuente: Propia.

Final mente, una vez definida la forma principal del cuadro, se busca la mejor forma de diseñar una cinemática acorde con estas formas. Como se comentó en el apartado 5.4.5 el punto del pivote principal ideal estaría más adelantado, pero esto perjudicaría al diseño del tubo del sillín y a la integración del segundo botellero. Además, se ha preferido utilizar unos rodamientos sobredimensionados que aportan una mayor rigidez y vida útil, a costa de limitar la posibilidad de adelantar el pivote principal. El segundo punto del sistema de suspensión que se conecta al cuadro es el punto de giro de la bieleta, el cual se ha colocado en el tubo del sillín ya que esta posición permite diseñar un sistema que aumenta el anti-rise a medida que la rueda trasera se comprime. La altura de este punto y su avance está condicionada en parte por el tamaño del bidón y el acceso para introducirlo y sacarlo.

El último punto de conexión entre la parte cinemática y el triángulo principal es el punto de conexión del primer ojo del amortiguador. Para definirlo se ha buscado que ni la posición de este punto ni la forma de su soporte limiten el acceso al primer bidón de agua. Así mismo este punto de conexión debe garantizar que el amortiguador no choque con el tubo superior de la bicicleta, en ningún punto del recorrido, mientras que se busca que el acceso al regulador del revote sea sencillo a la vez que el cable de bloqueo del amortiguador quede lo menos expuesto posible al exterior, con el fin de lograr una mejor estética y que el cable no estorbe al resto de componentes del interior del cuadro.

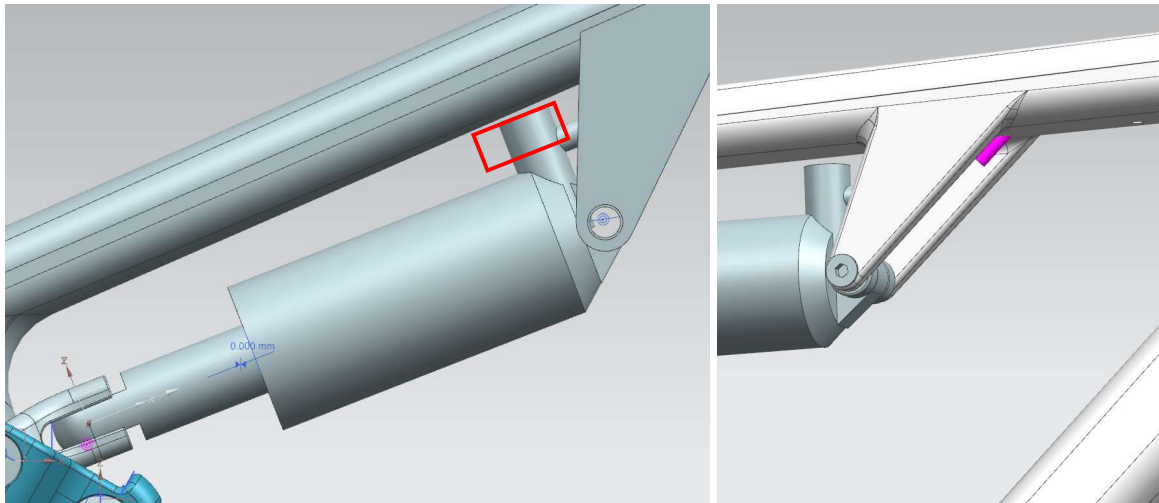


Figura 45. Amortiguador ensamblado en el cuadro. Fuente: Propia.

Con este diseño del soporte del amortiguador se ha buscado ocultar el cable de bloqueo del amortiguador (rosa) y que a la vez se pueda regular el control del rebote que está colocado en la zona del recuadro rojo.

Por su parte el paso de los cables del freno trasero y del desviador, desde el basculante hasta las vainas, se hace por la parte posterior del tubo del sillín, sobre la zona del pedalier. Los cables pasan cubiertos por una funda de goma que evita la entrada de agentes externos al cuadro.

De cara a la fabricación hay que tener en cuenta que entre las piezas de aluminio de las roscas para las cazoletas del pedalier BSA y la estructura de carbono del cuadro se colocará una lámina de fibra de vidrio para evitar la corrosión galvánica.

Sobre el tubo horizontal, se colocan dos roscas para poder colocar la bolsa con el espacio extra de almacenaje. En la parte inferior, justo debajo, también se colocan unos agujeros para poder portar más elementos, como por ejemplo bombonas de CO₂ o una cámara. Los orificios para estos elementos tienen la misma medida que el anclaje de los bidones, para facilitar la estandarización de estas piezas en un futuro. Estos anclajes y los de los bidones se han representado en color rojo en la Figura 44. Como se observa en el tubo diagonal hay 4 agujeros (el doble de los necesarios) esto se ha hecho para poder regular la altura del bidón cuando solo se lleve en este tubo y para poder montar sistemas como el SWAT Box de Specialized (ver Figura 31).

Finalmente se muestra la geometría de la bicicleta sobre el propio cuadro para poder ver mejor el resultado final.

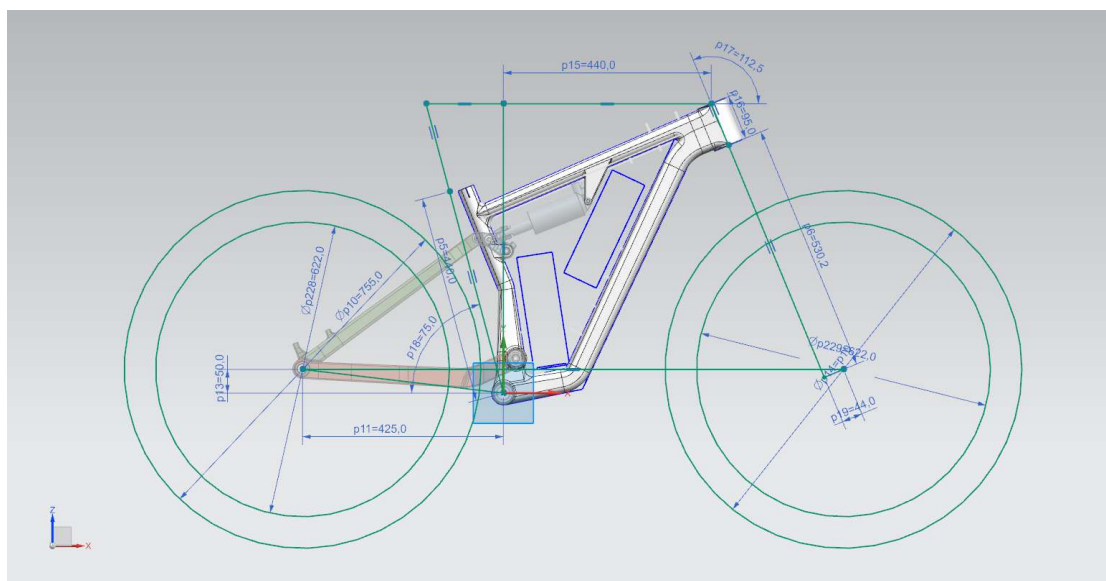


Figura 46. Geometría de la bicicleta. Fuente: Propia.

5.6 Diseño de las vainas

Las vainas se diseñan una vez se han definido los puntos cinemáticos de la bicicleta, ya que estas son el elemento que conecta la rueda trasera con el cuadro y por tanto se extiende desde el punto de pivote principal hasta el punto de pivote concéntrico.

La forma de las vainas está limitada por varios elementos, casi todos ellos provenientes de la transmisión. El primer elemento que afecta al diseño es el buje, que en este caso es de 157 mm de ancho (78,5 mm a cada lado) lo que delimita la separación en el punto de pivote concéntrico. El buje no va unido directamente a las vainas si no que se conecta a la patilla del cambio en la parte derecha y a una pieza de aluminio que lo ajusta en la parte izquierda. Estas dos piezas están conectadas a los tirantes y los tirantes se conectan a las vainas. Para albergar la patilla de cambio UDH de SRAM se necesita que desde la cara interior del tirante derecho hasta la cara exterior del rodamiento que va en la vaina haya 12,5 mm, lo que es una distancia bastante estrecha. Además, la patilla tiene un eje de 20 mm de ancho. Esto limita bastante las posibilidades de seleccionar un rodamiento dentro de los del catálogo de ISB. La mejor alternativa es el rodamiento 6804 2RS con un diámetro exterior de 32 mm, un diámetro interior de 20 mm y un ancho de 7 mm, lo que deja un margen de 5,5 mm para el tirante, el asiento del rodamiento y la arandela que separa la vaina y el tirante.

Para mejorar la limpieza estética de la bicicleta se busca que en la zona en la que se solapan la caras exteriores e interiores de estos elementos coincidan, con el fin de dar mayor continuidad a estas superficies y además conseguir una mayor anchura de los brazos (círculo azul).

Otro de los factores que limitan el diseño de las vainas es la línea de la cadena ya que en la posición para el piñón más pequeño podría rozar con la cadena provocando ruido, un mal funcionamiento y el desgaste de la vaina. Esto se soluciona dando una ligera inclinación negativa a la vaina, para que se separe de la cadena cuanto más lejos de los piñones esté y evitando que la línea superior de la vaina este por encima del diámetro de fondo del piñón más pequeño.

A parte de esto, la vaina derecha tiene que dejar un espacio suficiente para que entre un plato de 38 dientes con una línea de cadena de 56 mm, para ello se hace una hendidura con un diámetro 5 mm superior al diámetro exterior del plato de 38 dientes y espacio entre el interior del plato y el exterior de la vaina de 3 mm. Además, en ambas bielas tiene que haber un espacio suficiente como para que las bielas no rocen y dejar cierto margen para que la acumulación de barro no sea un problema.

No solo esto, sino que también se busca que entre el neumático de máximo tamaño y el interior de las vainas haya un espacio tal que no llegue a rozar con estas. Para ello se dejan 5,5 mm por cada lado y 7 mm de margen con el elemento que une las vainas. La vaina izquierda se diseña de la misma forma que la derecha para mejorar la estética, porque así en la vista lateral solo se ve una de las vainas y de este modo el elemento de conexión es más efectivo al ser completamente recto.

También se ha realizado un orificio de entrada para los cables de cambio y de freno (verde) y sus respectivas salidas en cada vaina (rosa).

La última parte del diseño es el asiento del eje del pivote principal, que en el lado derecho tiene una hendidura que le permite asegurar la posición para no perder el giro y aflojarse. Se ha elegido el lado derecho porque es el lado desde el que es más difícil apretar el eje debido a que el plato estorba, además en caso de que se llegara a dar esta situación el eje no podría salirse porque el plato se lo impide, con lo que se evita un posible accidente bastante grave.

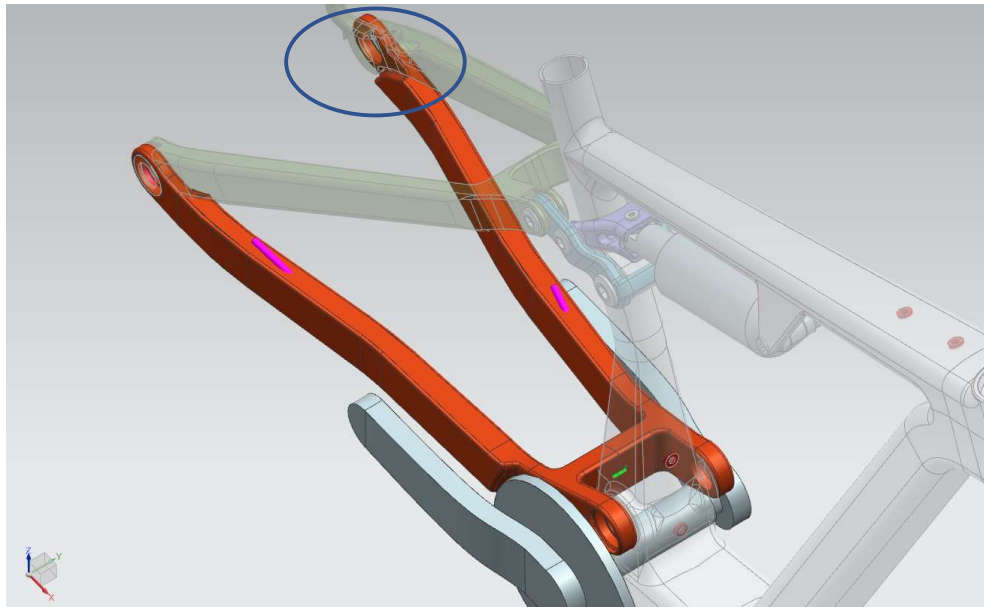


Figura 47. Diseño de las vainas. Fuente: Propia.

5.7 Diseño de los tirantes

Al igual que ocurre con las vainas este elemento también se ve influenciado por el ancho del buje. Las punteras de los tirantes en el punto del pivote concéntrico se diseñan especialmente finas para no sobrepasar los 12,5 mm que necesita la patilla SRAM UDH, con lo que el ancho en esta parte se queda en 2 mm. Como se comentó en el apartado anterior, los tirantes también tienen un hueco en la parte exterior de la zona de las punteras para mejorar la continuidad entre estos y las vainas. También es importante colocar un tetón en la parte interior del tirante derecho para limitar la rotación de la puntera de cambio y así poder evitar una avería.

El punto de conexión entre ambos tirantes se diseña para que deje los mismos espacios con el neumático que había en las vainas, además de dejar un hueco de 7 mm con el tubo del sillín en la posición de máxima compresión de la suspensión.

Por último, se incorporado el anclaje de la pinza post mount en la vaina derecha siguiendo las especificaciones de SRAM y cuidando que se puedan montar discos de freno de hasta 203 mm de diámetro.

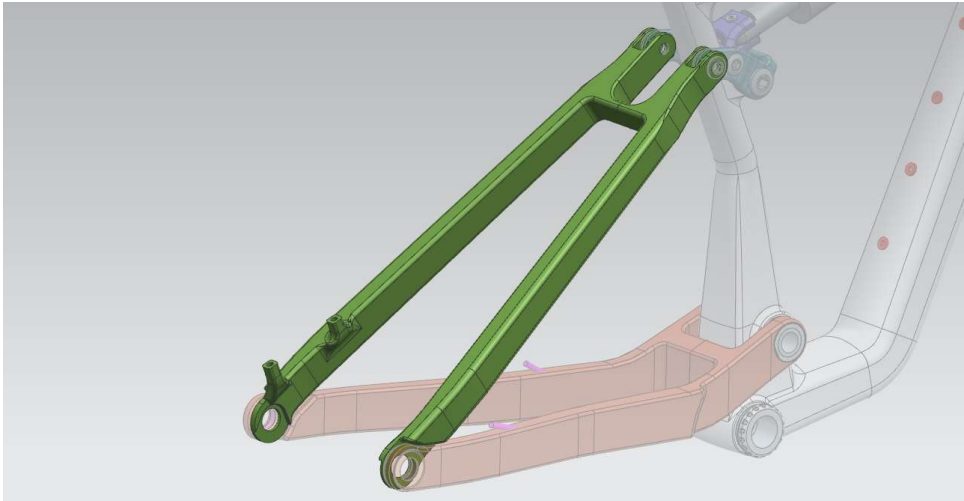


Figura 48. Diseño de los tirantes. Fuente: Propia.

5.8 Diseño de la bieleta

El diseño de la bieleta viene dado por la posición de los puntos de la cinemática, en los cuales se encuentran los rodamientos, y por el tamaño de estos que se escoge por la carga que deben aguantar.

Se busca diseñar una bieleta lo más estrecha posible para evitar que golpee las piernas del ciclista al moverse. Para ello se ajusta al diámetro de la tija en el punto de conexión con el cuadro y se la da una anchura ligeramente superior, de modo que queden unos 5 mm de margen por cada lado entre el tubo del sillín y la extensión del amortiguador.

Finalmente se ha creado un brazo de unión entre ambos lados de la bieleta para dotar al sistema de una mayor rigidez. Para evitar interferencias con el resto de los elementos se ha colocado unido al punto de pivote de la bieleta.

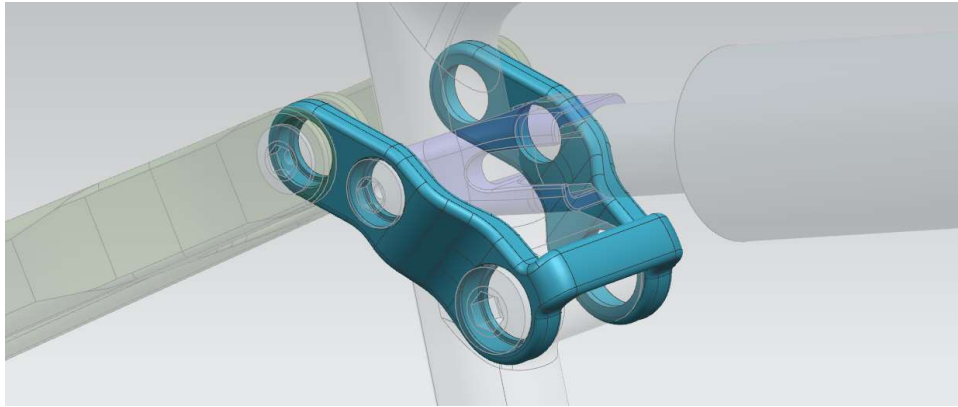


Figura 49. Diseño bieleta. Fuente: Propia.

5.9 Guiado de cables

En base al diseño que se ha hecho de esta bicicleta se puede asumir que tendrá los siguientes cables:

- Latiguillo de freno delantero: sale de la maneta de freno delantera colocada en la parte izquierda del manillar y se une a la horquilla por la zona superior izquierda del puente y sigue hasta llegar a la pinza de freno.
- Latiguillo de freno trasero (rosa): sale de la maneta del freno trasero situada en la derecha del manillar. Después entra al cuadro por la parte izquierda de la tapa de la dirección y baja por el tubo diagonal hasta la parte trasera de la caja del pedalier, donde sale por un agujero para entrar por la parte delantera del elemento que une las dos vainas. Desde ahí se dirige a la vaina izquierda, para acabar saliendo por la parte del brazo y así llegar a la pinza colocada en el tirante.
- Cable de bloqueo de la horquilla: sale de la parte izquierda del manillar y se dirige a la parte superior de la botella derecha de la tija.
- Cable de bloqueo del amortiguador (azul): Al igual que el cable de la horquilla sale de la parte izquierda del manillar, pero este entra por la parte de la derecha de la tapa de la dirección y va por el interior del tubo superior hasta que sale por la parte inferior de este para acabar llegando al amortiguador.
- Cable de accionamiento de la tija telescópica (naranja): al igual que los dos anteriores partes desde la parte izquierda del manillar y entra por la parte derecha de la tapa de la dirección, baja por el tubo diagonal hasta la caja del pedalier y en ese punto sube por el tubo del sillín hasta llegar a al accionamiento de la tija telescópica que está colocado en la parte inferior de esta.

- Cable de accionamiento del desviador trasero (verde): comienza en la parte derecha del manillar y entra al cuadro por la parte izquierda de la tapa de la dirección, desde aquí baja hasta la caja del pedalier por el tubo diagonal y acaba saliendo por la parte trasera de la caja del pedalier para entra por la parte delantera del elemento que conecta ambas vainas, desde ahí se dirige a la vaina derecha y sale por la parte superior de esta unos 100 mm antes del eje del pedal, para acabar llegando al desviador trasero.

El esquema de paso de todos estos cables por el interior del cuadro queda de la siguiente forma:

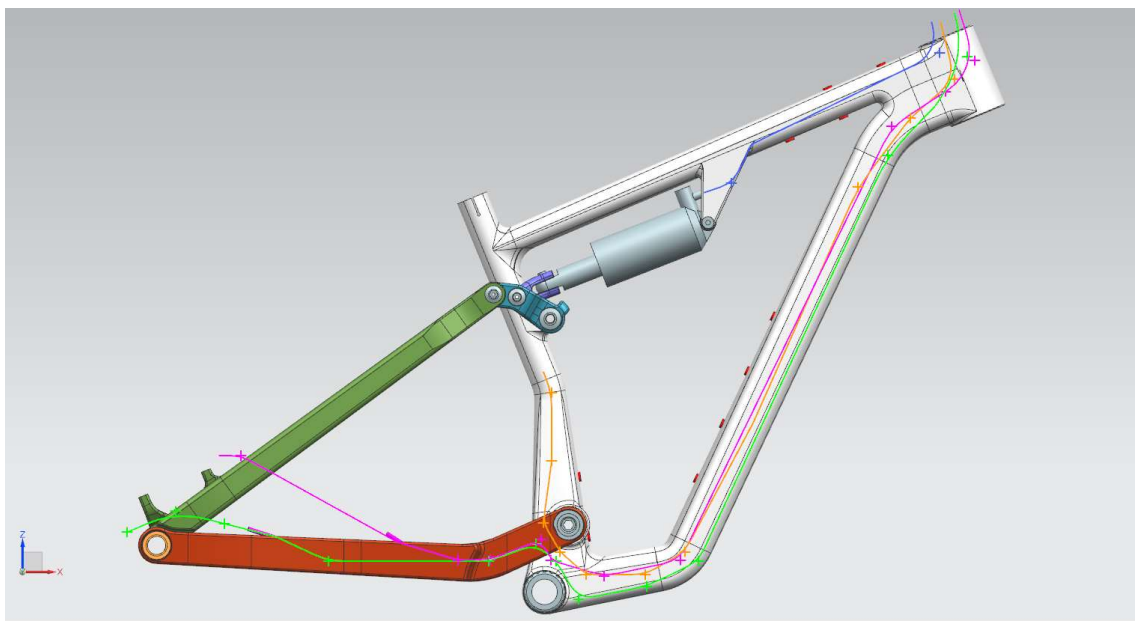


Figura 50. Esquema del cableado interno. Fuente: Propia.

Caber destacar que esta es la configuración para el máximo número de cables posible, pero existen alternativas en las que los bloqueos de las suspensiones no tienen accionamiento desde el manillar, ya sea porque tienen estos diales directamente en las suspensiones o por que sean de accionamiento autónomo. también existe la posibilidad de que la tija telescópica y el desviador trasero sean inalámbricos, por lo que tampoco llevarían cable y con esto se tendría que el único cable que requiere de guiado interno sería el del freno trasero.

5.10 Carbono elegido

A la hora de seleccionar la fibra de carbono, se busca que la bicicleta tenga las mejores propiedades posibles. Para comenzar. Un factor muy importante es el peso, por ello se buscará fibras con una elevada resistencia. También es muy importante la rigidez. Una elevada rigidez en zonas como la caja del pedalier, permite aprovechar al máximo la fuerza que es ejerce al pedalear, con lo que se logra una bicicleta más reactiva ya que acelera mejor y desperdicia menos la fuerza de pedaleo. Por su parte, la rigidez en la pipa de dirección aporta precisión en el guiado de la bicicleta ya que ayuda a que responda de forma más directa a lo que le pedimos desde el manillar. Por otro lado, hay partes en las que no se necesita esta rigidez, como el tubo del sillín, especialmente en bicicletas sin suspensión trasera, ya que así el carbono absorbe mejor las vibraciones provenientes del terreno y las filtra antes de que lleguen a la espalda del ciclista. Esto no es tan importante en una bicicleta de doble suspensión ya que estas fuerzas las absorbe la suspensión cuando la bicicleta esta desbloqueada.

Las fibras de carbono unidireccionales tienen la ventaja de que son muy resistentes en la dirección de la fibra por lo que son especialmente útiles en aplicaciones en las que los esfuerzos tienen principalmente una dirección. En los cuadros de las bicicletas suele ocurrir este efecto debido a que pueden asimilarse a tubos que forman estructuras triangulares por lo que la mayoría de los esfuerzos en un modelo ideal serian de tracción o de compresión. En el caso que nos ocupa no es así ya que existen otras fuerzas como las de pedaleo o las que provienen de las ruedas y del manillar que retuercen la bicicleta, por lo que el diseño del laminado también debe pensarse para aguantar la torsión.

5.10.1 Propiedades de las fibras

Para la fabricación del cuadro de la bicicleta se utilizarán dos tipos de fibra de carbono, que son las fibras unidireccionales por su capacidad de resistencia a los esfuerzos que provienen de una dirección y las fibras tejidas tipo twill ya que ofrecen una buena estética, son bastante planas, siguen bien las formas y tienen una buena resistencia.

Dentro de estas fibras se analizarán distintos modelos con el fin de seleccionar los que mejor se adecuen a las características del diseño que buscamos lograr. En la Tabla 15 se muestran las principales propiedades de las fibras seleccionadas:

Se comparan varias fibras de Toray unidireccionales.

	Toray 2510 Prepreg Laminate with P707AG-15 Fiber (Oven Cure)	Toray 3900 Prepreg Laminate with P2362W-19L (T800S-24K UD) Fiber	Toray 3960 Prepreg Laminate with P173EBN-19 (T1100G UD) Fiber	Toray 2511 Prepreg Laminate with P6111- 200 (M46J UD) Fiber
Densidad (g/cm³)	1,517	1,54	1,573	1,52
Tracción (MPa)	2172	3006	3896	1682
E (MPa)	12800	149000	173000	225000
Compresión (MPa)	1400	1944	1863	827
Modulo compresión (MPa)	283000	130000	152000	181000
Cortante (MPa)	154	96,5	124	68,9
Modulo Cortante (MPa)	4230	96500	6200	3790
Grosor (mm)	0,152	0,191	0,183	0,213
Fuente	(MatWeb)	(MatWeb)	(MatWeb)	(MatWeb)

Tabla 15. Datos fibras unidireccionales

Se procede de igual forma con las fibras tejidas:

	Toray 2511 Prepreg Laminate with F6273C-11M (T700S-12K PW) Fiber	Toray 3900 Prepreg Laminate with FM6673G- 37KL (T830H-6K PW) Fiber	Toray 3960 Prepreg Laminate with FT6243R-3EI (T1100G-12K PW) Fiber
Densidad (g/cm³)	1,51	1,51	1,551
Tracción (MPa)	1089	1034	1799
E (MPa)	62900	74500	99310
Compresión (MPa)	731	765	938
Modulo compresión (MPa)	57900	64800	81000
Cortante (MPa)	119	120	77,4
Modulo Cortante (MPa)	4790	4600	3700
Grosor (mm)	0,218	0,218	0,2
Fuente	(MatWeb)	(MatWeb)	(MatWeb)

Tabla 16. Datos fibras tejidas.

Se han elegido 3 tipos de compuestos preimpregnados diferentes. Dos fibras de módulo intermedio, una trenzada y otra unidireccional; y una fibra más unidireccional de módulo alto para aquellas partes en las que se requiera una mayor rigidez.

Las láminas de módulo intermedio elegidas son las que tienen la fibra T1000G. Se ha elegido esta fibra porque tiene el módulo de tracción, de cortante y de compresión bastante altos en comparación con las otras fibras intermedias y además tienen una excelente resistencia a tracción y unas resistencias a cortante y compresión muy buenas. Además, según Toray estas fibras tienen muy buena tenacidad, lo que es una cualidad muy importante para una bicicleta de mountain bike ya que no solo es un deporte en el que sea fácil caerse, sino que también es fácil que distintos objetos como piedras, palos o raíces acaben impactando con el cuadro.

Como se comentó anteriormente la fibra de carbono de alto módulo se ha elegido para reforzar aquellos elementos que requieren una mayor rigidez, tales como la caja del pedalier la pipa de dirección.

5.10.2 Laminado

A continuación se presenta el laminado de los distintos elementos del cuadro. Los elementos subrayados son fibras unidireccionales y los no subrayados son fibras trenzadas. En la tabla no se indican los layups con refuerzo de cada zona debido a la complejidad que tendría la tabla

Se considera fibras orientadas a 0° aquellas que siguen la dirección del tubo.

Parte	Layup o laminado
Tubo diagonal inferior	[0/0/0/90/0/45-45/90/45/-45]s
Tubo diagonal superior	[0/0/45/-45/90/0/45/-45]s
Tubo del sillín delantero superior	[45/-45/45/-45/0/0/90]s
Tubo del sillín trasero superior	[45/-45/0/0/90/0]s
Orejetas amortiguador	[45/-45/45/-45/0/0/0]s
Tubo superior inferior	[0/0/45/-45/0/0/90]s
Tubo superior superior	[0/0/45/-45/90/45/-45]s
Tubo del sillín delantero inferior	[45/-45/45/-45/0/0/90]s
Tubo del sillín trasero inferior	[45/-45/45/-45/0/90]s
Pipa	[45/-45/30/-30/0/0/90]s
Vainas superior	[0/-45/45/0/-45/45/-45/45]s
Vainas inferior	[0/-45/45/0/-45/45/-45/45]s

Vainas exterior derecha	[0/0/0/0/45/-45/45/-45]s
Vainas exterior izquierda	[0/0/0/0/45/-45/45/-45]s
Vainas interior delante	[0/0/0/0/45/-45/45/-45]s
Vainas interior posterior	[0/0/0/0/45/-45/45/-45]s
Tirantes superior	[0/0/45/-45/45/-45/45/-45]s
Tirantes inferior	[0/0/45/-45/45/-45/45/-45]s
Tirantes exterior derecha	[0/0/0/0/-45/45-45/45]s
Tirantes exterior izquierda	[0/0/0/0/-45/45-45/45]s
Tirantes interior delante	[0/0/0/0/-45/45-45/45]s
Tirantes interior posterior	[0/0/0/0/-45/45-45/45]s

Tabla 17. Laminados del cuadro

Con todo esto se obtiene un peso para el triángulo principal de 1,215 kg, para las vainas 0,420 kg y para los tirantes 0,385 kg.

Como se puede observar, el peso no es de los más ligeros del mercado por lo que en un futuro se podría seguir optimizando la geometría y los laminados para disminuir el peso, procurando que esto no sea a costa de una pérdida significativa de rigidez.

Criterios de fallo

Para saber si un laminado fallará debido a la carga a la que está sometido, el programa de cálculo determina las tensiones en cada una de las capas. Después aplica un criterio de fallo que se base en las tensiones calculadas en el apartado anterior para comprobar si las capas fallan. En el modelo analizado se considera que el resultado no es válido cuando fallan una o más capas del modelo.

Criterio de fallo de Tsai-Hill

Este criterio se aplica a las láminas compuestas y se basa en la energía de distorsión, es decir, la que provoca el cambio de forma. Considera la parte de energía de distorsión que hay sobre la total que se almacena debido a la carga. La otra parte es la energía de dilatación que es la causante del cambio de volumen o de área (en caso de trabajar en 2 dimensiones) debida a la carga. En el caso de los laminados se supone que cada lámina se encuentra en un caso de tensión plana por lo que $\sigma_3 = 0$, $\tau_{13} = 0$, $\tau_{23} = 0$. Por tanto, el índice de fallo es:

$$F.I. = \frac{\sigma_1^2}{X_1^2} - \frac{\sigma_1\sigma_2}{X_1^2} + \frac{\sigma_2^2}{X_2^2} + \frac{\tau_{12}^2}{S_{12}^2}$$

Donde X_1 es la resistencia del laminado a la tracción ($\sigma_1 > 0$) o a la compresión ($\sigma_1 < 0$) en la dirección 1 y X_2 es la resistencia a la tracción ($\sigma_2 > 0$) o a la compresión ($\sigma_2 < 0$) en la dirección 2 y S_{12} es la resistencia al corte.

Se considera que el laminado está a salvo cuando el coeficiente de seguridad es mayor que 1, siendo este coeficiente:

$$C.S. = 1/\sqrt{F.I.}$$

Las limitaciones de este criterio de fallo son que no puede predecir si el fallo se produce en la fibra, la matriz o en la interfaz fibra-matriz (SolidWorks, 2021).

Criterio de fallo de Tsai-Wu

Este criterio de fallo se utiliza para determinar el coeficiente de seguridad para láminas ortotrópicas compuestas. Predice los fallos de las láminas a través de la energía total de deformación, por tanto, es más general que el criterio de Tsai-Hill, ya que este distingue entre los fallos debidos a la compresión y los debidos a la tracción. En el caso de tensiones planas en dos dimensiones se considera $\sigma_3 = 0$, $\tau_{13} = 0$, $\tau_{23} = 0$. Este criterio de fallo se expresa como:

$$F_1\sigma_1 + F_2\sigma_2 + 2F_{12}\sigma_1\sigma_2 + F_{11}\sigma_1^2 + F_{22}\sigma_2^2 + F_6\tau_{12} + F_{66}\tau_{12}^2 = 1$$

Donde F_{ij} son los coeficientes del criterio de fallo y están relacionados con la resistencia del material de la lámina y se calculan de forma experimental.

En este caso el coeficiente de seguridad es:

$$FOS = \frac{-C_1 + R}{2C_2}$$

$$C_1 = F_1\sigma_1 + F_2\sigma_2 + F_6\tau_{12}, \quad C_2 = F_{11}\sigma_1^2 + F_{22}\sigma_2^2 + F_{66}\tau_{12}^2 + 2F_{12}\sigma_1\sigma_2, \quad R = \sqrt{|C_1^2 + 4C_2|}$$

Presenta los mismos inconvenientes que el criterio de Tsai-Hill (SolidWorks, 2021)

Criterio de máxima tensión

Según este criterio el fallo se produce cuando la tensión en una de las principales direcciones del material sobrepasa la resistencia en esa dirección. En primer lugar, se calcula el estado general de la tensión respecto a las coordenadas globales y posteriormente se calcula la

tensión a lo largo de las direcciones principales del material en cada una de las láminas haciendo un cambio de coordenadas. Se supone un estado de tensión plana en cada lámina por lo que $\sigma_3 = 0$, $\tau_{13} = 0$, $\tau_{23} = 0$. El índice de fallo se calcula a través de la siguiente expresión:

$$F.I. = \text{Max} \left(\frac{\sigma_1}{X_1}, \frac{\sigma_2}{X_2}, \left| \frac{\sigma_{12}}{S_{12}} \right| \right)$$

El factor de seguridad es: C.S.= 1/FI

El inconveniente de este método es que no tienen en cuenta las interacciones entre los distintos componentes de la tensión (SolidWorks, 2021).

Finalmente se escoge el criterio de máxima tensión ya que no solo se basa en la energía de distorsión como el de Tsai-Hill y no requiere de coeficientes experimentales como el de Tsai-Wu

6 SIMULACIÓN DEL PEDALEO

Como se ha visto en el apartado 5.4 la posición del centro de gravedad del conjunto ciclista-bicicleta es importante a la hora de determinar distintos parámetros del comportamiento de la suspensión. Tener una buena aproximación de donde está colocado favorece un mejor diseño de la cinemática de la suspensión trasera.

6.1 Estimación del centro de gravedad del ciclista

Dado que la masa del ciclista es muy superior a la de la bicicleta, esta será la más importante de determinar de cara a obtener el centro de gravedad del conjunto. El principal problema es que no todas las personas tienen la misma constitución por lo que es imposible determinar con exactitud la posición del centro de gravedad. Distintos parámetros como la talla, la constitución, la edad, el estado de forma física, las medidas de cada uno de los segmentos corporales... hacen que haya que recurrir a los modelos de percentiles para estimar tanto masas, como longitudes y localizaciones de los centros de gravedad de cada segmento corporal.

Otro punto para tener en cuenta es que las bicicletas no solo se diseñan para una altura determinada, sino que, a través de distintos componentes ajustables o intercambiables -como bielas, manillar, tija del sillín, potencia y separadores de potencia- podemos adaptar una misma bicicleta a distintos cuerpos, con diferentes características en cuanto a altura, edad, flexibilidad, dolencias... Esta adaptabilidad de las bicicletas es importante, porque la postura de un mismo ciclista sobre la bicicleta irá cambiando conforme envejece, ya que la pérdida de flexibilidad y el aumento de la rigidez articular hará que sea necesario buscar posturas más erguidas, que son menos agresivas con los músculos y las articulaciones.

Habitualmente las marcas separan las tallas de las bicicletas con márgenes entre 10 y 15 cm de altura del ciclista. Para el diseño de este cuadro se ha elegido a una persona que encaja con el percentil 50 de altura de España para varones, aproximadamente 176 cm (NCD Risk Factor Collaboration (NCD-RisC), 2016). Los valores de altura máxima y mínima del ciclista estarán situados aproximadamente 5 cm por encima y por debajo de esta altura de referencia. De modo que se buscará que el sistema de suspensión de la bicicleta tenga una buena eficacia para personas con una altura de entre 170 y 180 cm.

También es importante tener en cuenta el peso de los ciclistas a la hora de determinar el centro de gravedad del conjunto, por lo que una vez definidas las alturas se calcula el peso a

través de los IMC. Para tener el rango de posiciones del centro de gravedad lo más extendido posible en el modelo de mínima altura se considera un IMC de 18,5 (límite inferior de lo que la OMS considera saludable) correspondiente a un varón joven (entre 26 y 35 años) de acuerdo con el primer grupo de edad con representación en la encuesta (World Health Organization, 2021). Para el límite superior se considerará un IMC de 27 que es ligeramente superior al valor de 25 que establece la OMS como saludable, pero que es más cercano al valor medio de los varones del grupo de edad más avanzado de la encuesta (46 y 55 años), ya que a medida que aumenta la edad el IMC suele aumentar (U.S. Department of Health & Human Services, 2016). El valor de 27 seleccionado para el grupo de edad más avanzada es considerado por la Organización Mundial de la Salud como sobrepeso, no obstante, es bastante inferior al valor para personas con obesidad que se corresponde con un IMC igual o superior a 30.

6.1.1 Simulación de pedaleo

Para determinar el centro de gravedad y la variación de su posición durante la pedalada se ha creado una simulación dinámica en dos dimensiones del movimiento de pedaleo en Matlab.

En primer lugar, es necesario definir las características de la bicicleta. Partiendo de los datos de altura supuestos anteriormente y tomando como referencia los datos medios correspondientes al estudio de mercado realizado, se efectúan unos ajustes en la geometría para adaptarla a las características buscadas; con lo que se obtienen los siguientes datos:

- Reach: 440 mm.
- Stack: 607,9 mm + 13 mm (tapa de la dirección).
- Ángulo de sillín: 76 °, pero es variable con la altura debido a la construcción de la bicicleta.
- Longitud de las bielas: 175 mm.
- Longitud de la potencia: 60 mm.
- Longitud del manillar: 760 mm.

La potencia elegida tiene una altura de 4 cm y una inclinación de -6° con respecto a la normal al eje de la dirección y el manillar tiene un ángulo de 6° alineado con los hombros del ciclista, que es la posición más adecuada para evitar molestias y maximizar la fuerza de los brazos.

A partir de estos datos se pueden determinar dos de los tres puntos en los que el ciclista se unirá con la bicicleta: las manos, el manillar y los pies, en las bielas. El punto de unión restante

6 SIMULACIÓN DEL PEDALEO

es el sillín; para determinar su posición es necesario conocer la inclinación del tubo del sillín y la altura a la que se encuentra, la cual en una primera aproximación se determina a partir de la altura a la entrepierna.

Asimismo, es necesario conocer el porcentaje de la masa de cada segmento corporal con respecto a la masa total, así como la posición del centro de gravedad de cada uno de estos segmentos.

SEGMENTO	MASA	CG	pt.proximal	pt.distal
cabeza y cuello (head & neck)	6.94%	40.27%	gonion medio	vertex
tronco (trunk)	43.46%	43.78%	supraesternal	cadera media
brazo (upper arm)	2.71%	49.81%	art.hombro	art.codo
antebrazo (forearm)	1.62%	45.15%	art.codo	art.muñeca
mano (hand)	0.61%	78.72%	art.muñeca	3° metacarpiano
muslo (thigh)	14.17%	42.41%	art.cadera	art.rodilla
pantorrilla (calf shank)	4.33%	45.54%	art.rodilla	art.tobillo (sphyriom)
pie (foot)	1.37%	44.15%	talón	dedo 1°
cabeza y cuello (head & neck)	6.94%	49.05%	mentón	vertex
tronco (trunk)	43.46%	51.53%	cervical	cadera media
antebrazo (forearm)	1.62%	45.61%	art.codo	stylium
mano (hand)	0.61%	79.45%	stylium	3° metacarpiano
muslo (thigh)	4.33%	44.88%	art.rodilla	malleolo lateral

Figura 51. Ratio de masa y posición del centro de gravedad para los distintos segmentos corporales. Fuente: (Clauser, 1969)

Igualmente, importante es conocer la relación de las longitudes de estos segmentos en función de un parámetro conocido, como es en este caso la altura. (P. Bannier, 2016)

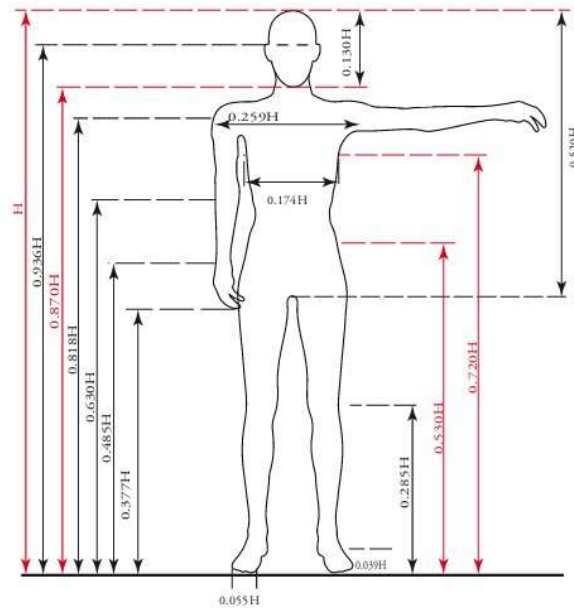


Figura 52. Longitud de los distintos segmentos corporales en función de la altura. Fuente: (P. Bannier, 2016)

A partir de estos datos se puede calcular la masa, la longitud y la posición del centro de gravedad de cualquier segmento del cuerpo de forma paramétrica. Por lo que lo único que se necesita para determinar el centro de gravedad del ciclista es la posición de cada segmento.

6.1.2 Centro de gravedad de la mitad inferior

Las partes correspondientes a la mitad superior se supondrán fijas durante todo el ciclo de pedaleo, mientras que para la mitad inferior se simula el movimiento de las piernas como un mecanismo de 5 barras, en la que los puntos del bastidor son el eje del pedalier y la articulación de la cadera. Las demás barras corresponden al muslo, la parte inferior de la pierna, el tobillo y las bielas.

El movimiento de las bielas es circular con centro en el eje del pedalier y el de los pies viene determinado por el ángulo de inclinación del pedal, que está definido por la siguiente expresión (Castaño Sanz, 2017):

$$\text{Ángulo del pedal} = 20,76 + 22,00 \times \sin(\alpha + 190,00) \quad \text{Siendo } \alpha \text{ el ángulo de giro de la biela}$$

Este ángulo define la inclinación del pedal con respecto a la horizontal por lo que para determinar la articulación del tobillo hay que sumar la altura del tobillo que será siempre perpendicular al ángulo del pedal. Además, hay que tener en cuenta que el pie se une al pedal a la altura de los metatarsos por lo que la distancia hasta el talón se determina a través de la relación de longitudes sacada de la Figura 53. A esta última medida hay que restar la distancia

6 SIMULACIÓN DEL PEDALEO

horizontal que hay desde el talón al centro del tobillo, que es aproximadamente el 16% de la longitud del pie (Ten-Pac).

DIMENSIONES DE MANO Y PIE DE HOMBRES Y MUJERES ADULTOS, EN PULGADAS Y CENTÍMETROS, SEGUN SELECCION DE PERCENTILES											
		I	J	K	L*	M*	N	O	P	Q	R
95	pulg.	8,07	4,63	3,78	9,11	10,95	11,44	8,42	4,16	10,62	2,87
	cm	20,5	11,8	9,6	23,1	27,8	29,1	21,4	10,6	27,0	7,3
5	pulg.	7,00	3,92	3,24	7,89	9,38	9,89	7,18	3,54	9,02	2,40
	cm	17,8	10,0	8,2	20,0	23,8	25,1	18,2	9,0	22,9	6,1

* Perímetro

Diagramas de medición de la mano y el pie:

- Mano:**
 - K:** Ancho de la palma (entre los dedos).
 - L:** Longitud de la palma (desde la base de los dedos hasta la muñeca).
 - M:** Longitud del dedo índice.
 - N:** Longitud de la mano (desde la punta del dedo índice hasta la muñeca).
 - O:** Longitud de la mano (desde la punta del dedo pulgar hasta la muñeca).
- Pie:**
 - P:** Ancho de la base del pie.
 - Q:** Ancho de la base del pie (entre los dedos).
 - R:** Ancho de la base del pie (entre los dedos).
 - N:** Longitud del pie (desde la punta del dedo mayor hasta el talón).
 - O:** Longitud del pie (desde la punta del dedo mayor hasta el talón).

Figura 53. Dimensiones de mano y pie. Fuente: (Clotilde Nogareda Cuixart , 198+)

El punto del metatarso se sitúa 30 mm por encima del pedal, durante todo el ciclo de pedalada, debido a la altura del propio pedal y de la zapatilla.

El punto de articulación de la cadera se sitúa a unos 10 cm sobre sillín y ligeramente adelantado al centro del eje del sillín. La posición del sillín se calcula a través del ángulo de inclinación del tubo del sillín, que varía en función de la altura, y se mide directamente desde el croquis del modelo.

La altura del sillín se calcula en una primera aproximación a través de la fórmula más utilizada para este parámetro:

$$H_{\text{sillín}} = 0,88 \times h_{\text{entrepierna}}$$

El único punto de articulación que queda por establecer es el de la rodilla, que se determina a través de la intersección de la parte superior de la pierna con el muslo. Realizando este mismo proceso con la otra pierna con un desfase de 180° se obtiene lo siguiente:

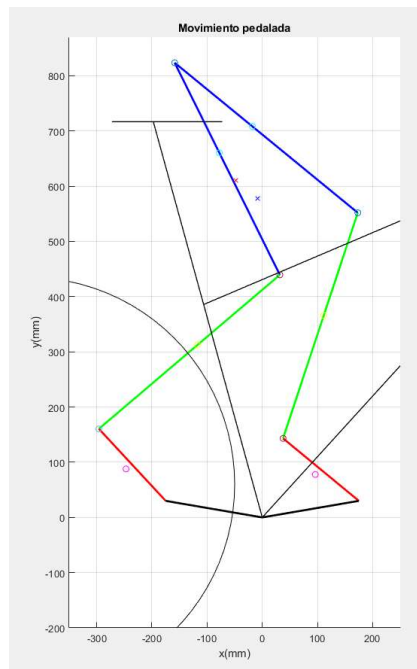


Figura 54. Punto inicial del mecanismo de cinco barras por pierna. Simulación de pedaleo. Fuente: Propia.

Una vez construido el modelo 2D se ha de ajustar en base a criterios biomecánicos. Los puntos del metatarso y del tobillo se asumen como correctos ya que se han obtenido a partir de estudios empíricos. Para que el modelo se ajuste a una pedalada correcta, es decir, que no provoque lesiones y que aproveche la fuerza de los músculos, se ajusta la altura del sillín y el desfase positivo de la articulación de la cadera con respecto al centro del sillín. Posteriormente se ajusta ligeramente la altura y el desfase en el eje x del sillín hasta alcanzar los parámetros biomecánicos adecuados. Es decir, una máxima extensión de rodilla entre 30° y 40° cuando la biela está alineada con el pedal (Ventura Ferrer-Roca, 2012) y que cuando la biela esta horizontal, la rodilla más adelantada no sobrepase la línea vertical del eje del pedal (Rodrigo Rico Bini, 2013).

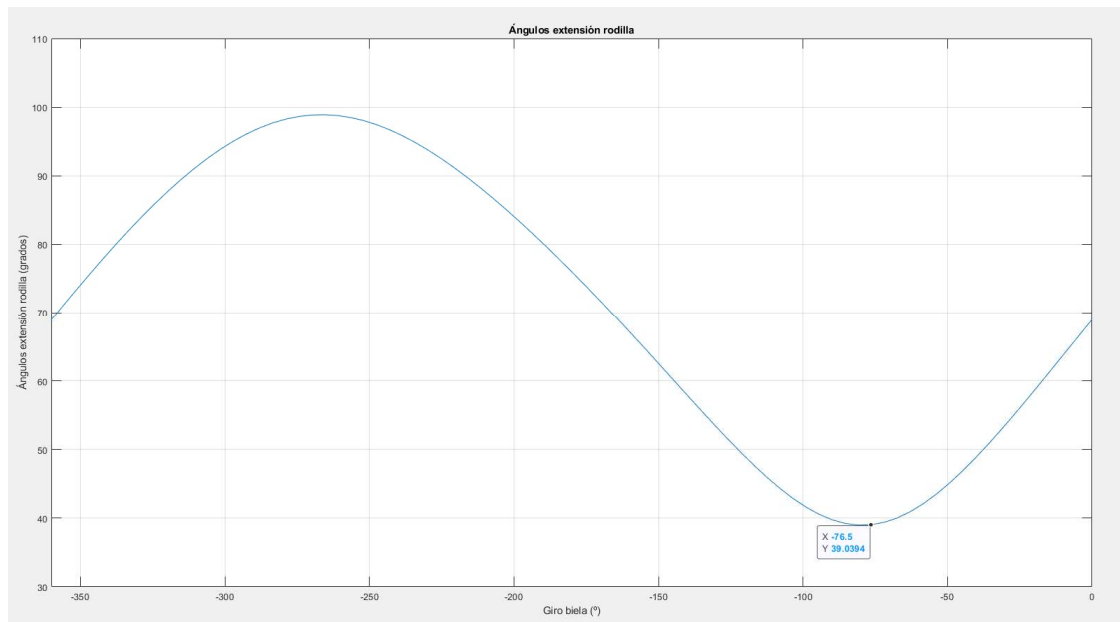


Figura 55. Representación del ángulo de extensión de la rodilla durante un ciclo de pedaleo. Fuente: Propia.

Como se observa, en el punto de máxima extensión (cuando el pedal está alineado con el ángulo del sillín) el ángulo de extensión de la rodilla es 39° que entra dentro de los parámetros recomendados. Además, está cerca del límite superior, que es en el que la rodilla está menos extendida y el cuerpo más bajo, lo que es especialmente interesante en el monuntain bike ya que implica una menor altura del sillín, y esto facilita colocar el cuerpo detrás del sillín y moverse en torno a este, a la vez que permite una postura ligeramente más baja que mejora la estabilidad por bajar el centro de gravedad.

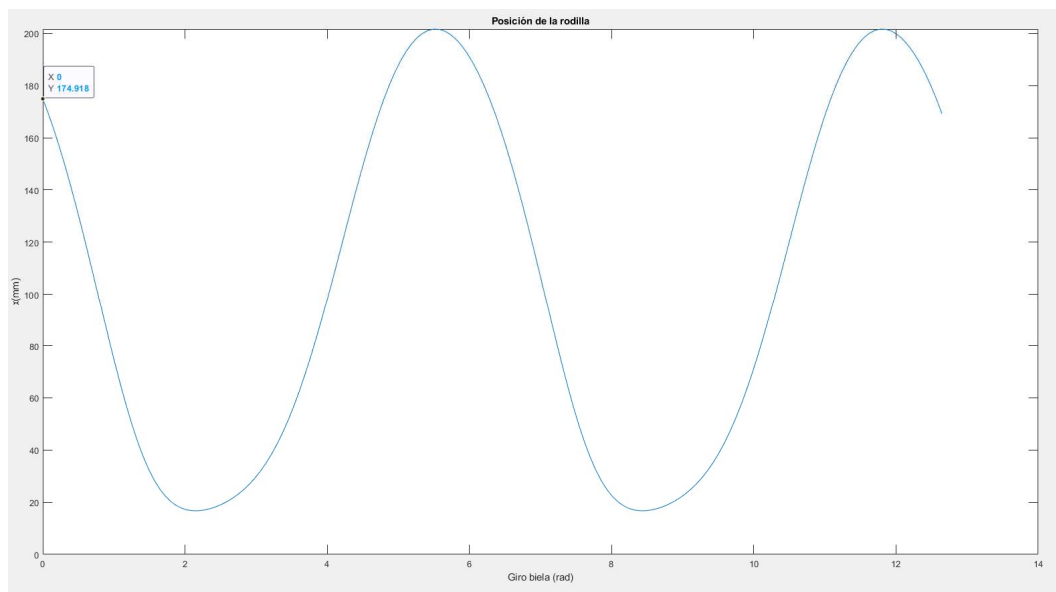


Figura 56. Avance de la rodilla durante el ciclo de pedalada. Fuente: Propia.

Como se ve en la Figura 56, el avance de la rodilla coincide con los valores requeridos. Por tanto, se puede decir que el modelo está correctamente ajustado. La rodilla delantera está alineada con el eje del pedal cuando la biela delantera está en posición horizontal.

Con todo esto se obtienen las posiciones de la mitad inferior que se muestran en la Tabla 18. Principales datos de la posición de los ciclistas Tabla 18. Como se observa la posición para todos los ciclistas puede considerarse correcta según los requisitos biomecánicos expuestos anteriormente.

Altura (cm)	Altura sillín (mm)	Ángulo sillín (mm)	Cadera x (mm)	Cadera y (mm)	Ángulo rodilla (°)	Avance rodilla (mm)
170	722,2	74,9	-147,6	800,9	35,7	174,2
175	743,4	74,6	-158,7	823,5	37,7	173,0
180	764,6	74,5	-167,3	846,6	39,1	173,4

Tabla 18. Principales datos de la posición de los ciclistas

El punto de referencia para todas las cotas es el eje del pedalier.

6.1.3 Mitad superior

Para la mitad superior se realiza un proceso similar al anterior. En este caso se parte desde la articulación de la cadera. Se busca una posición en la que la espalda este lo más erguida posible, ya que esta postura evita molestias en la espalda, que es un factor determinante en pruebas de maratón. Para el cálculo de la posición se ha supuesto que no se utilizan espaciadores para elevar la potencia, por lo que la posición de las manos será lo más baja posible.

Para esta postura se ha buscado que el ciclista esté con los brazos casi estirados al completo. En primer lugar, se determina la distancia a la que está el manillar a través del reach, las dimensiones de la potencia y las dimensiones del manillar. Una vez determinado esto se asume que la distancia del manillar a la muñeca es la distancia de los nudillos a la muñeca, la cual se determina a través de los parámetros de la Figura 53. También se supone que la mano está alineada con el antebrazo y que por tanto sigue la línea que une el manillar y el codo. Esta postura es la menos lesiva para las muñecas y permite un buen agarre y control del manillar.

Otro factor a tener en cuenta es que los brazos no son paralelos al plano vertical longitudinal de la bici, por lo que su longitud no es la indicada en la Figura 52, sino que estará afectada

por un coeficiente. El coeficiente que se aplica depende de la anchura del manillar y la de los hombros, que varía con la altura. Como en la Figura 52 no aparece marcada esta medida como tal, se escoge la media entre la distancia del ancho de hombros y el ancho de espalda.

$$Coeficiente_{brazos} = 1 - \text{seno}\left(\frac{L_{manillar} - \frac{Ancho_{espalda} + Ancho_{hombros}}{2} - Ancho_{mano}}{L_{brazo} + L_{antebrazo} + L_{mano} \times 9,6/20,5}\right)$$

Para el cuello y la cabeza se supone un ángulo de 70° con la horizontal. Con este ángulo se pretende emular la posición que llevaría un ciclista que con la visión adelantada unos cuantos metros sobre la rueda delantera.

6.1.4 Localización del centro de gravedad

Una vez esté el modelo ajustado se obtiene la posición del centro de gravedad para las distintas alturas de los ciclistas que podrán usar este cuadro. Se considera que el ciclista pedalea en todo momento sentado sobre el sillín, que es la forma en la que se pedalea la mayor parte del tiempo. La posición global calculada es la media a lo largo de todo el ciclo de pedalada, y ha sido obtenida a partir de la media de todas y cada una de las posiciones de las piernas durante el ciclo de pedaleo.

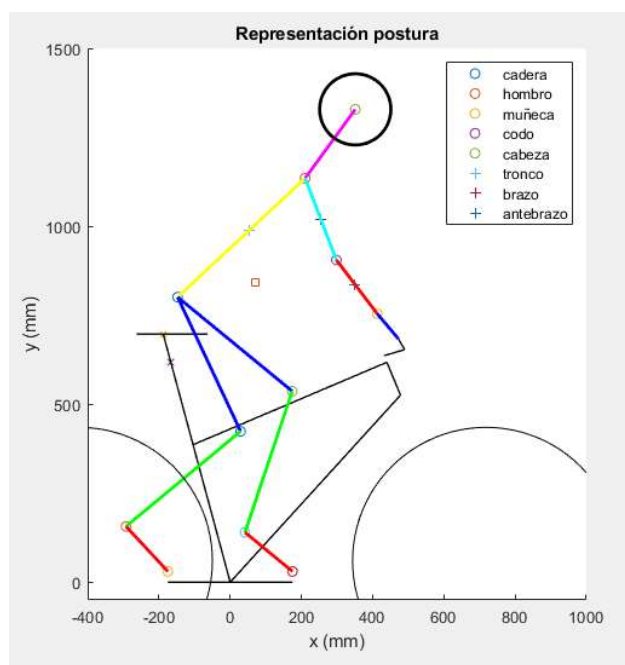


Figura 57. Postura del ciclista simulado. Fuente: Propia.

A continuación, se muestra una tabla con la posición del centro de gravedad del ciclista y el peso de este para las tres alturas elegidas. El peso se ha determinado a través de la fórmula

del índice de masa corporal. A esta masa obtenida se la suman 2 kg de equipamiento (zapatillas, culote, mallot y casco).

$$IMC = peso/h^2$$

Altura	IMC	Masa (kg)	Masa equipado (kg)	X _{cdg} (mm)	Y _{cdg} (mm)
1700	18,5	53,46	55,46	69,73	843,75
1750	23	71,25	73,25	66,82	863,2
1800	27	87,48	89,48	66,21	884,07

Tabla 19. Datos del centro de gravedad para las diferentes alturas.

6.2 Estimación del centro de gravedad de la bicicleta

El centro de gravedad de la bicicleta se ha calculado a partir de los datos de los componentes de los datos del fabricante Canyon que ofrece para su modelo Lux CF 7, además de los datos de los componentes que monta, los cuales aparecen descritos en su web. El fabricante asegura que la bicicleta tiene un peso de 11,78 kg sin pedales. Para estimar el centro de gravedad buscamos en las fichas de cada componente su peso. Como los valores de la suma de todo el material no coinciden con el peso de la bicicleta se ha aplicado un coeficiente de mayoración para igualar el peso al marcado por Canyon.

Una vez están todos los pesos corregidos se procede a localizar los componentes en función de los distintos parámetros geométricos con el fin de crear un modelo paramétrico que encaje con el diseño final de la bicicleta.

La localización del centro de gravedad de los componentes depende de la geometría de la bicicleta. Hay componentes como las ruedas, los neumáticos, el casete y los discos de freno cuyo centro de gravedad es fácil de estimar, ya que coincide con el centro de las ruedas mientras que otros requieren de suposiciones. Los componentes como la potencia y el manillar se determinan a través del reach y stack y de las medidas de estos componentes. Las manetas y todos los mandos están situadas en el mismo punto que el manillar. El centro de gravedad de las bielas, los pedales y el plato se localiza en el eje de pedalier. La posición para la tija y el sillín se calculan a través de la inclinación del tubo del sillín y de la longitud que se asume para estos componentes. Por simplificar, se supone que las pinzas de freno están situadas cerca del eje de las ruedas. El centro de gravedad de la horquilla se supone entre el eje de la rueda delantera y el punto de reach y Stack. Por último, el centro de gravedad

6 SIMULACIÓN DEL PEDALEO

del cuadro se ha supuesto a un sexto de la distancia entre el pedalier y el eje de la rueda delantera y a un cuarto de altura del tubo del sillín. Con todo esto se ha obtenido lo siguiente.

Se supone que la bicicleta diseñada tiene un peso de 12 kg. El punto de referencia sobre el que se han medido las distancias está 300 mm por debajo del eje del pedalier y 300 mm más retrasado.

	Masa (g)	Ratio	Masa Modelo (kg)	Posición x (mm)	Posición y (mm)
Total	11780	1,012	12,00		
Cuadro	2500	0,215	2,578	418,2	402,6
Manillar	343	0,029	0,354	800,0	922,9
Potencia	140	0,012	0,144	770,0	922,9
Puños	50	0,004	0,052	800,0	922,9
Mandos	317	0,027	0,327	800,0	902,9
Horquilla	1644	0,141	1,695	874,5	599,0
Desviador	284	0,024	0,293	-125,0	310,0
Casete	470	0,040	0,485	-125,0	360,0
Cadena	252	0,022	0,260	87,5	280,0
Bielas	620	0,053	0,639	300,0	300,0
Pedales	342	0,029	0,353	300,0	300,0
Tija	396	0,034	0,408	151,2	855,4
Sillín	235	0,020	0,242	108,6	1014,2
Rueda delantera	791	0,068	0,816	1009,0	360,0
Rueda trasera	889	0,076	0,917	-125,0	360,0
Neumático delantero	711	0,061	0,733	1009,0	360,0
Neumático trasero	711	0,061	0,733	-125,0	360,0
Disco de freno delantero	154	0,013	0,159	1009,0	360,0
Disco de freno trasero	135	0,012	0,139	-125,0	360,0
Pinza de freno delantera	292	0,025	0,301	1009,0	360,0
Pinza de freno trasera	292	0,025	0,301	-125,0	360,0
Pedalier	68	0,006	0,070	300,0	300,0

Tabla 20. Centro de gravedad de los componentes.

Con estos datos y aplicando el teorema de Steiner se obtiene que la posición del centro de gravedad de la bicicleta con respecto al eje del pedalier es la que figura en la siguiente tabla:

Centro de gravedad de la bicicleta	
Posición x (mm)	146,3

Posición y (mm)	165,3
Masa (kg)	12,000

Tabla 21. Centro de gravedad de la bicicleta

Procediendo de igual modo, pero despreciando los elementos no suspendidos (ruedas, neumáticas, discos de freno, casete...) se obtiene lo siguiente para la masa suspendida. Estos se utilizarán para calcular el centro de gravedad de la masa suspendida del conjunto ciclista-bicicleta.

Centro de gravedad de masa suspendida (bicicleta)	
Posición x (mm)	233,9
Posición y (mm)	249,3
Masa (kg)	6,863

Tabla 22. Centro de gravedad de la masa suspendida de la bicicleta.

6.3 Centro de gravedad conjunto ciclista-bicicleta

La posición del centro de gravedad del conjunto ciclista-bicicleta es uno de los parámetros más importantes a la hora de diseñar el sistema de suspensión. Parámetros como el anti-squat o el anti-rise tienen una gran dependencia respecto a la posición del centro de gravedad. Por esta razón se determina el centro de gravedad del conjunto para el ciclista del límite inferior de altura y peso, el intermedio y el del límite superior aplicando nuevamente el teorema de Steiner, con lo que se obtiene lo siguiente:

Altura (mm)	Masa conjunto (kg)	X_{cdg} (mm)	Y_{cdg} (mm)
1700	67,47	83,35	723,07
1760	84,44	78,12	764,02
1800	101,48	75,68	799,08

Figura 58. Centro de gravedad conjunto ciclista-bicicleta

Con estos datos y sabiendo que la rueda trasera se encuentra a 425 mm del punto de referencia y que la rueda delantera se encuentra a 718,7mm; el reparto de pesos en cada eje es el siguiente:

Altura	% Peso delante	% Peso detrás
1700	45,1	54,9
1760	44,9	55,1
1800	44,8	55,2

Tabla 23. Reparto de pesos entre el eje delantero y el trasero

Como puede observarse, el reparto de pesos está muy equilibrado. Esto va a ayudar a la estabilidad general de la bicicleta. Con un reparto de pesos tan equilibrado se consigue que la bicicleta no tienda a despegar la rueda delantera del suelo en subidas muy inclinadas a pesar de que la rueda delantera esté bastante adelantada y la posición de conducción sea relativamente alta (la horquilla es 20 mm más larga que una horquilla convencional); aunque esto depende de la pendiente y la fuerza que se haga al pedalear. Además, con ligeros cambios en la posición durante las bajadas se conseguirá el agarre ideal en cada rueda.

6.3.1 Centro de gravedad de la masa suspendida

Con la masa suspendida de la bicicleta se puede determinar junto con el ciclista, el centro de gravedad de la masa suspendida global y su valor. A través de esto se consigue determinar el reparto de pesos entre la parte posterior y frontal para así determinar la rigidez de las suspensiones en el punto de sag y con ello las deformaciones aproximadas que sufrirá la bicicleta frente a diferentes perturbaciones.

La rigidez en este punto se calcula a través del amortiguador para cada uno de los ciclistas. Se calcula la fuerza promedio en la rueda de los valores que están 10 mm por encima y por debajo del punto de sag y se divide entre el recorrido, en este caso 20 mm. Con esto se obtienen las siguientes rigideces.

En bicicletas de este recorrido el sag suele ser de aproximadamente el 25% y el 30% por lo que para una suspensión de 120 mm el recorrido trasero consumido es entre 30 mm y 36 mm.

Altura	x (mm)	y (mm)	Masa (kg)	Peso delante (kgf)	Peso detrás (kgf)	Rigidez trasera (N/m)
1700	87,81	778,29	62,33	27,95	34,38	15969,3
1750	81,26	810,6	79,30	35,10	44,20	20514,5
1800	78,15	838,84	96,34	42,39	42,39	25059,6

Tabla 24. Centro de gravedad y rigidez trasera de la masa suspendida.

A partir de la rigidez trasera se determina el movimiento de la suspensión trasera mientras se pedalea. El movimiento de la suspensión debido al pedaleo tiene varias causas:

- Variación del centro de gravedad de la masa no suspendida: tanto en el eje x como en el eje y, es debido al movimiento de las distintas partes del cuerpo durante el pedaleo.
- Fuerzas de pedaleo: la variación de la fuerza de pedaleo en función del punto de la biela en el que se encuentra provoca unas fuerzas inerciales que producen una transferencia de pesos entre los ejes delantero y trasero, comprimiendo y extendiendo la suspensión.
- Anti-Squat: utiliza la fuerza de extensión de la cadena para contrarrestar las fuerzas inerciales que provocan la compresión del amortiguador.

6.3.2 Variación de la posición del centro de gravedad

En este apartado se tendrá en cuenta la masa suspendida ya que será la que haga que el amortiguador se comprima o extienda debido a las fuerzas inerciales. Los elementos no suspendidos no tendrán ningún efecto sobre la suspensión.

Con las suposiciones que se han hecho, la variación del centro de gravedad viene determinada por el movimiento de las piernas durante el ciclo de pedalada. Con el fin de analizar mejor las perturbaciones se estudiarán por separado las verticales y las horizontales. Para ello se aplica el teorema de Steiner en cada punto del ciclo de pedalada, aplicándolo según corresponda a los distintos segmentos corporales y a la bicicleta.

Variación del centro de gravedad en vertical

En primer lugar, se calcula la variación del centro de gravedad de cada pierna por separado aplicando el teorema de Steiner para los elementos que componen cada pierna en cada uno de los distintos puntos. Posteriormente se vuelve a aplicar este teorema para obtener el centro de gravedad de ambas piernas. Con lo mencionado anteriormente se obtiene lo siguiente.

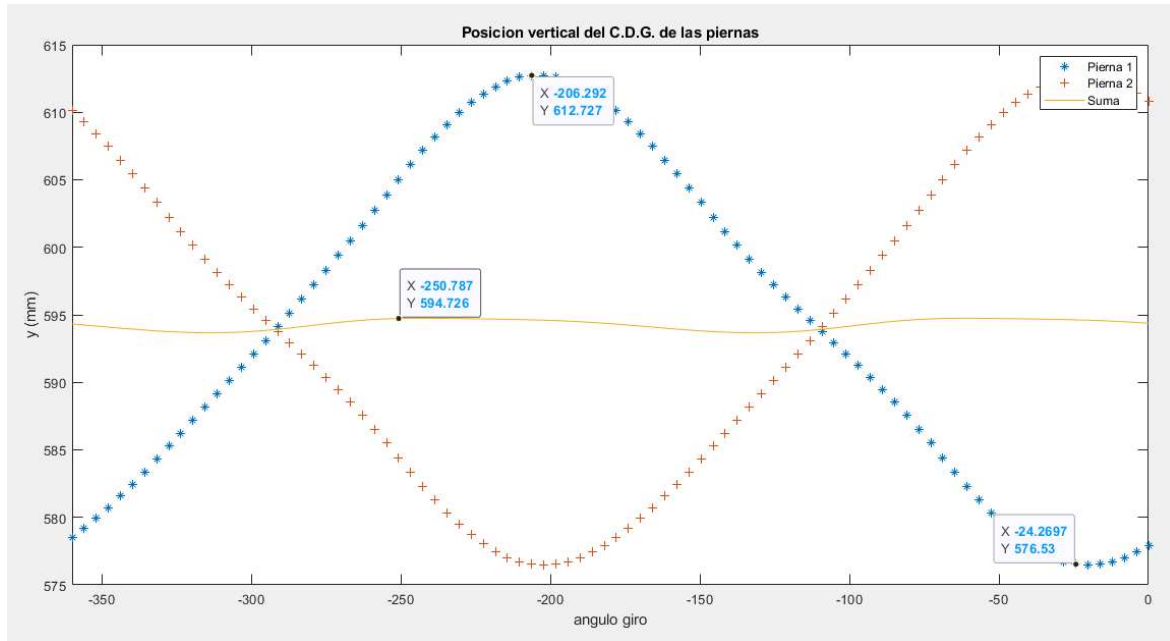


Figura 59. Variación de la posición vertical del centro de gravedad de las piernas. Fuente: Propia.

Como se observa en este modelo teórico, ambas piernas tienen variaciones de la posición vertical del centro de gravedad muy similares a una función armónica (senoidal) y con signo opuesto, lo que hace que la suma de ellas tenga una magnitud mucho menor. Mientras la variación del centro de gravedad de cada pierna tiene una amplitud de unos 36 mm, la variación de la suma apenas llega al milímetro, por lo que el movimiento vertical del centro de gravedad tendrá una baja influencia sobre el amortiguador.

Con el fin de tener una aproximación numérica de las fuerzas producidas por este desplazamiento vertical, se analiza el movimiento vertical de la masa suspendida. Para ello se determina el centro de gravedad de la masa suspendida en cada punto. Una vez se ha determinado, se puede calcular la velocidad y la aceleración vertical del centro de gravedad, suponiendo que se pedalea a un ritmo constante de $w=80$ rpm y dividiendo el ciclo de pedalada en “n” segmentos. Y a partir de estos la fuerza que ejercen sobre la rueda trasera.

$$vy_{CDG\ MS}(i) = \frac{(y_{CDG\ global}(i) - y_{CDG\ global}(i-1))}{(2\pi/n \times w)}$$

$$ay_{CDG\ MS}(i) = \frac{(vy_{CDG\ global}(i) - vy_{CDG\ global}(i-1))}{(2\pi/n \times w)}$$

$$F_y(i) = M_{suspendida} \times ay_{CDG\ MS}(i)$$

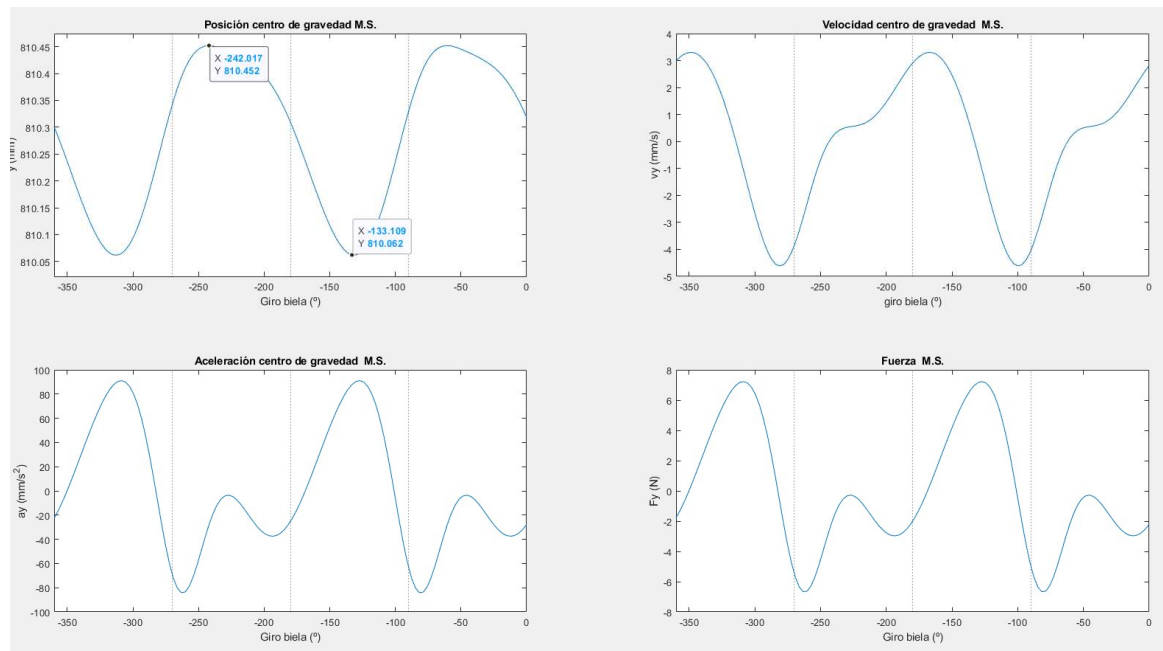


Figura 60. Variación de la posición, velocidad, aceleración y fuerza de la masa suspendida. Fuente: Propia.

Como se ve en la figura la aceleración máxima no llega a los 100 mm/s² y la fuerza total varía entre 7,21 N y -6,65 N. Por ello se puede asumir que al menos en este modelo teórico la influencia de la variación vertical del CDG de la masa suspendida sobre el amortiguador será muy baja.

Suponiendo que el sistema se comporta como una viga apoyada y que la fuerza actúa sobre el centro de gravedad, la compresión de la suspensión trasera debida a esta fuerza es la siguiente:

$$Desplazamiento_y = \frac{F_y \times (Distancia_{Rueda\ del - x_{CDG}})}{Batalla \times Rigidez_{trasera}}$$

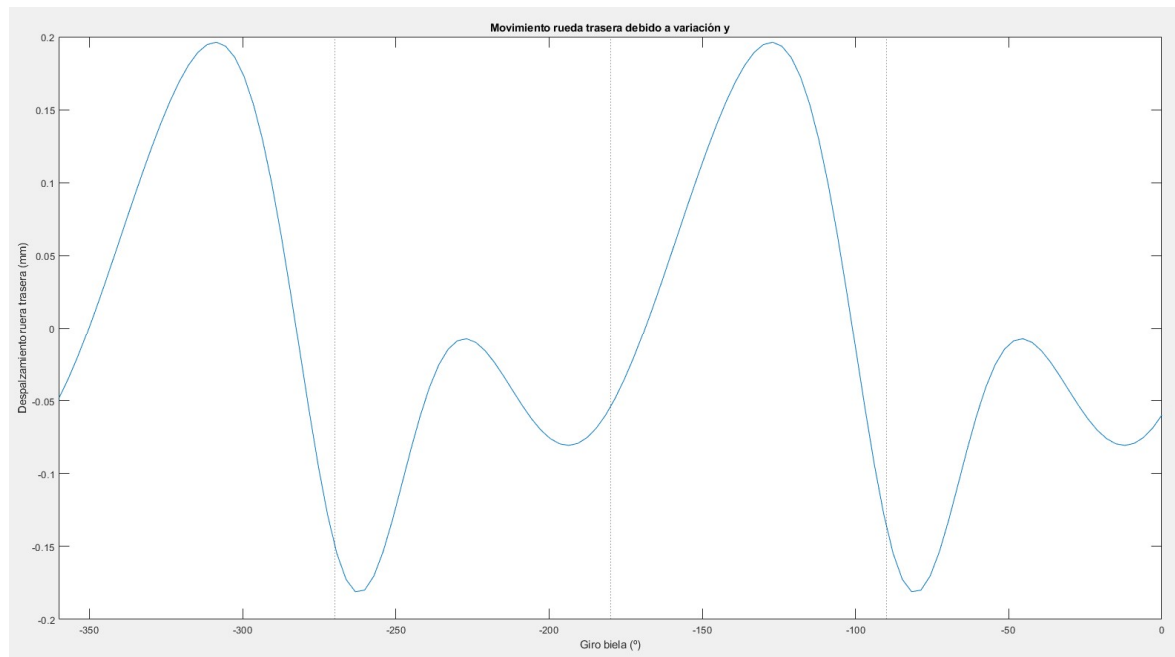


Figura 61. Movimiento de la rueda trasera debido a al movimiento vertical del centro de gravedad.
Fuente: Propia.

Como se ve en el gráfico la variación no llega al medio milímetro de amplitud, por lo que, al menos en esta simulación basada en conceptos teóricos, se puede llegar a considerar despreciable.

Variación del centro de gravedad horizontal

Se procede de forma análoga, solo que ahora se calcula la influencia que tiene la variación de la posición horizontal del centro de gravedad de las piernas. Nuevamente se vuelve a calcular como varía la posición horizontal del centro de gravedad de cada pierna y la variación del centro de gravedad de ambas piernas a la vez.

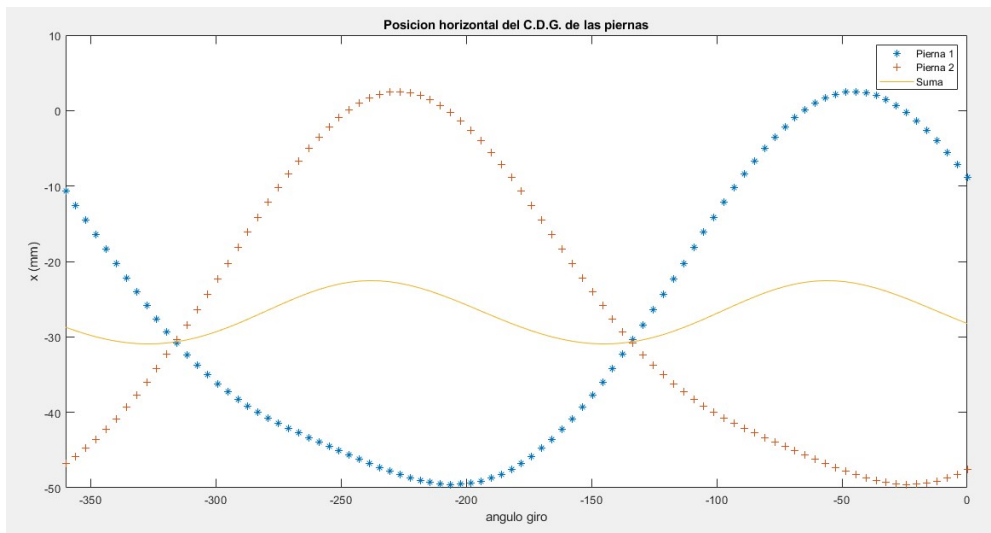


Figura 62. Variación de la posición vertical del centro de gravedad de las piernas. Fuente: Propia.

Como ocurría con el desplazamiento vertical, el desplazamiento horizontal de una pierna tiene una forma similar a una función seno, al menos en la mitad de la curva; mientras que en la otra mitad la curva se aleja más de esa forma senoidal, lo que hace que el movimiento de una pierna no compense el movimiento de la otra, tanto como en el apartado anterior, Todo esto da como resultado un desplazamiento horizontal del centro de gravedad mayor que el vertical. La amplitud del movimiento de la suma de ambas piernas es de 7,7 mm, unas 8 veces mayor que la del movimiento vertical.

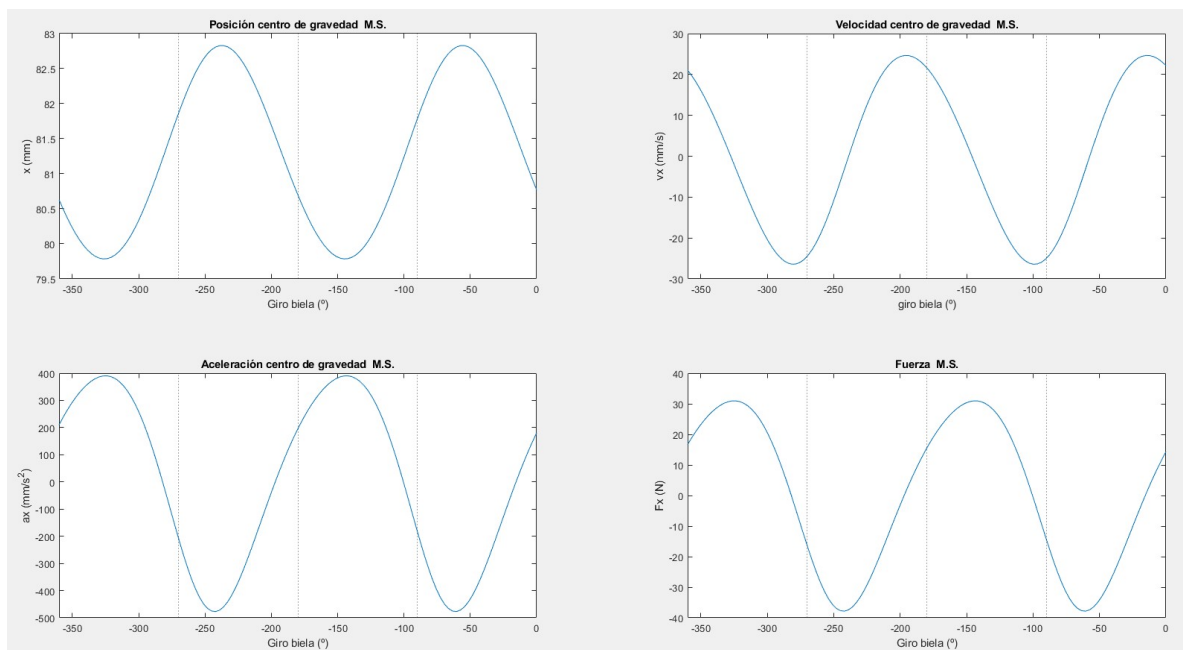


Figura 63. Variación de la posición, velocidad, aceleración y fuerza de la masa suspendida. Fuente: Propia.

Igual que en el apartado anterior se analiza el movimiento del centro de gravedad de la masa suspendida obteniendo la velocidad y la aceleración horizontal del centro de gravedad. Obteniéndose una aceleración que varía entre 390 y -475 mm/s². Notablemente superior a la a la aceleración vertical. En esta casa la fuerza horizontal tiene una amplitud de 68,6 N.

En este caso el desplazamiento de la rueda trasera será producido por una transferencia de peso. Para determinarla se utiliza la siguiente fórmula, en la que la altura es la del CDG de masa suspendida menos la caída del pedalier, ya que esta es la distancia vertical a la línea que une los ejes de las ruedas.

$$Desplazamiento_x = \frac{Masa_{suspendida} \times (y_{CDG} - caída_{pedalier} - SAG) \times a_{x_{CDG}}}{Rigidez_{trasera}}$$

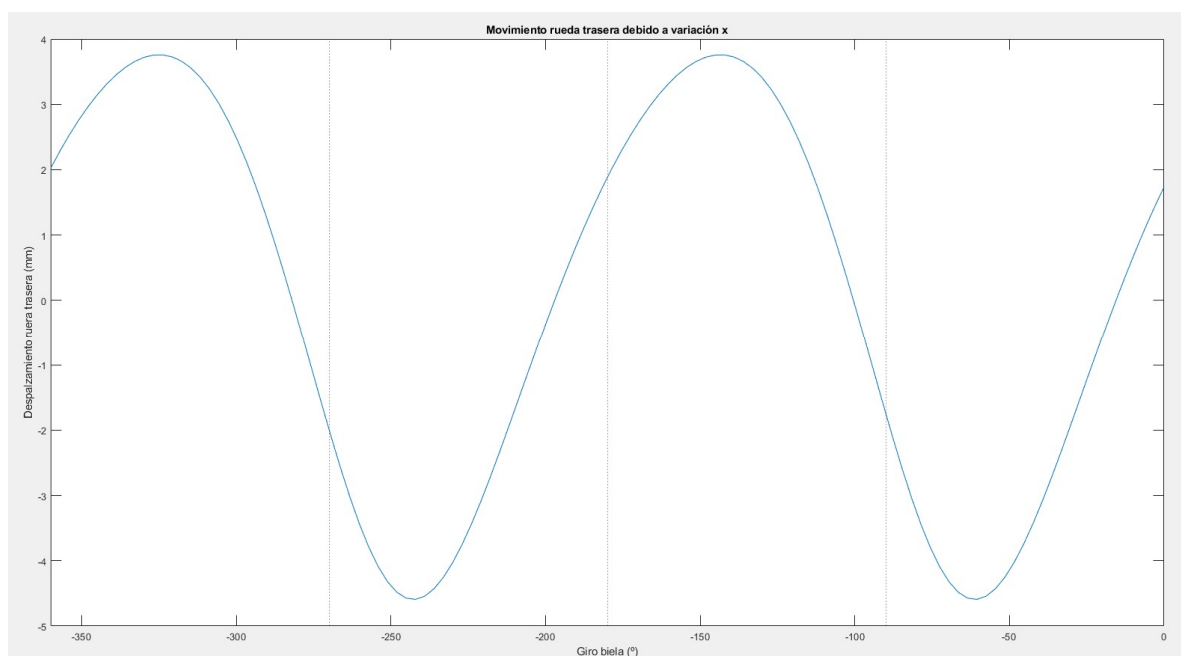


Figura 64. Movimiento de la rueda trasera debido a al movimiento horizontal del centro de gravedad.
Fuente: Propia.

Como resultado de esta perturbación la rueda trasera se desplaza un total de 8,35 mm, lo que equivale a un 6,95% del recorrido total. Al igual que en el caso del desplazamiento debido al movimiento vertical, la influencia es baja, por lo que no supondrá un gran problema.

Combinación de ambos movimientos

El resultado total de la combinación de ambas fuerzas se expone a continuación: se observa que la suma de una sobre otra provoca una ampliación del desplazamiento de la rueda trasera, es decir, una no compensa el efecto de la otra. Esto puede hacer que si sobre el

campo, cada uno de estos valores es de relativa importancia, el efecto de estos movimientos llegue a afectar a la suspensión. No obstante, para todos estos cálculos se ha obviado el amortiguamiento, que disminuiría los efectos de cualquier movimiento de la suspensión.

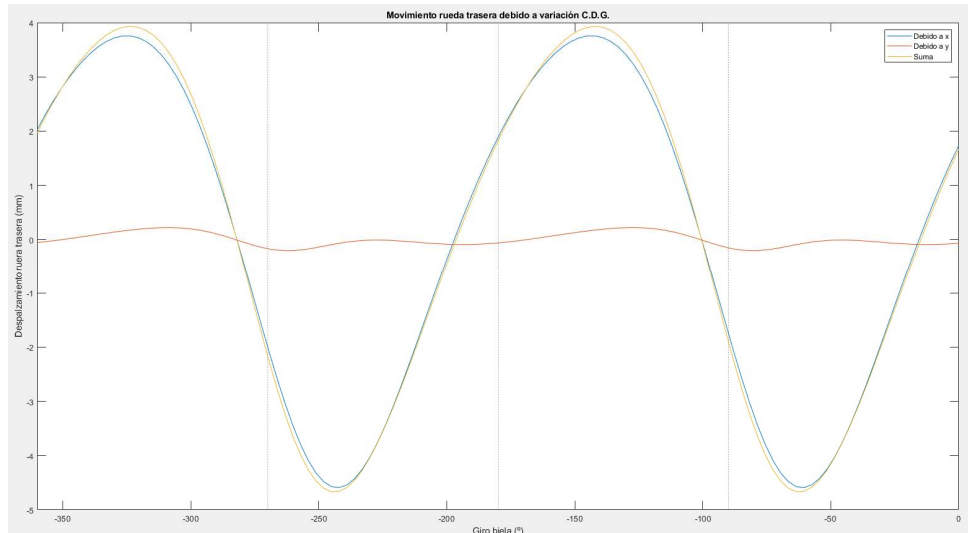


Figura 65. Acción del centro de gravedad sobre la suspensión trasera. Fuente: Propia.

6.4 Fuerzas de pedaleo

Las fuerzas de pedaleo afectan al sistema de suspensión porque por la propia mecánica de la pedalada, la fuerza ejercida no es constante. Las variaciones de la fuerza de pedalada provocan una variación en la aceleración longitudinal, que sumado a la sensibilidad de la suspensión y al elevado centro de gravedad, dan lugar a un movimiento de compresión y extensión del sistema de suspensión.

La fuerza que ejerce una pierna durante el movimiento de pedaleo es la suma de dos acciones: una muscular y otra no muscular. La parte muscular es la debida a la contracción de los músculos y si se realiza de forma adecuada, actúa tanto en el ciclo de bajada como en el de subida. La parte no muscular está relacionada con el peso de las piernas. En la fase de bajada el peso de las piernas ayuda a producir fuerza, mientras que en el movimiento de subida se convierte en un lastre.

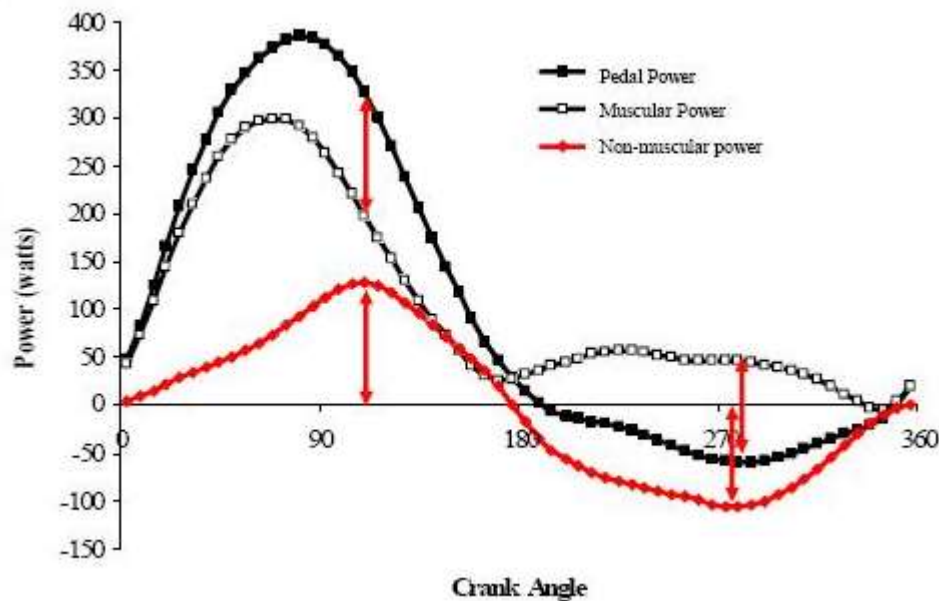
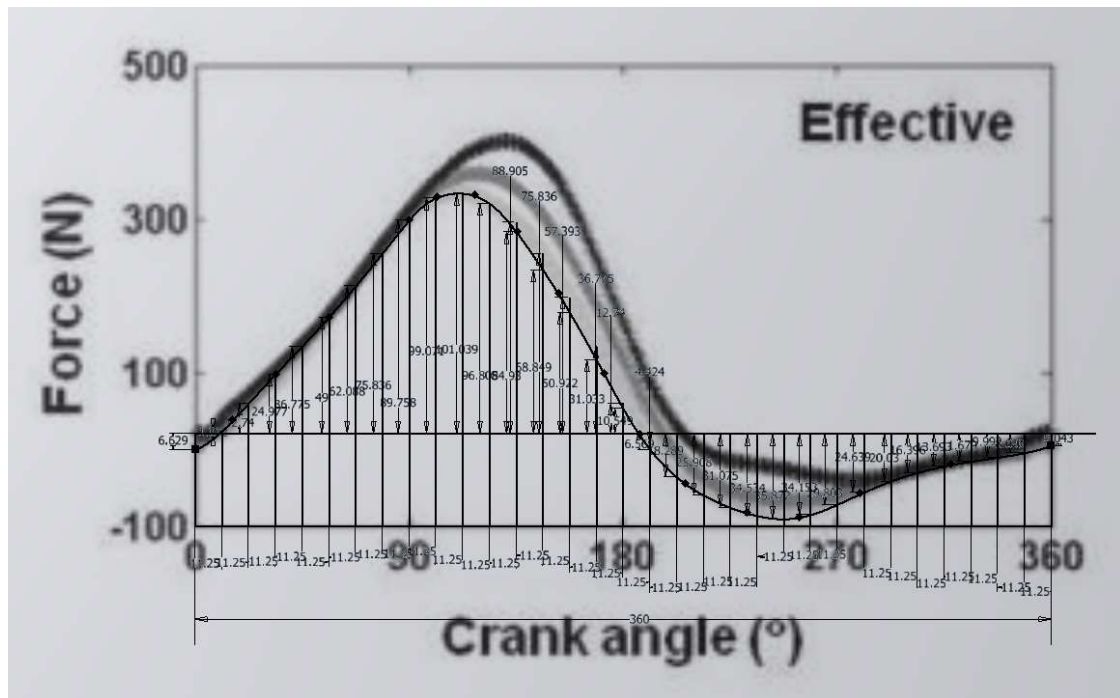


Figura 66. Potencia producida por una pierna durante un ciclo de pedaleo. Fuente: (Martin, 2010)

Por suerte, la fuerza de pedaleo no la genera una sola pierna, sino que es fruto del trabajo de ambas piernas y al estar las bielas desfasadas 180° se compensan y la pierna que baja ayuda a subir a la otra.

Con el fin de analizar la fuerza de pedaleo generada por ambas fuerzas, se discretiza la de la fuerza ejercida por una pierna durante un ciclo de pedaleo (Korff, 2007). Se divide la curva de fuerza ejercida por una pierna en 32 segmentos de idéntica longitud y se mide la altura de la curva en cada segmento de modo que se obtienen los valores de las ordenadas y las abscisas.



6 SIMULACIÓN DEL PEDALEO

La fuerza ejercida sobre los pedales se relaciona sobre la potencia de forma directa, por ello se puede graficar esta potencia con la misma función senoidal. En la imagen superior se ha tomado el punto en el que las bielas están en vertical como punto inicial, mientras que en el modelo de Matlab se considera que el punto inicial es cuando las bielas están en horizontal, por lo que existe un desfase de 90° entre ambas gráficas.

Para ver como varía la fuerza de pedaleo a lo largo del ciclo se ha ajustado la función senoidal para obtener distintas curvas de potencia en función de la diferencia de potencia que existe entre valor máximo y el mínimo durante el ciclo de pedaleo. Se elije crear las gráficas en función de este parámetro porque está relacionado directamente con las fuerzas inerciales que comprimirán y extenderán la suspensión.

Para simplificar se ha supuesto que las gráficas tendrán la misma fase independientemente y que la fuerza negativa del ciclo de subida crece en la misma proporción que la fuerza de bajada. Todo esto da como resultado la siguiente gráfica.

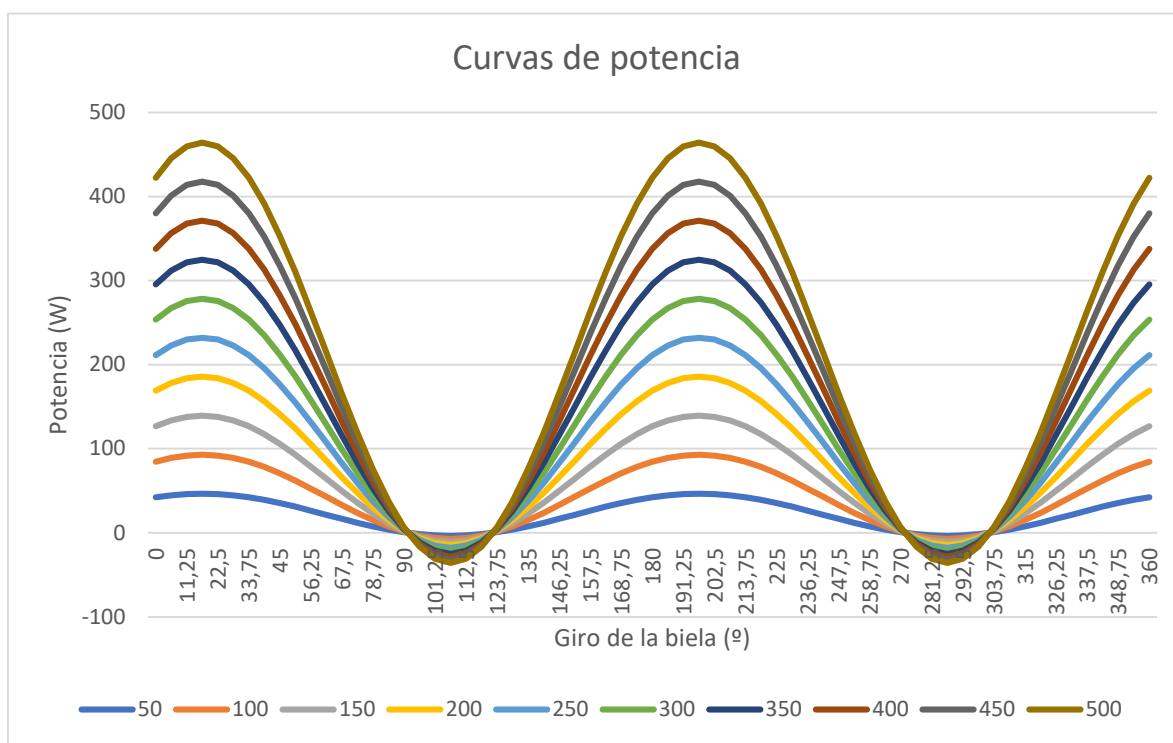


Figura 69. Potencia durante el ciclo de pedaleo para distintas amplitudes. Fuente: Propia.

6.4.1 Desplazamiento debido a las fuerzas de pedaleo

A partir de lo comentado anteriormente se calcula el desplazamiento que producen estas fuerzas de pedaleo sobre la rueda trasera a partir de la diferencia de potencia, sabiendo que esta tiene la siguiente forma:

$$Potencia(i) = \frac{Dif_{Potencia}}{2} \times \text{seno}(2 \times \alpha(i) + 33,75) + Dif_{Potencia} \times \frac{37,13}{86,56}$$

Esta potencia es la encargada de mover la bicicleta y pasa desde los pedales al casete, que es el encargado de mover la rueda trasera, que es la que impulsa la bicicleta. Por tanto, al haber un elemento de transmisión entre el punto donde se ejerce la potencia y el punto donde se aplica, la relación de giro entre estos elementos tendrá una gran influencia en el resultado final. Así mismo el diámetro de la rueda también tendrá una cierta influencia, pero proporcionalmente, la variación es más pequeña. Por último, la velocidad angular de las bielas también influirá en el resultado; en este caso se supone que las bielas giran a 80 rpm. Con todo esto la aceleración que sufrirá el centro de masas puede calcularse como:

$$a_{pedaleo}(i) = \frac{Potencia(i)}{Masa_{suspendida} \times \frac{\text{tamaño plato}}{\text{tamaño piñon}} \times w_{bielas} \times Radio_{neumático}}$$

Esta aceleración es la responsable de la transferencia de peso, lo que da como resultado que el peso sobre los ejes varíe constantemente la variación de carga sobre la rueda trasera:

$$Fuerza_{trasera} = \frac{Masa_{suspendida} \times (y_{CDG} - caída_{pedalier} - SAG) \times a_{pedaleo}(i)}{batalla}$$

Y por tanto el desplazamiento de la rueda trasera debido a las fuerzas de pedaleo es:

$$Desplazamiento_{Potencia} = -Fuerza_{trasera} / Rigidez_{trasera}$$

Finalmente, el desplazamiento de la rueda trasera para un ciclista de 175 cm de altura y una diferencia de potencia durante el ciclo de pedaleo es de 350 W. Con esta diferencia de potencia se obtiene un valor medio para el ciclo de pedaleo de 150 W, que es una potencia al alcance de cualquier ciclista sin llegar a ser una potencia demasiado baja. También se ha elegido un plato de 32 dientes y un piñón de 24 dientes, ya que es la relación de transmisión más cercana a la media para un casete 10-52.

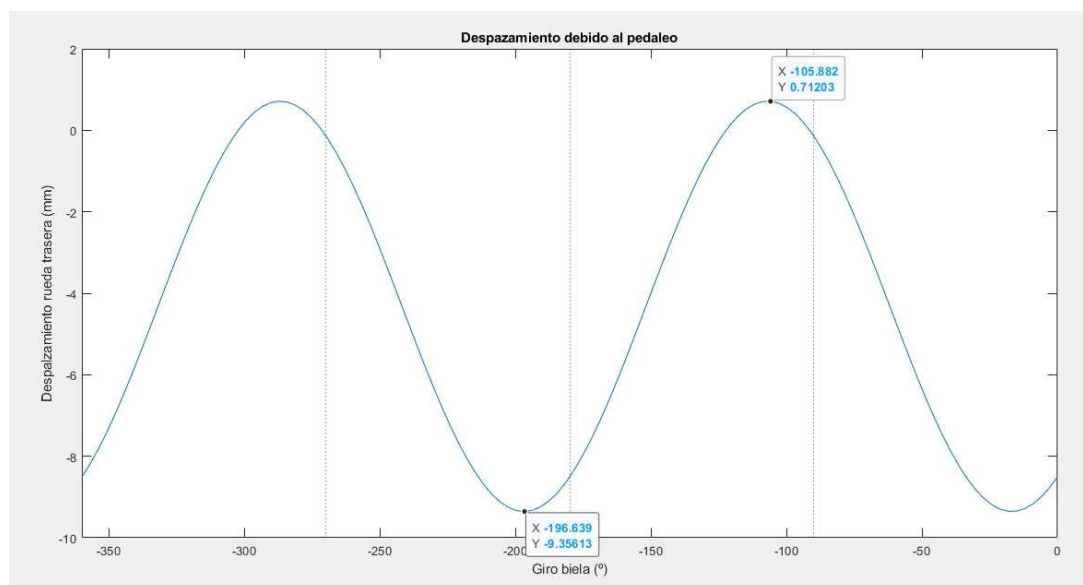


Figura 70. Desplazamiento de la rueda debido a las fuerzas de pedaleo. Fuente: Propia.

Se puede observar que este ciclo produce una fuerza de compresión durante la mayor parte del ciclo, llegando a comprimir en el punto máximo algo más de 5 mm. Por su parte, la extensión máxima no llega al milímetro.

6.4.2 Anti-Squat

Como se comentó anteriormente el anti-squat mide en tanto por ciento la compensación de la fuerza de la cadena sobre las fuerzas de inercia producidas como consecuencia de la variación de potencia durante el ciclo de pedaleo, de modo que un anti-squat del 0% no compensa la fuerza inercial (Figura 70), mientras que un anti-squat del 100% la compensa totalmente. Así mismo, cuando el anti-squat es superior al 100% no solo compensa las fuerzas inerciales, sino que produce un desplazamiento del basculante opuesto. Esto provoca que para anti-squats muy elevados el ciclista levanta su propio peso al pedalear, lo cual tampoco es eficiente.

6.4.3 Desplazamiento total

Es muy importante tener en cuenta que todas estas perturbaciones actúan de forma simultánea sobre el basculante, por lo que para saber cómo afectan al sistema de suspensión hay que sumar estos efectos de modo que se obtiene lo siguiente:

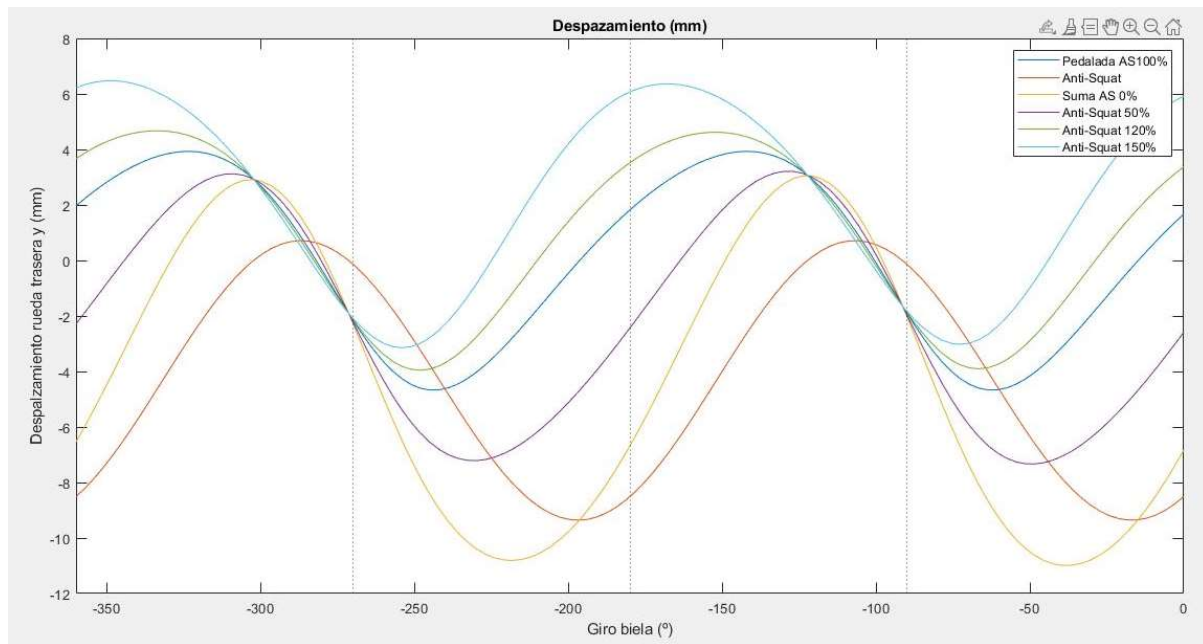


Figura 71. Desplazamiento de la suspensión debido a la suma de todos los efectos. Fuente: Propia

La línea de pedaleo AS100% muestra el desplazamiento de la rueda trasera cuando las fuerzas inerciales debidas a la variación de la fuerza de pedaleo se compensan con la fuerza que ejerce la cadena sobre el basculante. Es decir, las únicas fuerzas que afectan al sistema de suspensión son las debidas al movimiento del centro de gravedad.

La línea de anti-squat muestra cómo afecta únicamente la fuerza de anti-squat al basculante.

Por otro lado, la línea de suma anti-squat 0% muestra los efectos que tienen sobre el basculante las fuerzas debidas al cambio de posición del centro de gravedad y las fuerzas debidas a la variación de potencia durante el ciclo de pedaleo.

El resto de las líneas corresponden a la combinación de todas las fuerzas con distintos niveles de anti-squat. En estas se puede observar como el valor medio de los desplazamientos aumenta con respecto al punto de sag a medida que aumenta el porcentaje de anti-squat, pero no se produce un aumento de la amplitud a medida en comparación con la suma de las fuerzas y 0% de anti-squat. Así mismo también se puede ver como los puntos máximos y mínimos se retrasan.

También se observa cómo hay ligeros cambios en la amplitud, pero a primera vista es difícil de cuantificar. Por ello se estudia la influencia de estas fuerzas de manera más profunda.

Para ello se analizan todas estas fuerzas para distintos valores de diferencia de potencia y de anti-squat con el objetivo de comparar la amplitud de estas perturbaciones en cada punto.

Cuando se pedalea no siempre se ejerce la misma potencia sobre los pedales, ni se realiza un pedaleo igual de constante en cuanto a la entrega de potencia, por lo que es conveniente estudiar un amplio rango de potencias.

Cabe recordar que el anti-squat no tiene un único valor para cada bicicleta, pues depende de la altura del centro de gravedad, la cual depende de la constitución, la altura y la posición del ciclista; de la relación de transmisión y del recorrido de la suspensión. También se analizan las amplitudes en función del porcentaje de anti-squat y de la relación de transmisión.

Para analizar las amplitudes se han elegido las dos relaciones de transmisión más opuestas. La primera es la relación de transmisión de baja velocidad, con el plato más pequeño (32 dientes) y el piñón más grande (52 dientes) que es la que tiene más desmultiplicación, que coincide con la que produce los valores mínimos de anti-squat para cualquier recorrido (ver Figura 37). La segunda es la relación de transmisión de máxima velocidad, con el plato más grande (34 dientes) y el piñón más pequeño (10 dientes), para esta relación los valores de anti-squat son máximos.

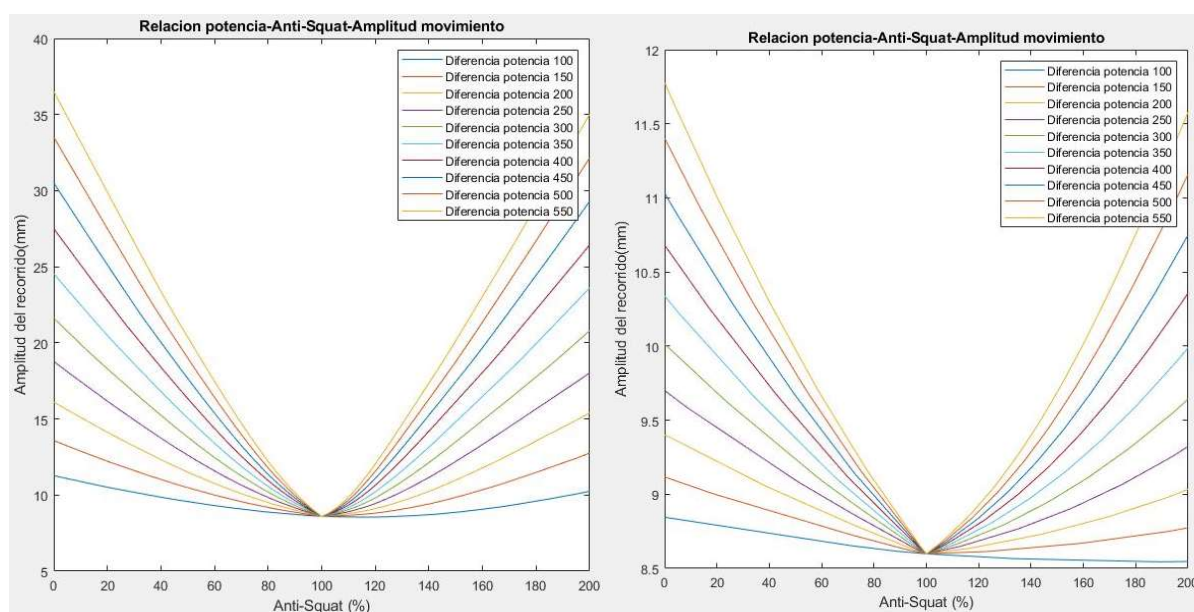


Figura 72. Amplitudes para relación de transmisión 32/52 y 34/10. Fuente: Propia.

Como se observa, la diferencia de potencia en la pedalada tiene una gran influencia en la amplitud del movimiento, por lo que en pedaleos en los que se mantenga una potencia muy constante, la amplitud de las oscilaciones será baja, mientras que al pedalear de forma poco uniforme la amplitud aumenta significativamente. También se puede observar cómo para igualdad de diferencias de potencia, la relación de transmisión de baja velocidad tiene unos valores de amplitud de casi el triple que la de alta velocidad, esto se debe a que en esta

relación el par que se transmite es mucho mayor y por tanto la aceleración que provoca las fuerzas inerciales.

En ambas gráficas se observa como los valores de anti-squat superiores al 100% tienen amplitudes inferiores a sus homólogos inferiores al 100%. Dicho de otra forma, un 140% de anti-squat da valores más pequeños de amplitud que un 60% de anti-squat. Como consecuencia, es más interesante el diseño de sistemas con valores de anti-squat superiores al 100%.

A partir de estos gráficos se determina el rango de valores de anti-squat que se consideran apropiados. Para el límite superior se utiliza el segundo gráfico por lo comentado anteriormente y se establece que el límite superior de diseño deberá estar próximo al 130%, ya que por encima de este valor las amplitudes se incrementan demasiado. Para el límite inferior se utiliza el primer gráfico, en este caso se elige un límite inferior del 90% por la misma razón que el límite superior. Podría elegirse un valor ligeramente más bajo, pero en muchas situaciones, como cuando se pedalea de pie, conviene que el anti-squat sea más alto, por lo que ir a valores inferiores podría ser menos ventajosos. Por tanto, se busca que el anti-squat del sistema de suspensión diseñado se encuentre entre el 90% y el 130%. Por lo que este será el rango que se utilice a la hora de diseñar el sistema de suspensión.

7 ANÁLISIS ESTRUCTURAL

Hay varios factores que intervienen en el dimensionado de las distintas partes de la bicicleta, como son la resistencia, la rigidez, el peso, la geometría y el peso.

El peso es uno de los parámetros en los que más se fijan los usuarios a la hora de elegir bicicleta: una bicicleta más pesada no solo es más lenta en el llano o en las subidas, también se siente menos reactiva y más torpe al tener una mayor inercia longitudinal y transversal. Esto hace que se requiera un mayor esfuerzo para moverla. Por estas razones, entre otras es interesante lograr un peso lo más ajustado posible.

La resistencia es otro aspecto que se debe cuidar. A pesar de no ser algo que se aprecia a primera vista, ni montando en la bicicleta. su importancia es la más alta de todos los parámetros mencionados anteriormente. Una posible rotura de alguna parte de la bicicleta puede ocasionar un grave accidente, además si la estructura tiene un fallo en diseño en este aspecto puede acabar provocando una retirada del modelo del mercado, lo cual conlleva unas pérdidas económicas cuantiosas y una mala imagen de marca.

Una bicicleta de montaña tiene que transmitir rigidez, especialmente en partes como la caja del pedalier o la pipa de la dirección. Una caja de pedalier rígida disipará una cantidad menor de fuerzas de pedaleo, por lo que se sentirá más rápida y reactiva. Por otro lado, un tubo de dirección rígido aportará una mayor precisión en la trazada.

Los ángulos y longitudes de los diferentes tubos no solo son importantes para la conducción de la bicicleta, sino que también lo son para el dimensionado de los tubos, ya que en gran medida serán estos los que determinen los esfuerzos de cada sección de la bicicleta.

Un buen diseño es aquel que, con un peso contenido, logra tener una buena rigidez y resistencia.

7.1 Requisitos normativos

Con el objetivo de garantizar que el cuadro es seguro, se diseñará y dimensionará de acuerdo con lo descrito en la norma (UNE EN ISO 4210, 2015), teniendo en cuenta en todo momento que esta es una bicicleta de montaña para adultos. En esta norma no solo se indican los ensayos que la bicicleta tendrá que superar una vez fabricada, sino que lo hace para los

distintos componentes principales y también establece una serie de criterios que la bicicleta y los componentes han de tener para considerarse seguros. Además, esta norma es de obligado cumplimiento desde el 6 de noviembre de 2015 (Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad, 2015).

En el sexto documento de esta norma “UNE EN ISO 4210” aparecen descritos los 5 ensayos a los que se someterán los cuadros y las horquillas. En este apartado se mencionan los 5 ensayos que el cuadro deberá superar:

- Ensayo de fatiga por fuerzas horizontales.
- Ensayo de fatiga con una fuerza vertical.
- Ensayo de fatiga con las fuerzas del pedaleo.
- Ensayo de choque (caída de una masa).
- Ensayo de choque (caída del cuadro).

Además de estos ensayos se buscará que la bicicleta cumpla con las siguientes exigencias por parte del documento 4210-2:

- Los tornillos utilizados para el montaje de los sistemas de suspensión deben de estar provistos de un elemento de bloqueo apropiado, como una arandela elástica, una contratuerca o un componente fijador de roscas (4.3.1 seguridad de los tornillos).
- El par de rotura mínimo de los montajes atornillados para la fijación de las tijas del sillín debe ser, al menos, un 50% superior al par de apriete recomendado por el fabricante (4.3.2 par de rotura mínimo).
- Se deben utilizar métodos normalizados para poner en evidencia la presencia de fisuras cuando la presencia de fisuras está especificada como criterio de rechazo en los ensayos descritos en la Norma ISO 4210 (4.4 métodos de detección de fisuras).

Los métodos apropiados de control mediante líquidos penetrantes se especifican en las normas ISO 3452-1, 3452-2, 3452-3 y 3452-4.

- La dirección debe poder girar libremente al menos un ángulo de 30° a cada lado de la posición de marcha en línea recta y no debe tener ni dureza ni rigidez, ni juego en los rodamientos cuando está perfectamente reglada (4.7.5 Estabilidad de la dirección).

Al menos un 25% de la masa total de la bicicleta y del ciclista debe portar sobre la rueda delantera cuando el ciclista sujeta los puños del manillar y está sentado en el sillín, estando el sillín y el ciclista en su posición más retrasada.

7 ANÁLISIS ESTRUCTURAL

- El diseño debe hacer que en caso de fallo del muelle o del amortiguador, el neumático no entre en contacto con ninguna parte del cuadro y que el conjunto que soporta a la rueda no se separe del resto del cuadro (4.8.1 cuadros con suspensión - requisitos particulares).
- La alineación del conjunto de rueda en una bicicleta debe permitir un paso de rueda no inferior a 6 mm entre el neumático y cualquier elemento del cuadro o de la horquilla. (4.10.2 Conjunto rueda/neumático – paso de rueda)
- Con la bicicleta no cargada, el pedal en su punto muerto inferior y la superficie de apoyo del pedal paralela al suelo y dirigida hacia arriba cuando el pedal solo tiene una, la bicicleta se debe poder inclinar lateralmente en un ángulo de 25° en relación a la vertical sin que ninguna parte del pedal toque el suelo. (4.13.2.1 Distancia al suelo)
- Cuando la bicicleta tiene un sistema de suspensión, esta medición se debe realizar con la suspensión regulada a su posición más blanda en una condición comprimida correspondiente a la presencia de un ciclista de 80 kg de masa.

7.2 Ensayos de la norma

El cuadro se ha modelado en tres dimensiones a través de Siemens NX. Todas las piezas son de sección y espesor variable lo que hace que el cálculo sea complejo. Es por ello por lo que se utilizará el método de los elementos finitos para estudiar las tensiones y deformaciones de las estructuras. Este cálculo se realiza a través del módulo que NX tiene integrado. El mayor problema que presenta el uso de este método es tener el criterio adecuado para evaluar si el resultado es correcto o no.

Al calcular utilizando la técnica de elementos finitos simulando los ensayos requeridos por la norma o situaciones que se puedan presentar en condiciones reales de funcionamiento, se ahorra una gran cantidad de tiempo en las etapas de diseño y cálculo. Además, con este método se logran unos resultados muy cercanos a la realidad, haciendo posible que no sea necesario fabricar tantos prototipos como antaño, lo cual disminuye considerablemente los costes de diseño.

El método de los elementos finitos en los cuerpos sólidos consiste en la subdivisión de ese cuerpo sólido, que está sometido a un sistema de cargas y restringido por una serie de uniones, en pequeñas partes denominadas elementos que están conectados entre sí por los nodos de esos elementos. De modo que se supone que el desplazamiento en el interior de

un elemento se puede expresar en función de los desplazamientos de los nodos de ese elemento. Con esto puede determinarse la matriz de rigidez de cada elemento y combinando las matrices de los diferentes elementos a través del análisis matricial de estructuras, se obtienen los desplazamientos de los nodos de los elementos. Finalmente, conociendo estos desplazamientos se pueden conocer las tensiones y las deformaciones de cada elemento.

La solución obtenida por este método no es exacta, pero el resultado obtenido puede proporcionar una buena aproximación a un problema dado. En la mayoría de los casos esta solución será lo suficientemente exacta como para considerar el problema práctico resuelto. No obstante, es labor del ingeniero dar esta solución por válida en base a su juicio y experiencia, ya que uno de los principales problemas de este método es que los resultados que produce varían demasiado en función de cómo se haya ejecutado la simulación. Por ejemplo, puede producirse una gran disparidad entre los datos arrojados para dos simulaciones idénticas en las que solo varía la densidad de la malla y por tanto del número de elementos en los que se descompone el sólido estudiado. Además, se pueden producir errores en el preprocesado debido a una mala elección de las opciones del programa o la introducción errónea de los datos.

Para garantizar que los resultados son lo más próximos a la realidad hay que asegurar que la configuración del modelo es la adecuada. Para ello hay que definir claramente:

- El estudio a realizar.
- Las restricciones internas del modelo, o lo que es lo mismo, las conexiones internas de las distintas partes del modelo.
- Las restricciones externas. Es decir, todas las sujeciones de las piezas a las máquinas de ensayo, con los grados de libertad que restringen y que permiten, para que el modelo se mueva como en la realidad.
- Definir el material y sus propiedades mecánicas en cada una de las piezas.
- Mallar el modelo correctamente, con una malla más basta en los primeros cálculos y posteriormente refinarla en la totalidad del modelo o en las zonas críticas.
- Interpretación de los resultados.
- Rediseñar las partes que no hayan pasado las pruebas o que necesiten mejorarse, en caso de que sea necesario.

Todos los ensayos se han realizado aplicando cálculo lineal: esto es debido a que la curva tensión deformación de la mayoría de los compuestos de fibra de carbono es casi recta hasta llegar al punto de rotura. Además, el buen resultado en estas simulaciones no exime de la obligación de ensayar los cuadros reales, por lo que estos resultados solo tienen validez en

7 ANÁLISIS ESTRUCTURAL

una primera fase de diseño. Para validar el diseño se tendrán que pasar las pruebas con cuadros reales.

7.2.1 Simplificaciones en la geometría

Se quitan empalmes chaflanes y redondeo de aristas que provocan fallo al sacar el modelo 2D o que no tienen función a la hora de calcular el cuadro.

Este modelo en dos dimensiones se obtiene automáticamente con Siemens NX al utilizar un comando que genera una superficie media al introducir las caras interiores y exteriores de una geometría en 3 dimensiones.

Además, se quitan los ejes y rodamientos que serán sustituidos por elementos RBE2.

7.3 Propiedades de los materiales

Los materiales para los componentes de fibra de carbono son los mencionados en el apartado 5.10.

Para los elementos de aluminio, como la bieleta y la extensión del amortiguador se ha seleccionado Aluminio 6061 T6 Por sus buenas propiedades mecánicas con relación a su peso. Por otro lado, los elementos auxiliares, como las falsas horquillas, los falsos amortiguadores, el rodillo de la horquilla se han simulado en un acero normal de la biblioteca de Siemens NX. Las principales propiedades mecánicas de estos materiales son:

	Aluminio 6061 T6	Acero
Densidad (g/cm ³)	2,71	7,85
Límite elástico (MPa)	225	550
Módulo de elasticidad (GPa)	68,9	210
Resistencia a la tracción (MPa)	290	340

Tabla 25. Propiedades mecánicas metales de simulación.

7.4 Ensayo de choque (caída de una masa)

Generalidades

Se permite a los fabricantes de cuadros efectuar el ensayo con una falsa horquilla situada en lugar de una horquilla delantera.

Si se equipa una horquilla de suspensión, el ensayo se realiza con la horquilla con su longitud libre en vacío. Si se equipa un sistema de suspensión trasera integrado en el cuadro, la suspensión se bloquea en una posición equivalente a la producida por un ciclista de 80 kg sentado en la bicicleta. Si el tipo de sistema de suspensión no permite bloquear el sistema, se reemplaza la unidad resorte/amortiguador por una unión sólida que tenga una dimensión apropiada y provista de uniones de extremidad similares a los de la unidad resorte/amortiguador.

Método de ensayo

Se coloca en la horquilla un rodillo delantero que tenga una masa inferior o igual a 1 kg y cuyas dimensiones son las descritas en la Figura 73. Si se utiliza una falsa horquilla en lugar de la horquilla, la barra debe tener un extremo redondeado, cuya forma sea equivalente a la del rodillo.

Se sujeta el conjunto cuadro-horquilla o cuadro-barra en posición vertical en un dispositivo de fijación rígido, permitiendo la rotación del eje trasero en el plano vertical longitudinal.

Se coloca un percutor que tenga una masa de 22,5 kg sobre el rodillo colocado en las punteras de horquilla o sobre la extremidad redondeada de la falsa horquilla y se mide la distancia entre ejes. Se levanta el percutor a una altura de 360 mm por encima del rodillo de pequeña masa y se le suelta para que percuta al rodillo en un punto alineado con los centros de las ruedas y contra la dirección de inclinación de la horquilla. Una vez el percutor ha impactado con la horquilla rebotará y cuando se haya detenido se mide de nuevo la distancia entre ejes.

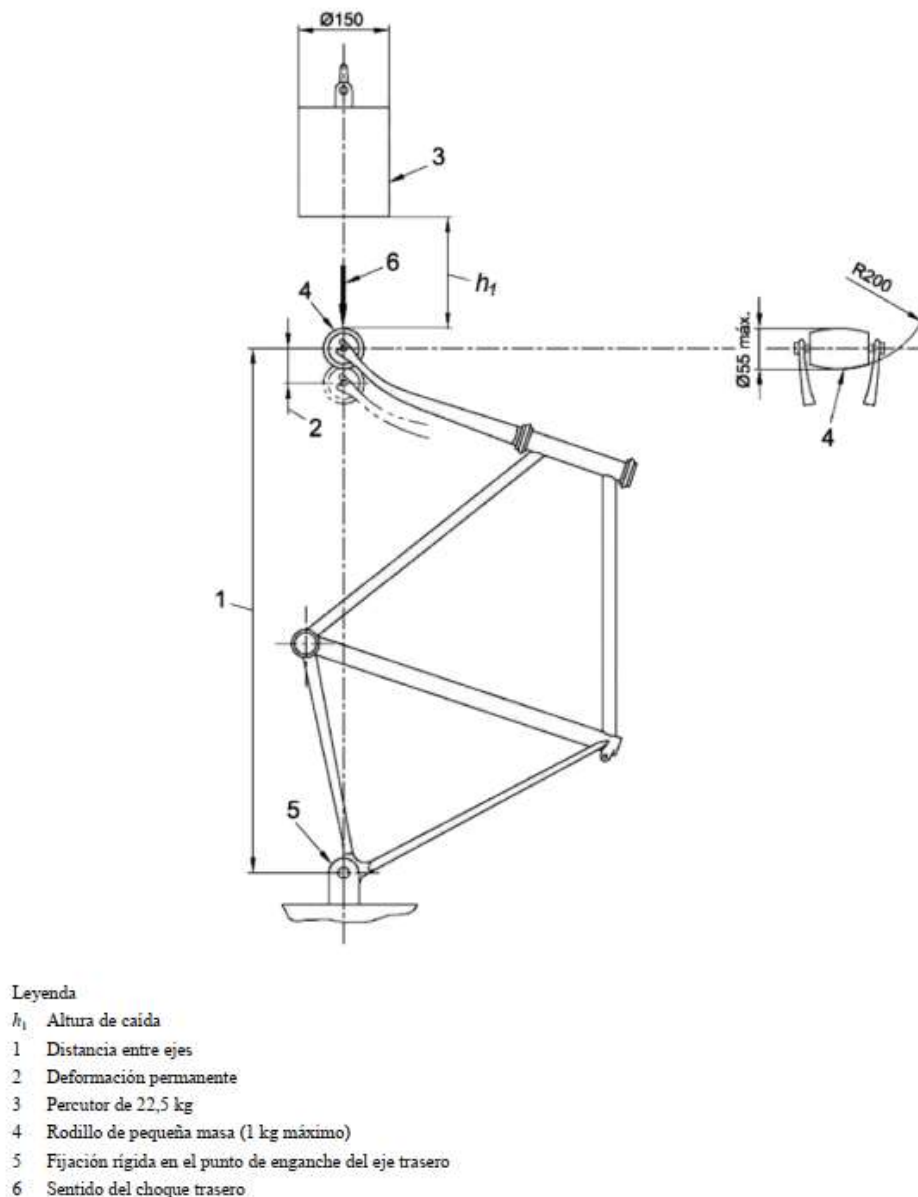


Figura 73. Conjunto cuadro y horquilla delantera. Ensayo de choque (caída de una masa)

Requisitos

Al ensayar según el método descrito en el apartado 4.1 de la norma 4210-6:2015, no debe haber ni fisuras ni roturas visibles en el cuadro.

Los valores de las deformaciones permanentes medidas entre los centros de los ejes de las ruedas no deben exceder los 10 mm cuando se monta una horquilla falsa.

Elementos auxiliares

Para llevar a cabo este ensayo se montarán tres elementos de utillaje auxiliares; un falso amortiguador, un rodillo delantero y una horquilla falsa.

La falsa horquilla ha de tener la misma longitud que la horquilla real completamente extendida (ver Figura 29), es decir, 530,2 mm. El offset de la horquilla falsa coincide con el de la horquilla elegida, que es de 44 mm.

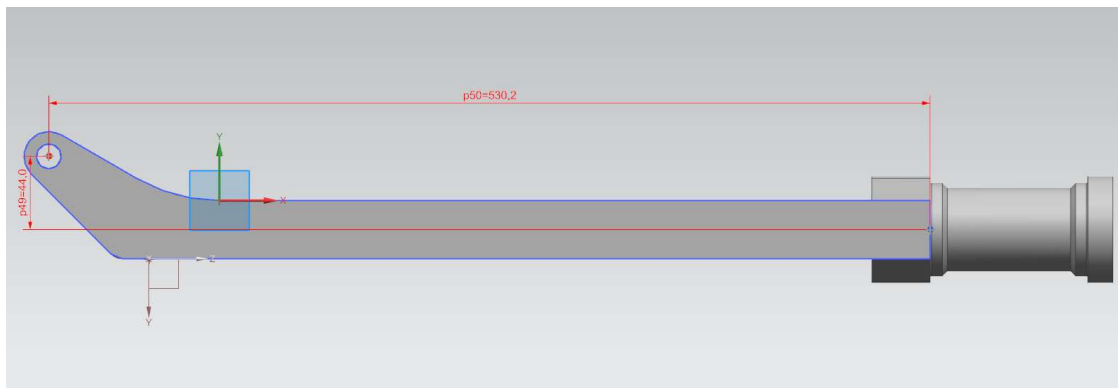


Figura 74. Dimensiones falsa horquilla longitud completa. Fuente: Propia.

El falso amortiguador trasero también debe tener una longitud igual a la que tendría el amortiguador trasero cuando un ciclista de 80 kg esté sentado en la bicicleta. La distancia entre ojos del amortiguador elegido es de 190 mm y su recorrido es de 45 mm (ver Figura 28). Configurando el amortiguador para que tenga un 25% de sag la longitud resultante del amortiguador será 178,75 mm.

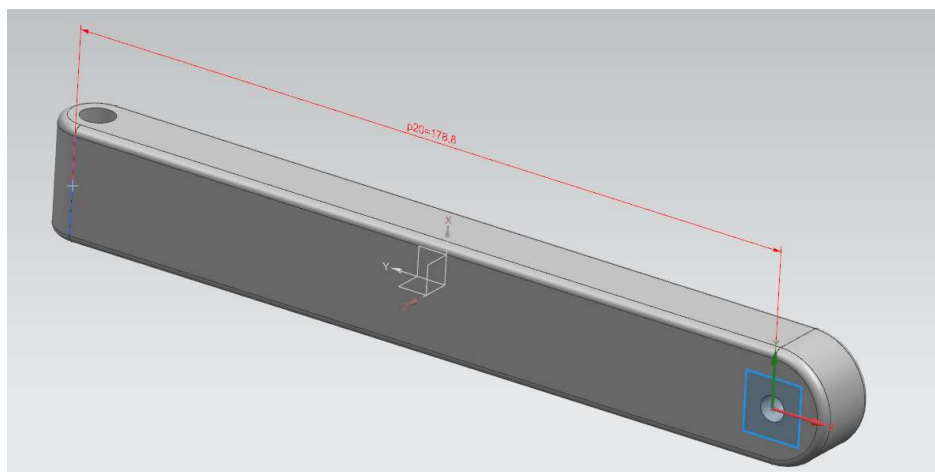


Figura 75: Dimensiones falso amortiguador con prehundimiento del 25%. Fuente: Propia.

Por su parte, el buje delantero está modelado de acuerdo con las dimensiones que pide la norma y que aparecen en la Figura 73.

7 ANÁLISIS ESTRUCTURAL

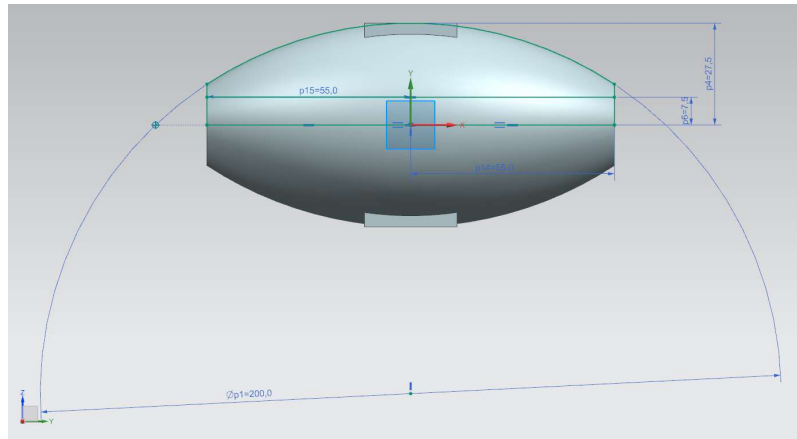


Figura 76. Dimensiones rodillo delantero. Fuente: Propia.

Restricciones internas

El modelo se ha ensamblado de acuerdo con lo definido en el método de ensayo, con los componentes externos de las dimensiones anteriormente descritas y con los ejes de ambas ruedas paralelos al plano horizontal.

Para simular los pares cinemáticos que conectan los elementos se han creado conexiones mediante RBE2 que unen las áreas donde apoyan los ejes o los rodamientos, según cada caso, con el punto medio de entre estas áreas. Posteriormente se han conectado a través de emparejamientos manuales. En estos emparejamientos se han restringido todos los grados de libertad salvo la rotación que permitiría el eje que conecta los elementos que forman ese par cinemático.

Se han empleado este tipo de uniones con el fin de simplificar el modelo y simplificar el cálculo, de modo que se ahorra tiempo y dinero. Estas conexiones se han aplicado en todos los pares de rotación. Al igual que ocurre en la realidad, estas uniones solo transmiten fuerzas, no momentos. Estas uniones se emplean en todos los puntos en los que tenemos rodamientos.

Otra de las restricciones usadas es el contacto entre superficies, que se ha empleado en todos aquellos puntos que no se pueden atravesar, como las uniones del amortiguador y la horquilla con el cuadro. A través de estas se consigue que las caras de distintas piezas que están en contacto se transmitan los esfuerzos como lo harían en la realidad, transmitiendo su movimiento y provocando aplastamientos.

Restricciones externas

El modelo se restringe de acuerdo con lo especificado en la Figura 73. Por tanto, se aplica una restricción en el eje trasero equivalente a la de un par prismático de modo que se impiden las tres traslaciones y únicamente se permite la rotación sobre el eje de la rueda trasera.

La otra restricción que se aplica en este caso es en el rodillo delantero. Este se mueve a lo largo del eje longitudinal, por lo que se restringe su movimiento en las tres rotaciones y únicamente se permite la traslación sobre el eje longitudinal.

Para esta simulación se aplica una fuerza horizontal con dirección desde la rueda delantera a la rueda trasera.

Simplificaciones

Con el fin de simular el ensayo de la manera más eficiente posible se transforma en un ensayo estático. Se estudia la resistencia del cuadro a partir de la energía que es capaz de absorber cuando se le somete a una carga a la que produce la masa al impactar con este.

La energía de impacto de la masa es igual a la energía de caída de la masa que para el caso de estudio es:

$$E_{Caída} = m \times g \times (h + x) = 22,5 \times 9,81 \times (0,36 + x)$$

Donde x es el desplazamiento provocado por la masa una vez ha impactado con el cuadro. Esta energía es la que tiene que absorber el cuadro. No obstante, para simplificar los cálculos se aplica una fuerza sobre el rodillo, por lo que esta energía que se pretende absorber es la que resulta del trabajo de la fuerza, que al coincidir la dirección de la fuerza con el desplazamiento es:

$$E_{Cuadro} = F \times x$$

Como inicialmente no se conoce ni el valor de esta fuerza ni el del desplazamiento, se realiza una primera simulación con un valor de la fuerza $F_0 = 6000$ N, con la misma dirección y sentido que la fuerza que se aplicará posteriormente, con el fin de obtener la deformación del cuadro en la dirección de aplicación de la fuerza y de este modo conocer el valor de la rigidez del cuadro en esta dirección. A través de esto se puede calcular la energía absorbida del cuadro en función de la rigidez. De modo que, al igualar la energía absorbida por el cuadro y la energía de la caída de la masa, se obtiene la siguiente expresión en función de la variable " x " que se resuelve como una ecuación de segundo grado:

7 ANÁLISIS ESTRUCTURAL

$$k = F_0/x_0 = 6000/0,02133 = 281294 \text{ N/m}$$

$$E_{\text{Cuadro}} = E_{\text{Caída}} \Rightarrow m \times g \times (h + x) = (k \times x) \times x$$

Una vez echa la primera simulación y determinado el valor de la rigidez, se puede obtener el valor del desplazamiento esperado y con este determinar el valor de la fuerza a aplicar a través de la rigidez del cuadro, siendo F el valor que se tiene que introducir para someter a la estructura a una fuerza que provoque una deformación equivalente a la energía de caída de la masa.

$$22,5 \times 9,81 \times (0,36 + x) = (281294 \times x) \times x \Rightarrow x = 0,0172 \text{ m}$$

$$F = k \times x = 281294 \times 0,0172 = 4838,26 \text{ N}$$

Por tanto, la fuerza que se aplicará en esta simulación es 4850 N: se ha mayorado ligeramente la fuerza para trabajar con números más redondos y estar del lado de la seguridad.

Se considera que el cuadro trabaja en régimen elástico, ya que los materiales compuestos de fibra de carbono y epoxi, como norma general, no plastifican. Por lo tanto, no hay deformación permanente, el cuadro falla debido a fisuras, roturas o desgarros en el laminado.

Mallado

Para el mallado del triángulo principal se han utilizado elementos de 2 dimensiones del tipo CQUAD8, con un tamaño de elemento de 3,5 mm. En las zonas donde es más fácil que se produzcan singularidades se han empleado controles de malla que aumentaban la densidad de puntos en las aristas donde era necesario. Se probaron mallados de entre 1,5 mm y 5 mm y se observó que para 3,5 mm se obtenían valores que convergían y el tiempo de cálculo no era muy elevado.

Con las vainas y los tirantes se ha seguido el mismo proceso y finalmente se eligió el mismo tipo y tamaño de elemento que para el triángulo principal.

Para los elementos de tres dimensiones se han elegido elementos de tipo CTETRA(4). En el caso de la bieleta el tamaño de estos elementos es de 2 mm, al igual que para la extensión del amortiguador. Por su parte el amortiguador tiene elementos de 10 mm, el rodillo de 11,7 y la horquilla de 3 mm.

Resultados

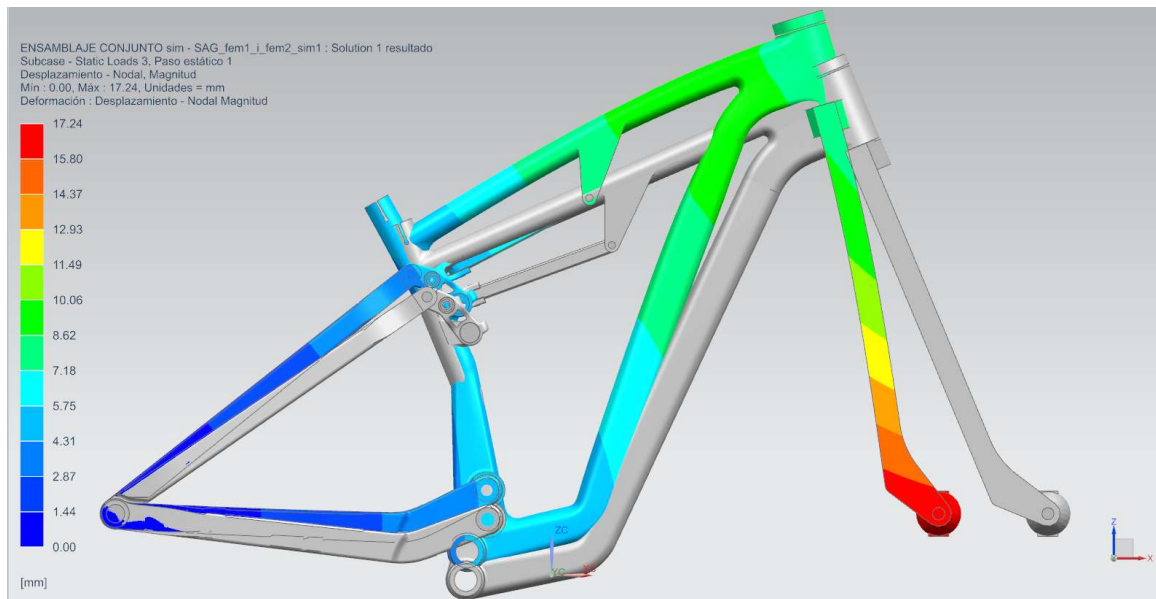


Figura 77. Desplazamiento (caída de una masa). Fuente: Propia.

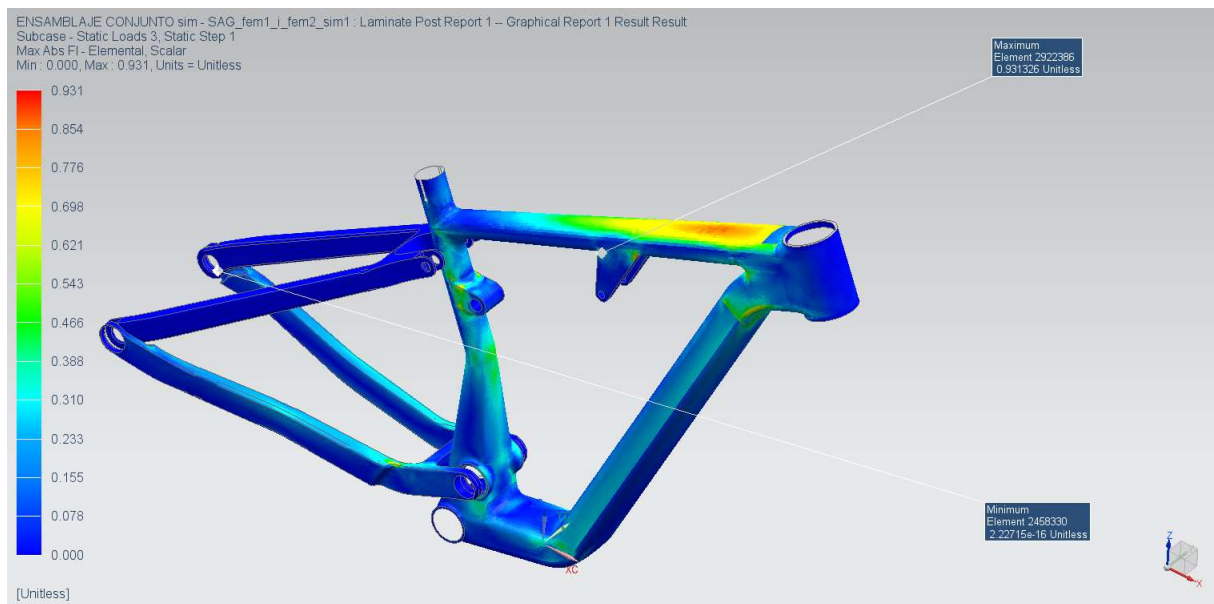


Figura 78. Índice de fallo global (caída de una masa). Fuente: Propia.

7 ANÁLISIS ESTRUCTURAL

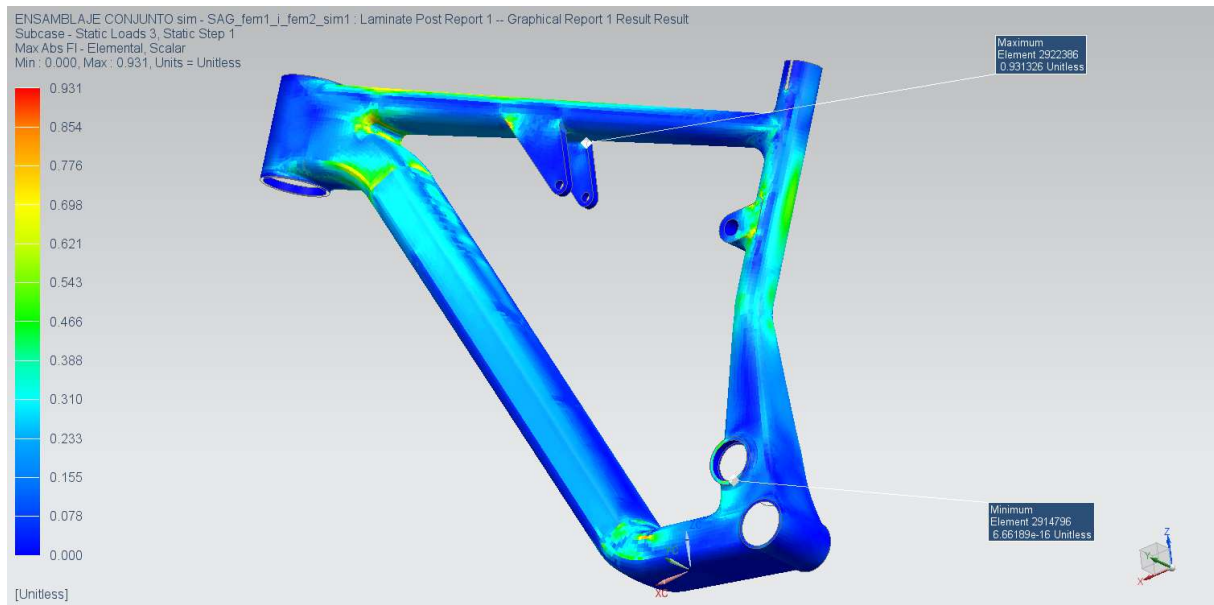


Figura 79. Índice de fallo en triángulo principal (caída de una masa). Fuente: Propia.

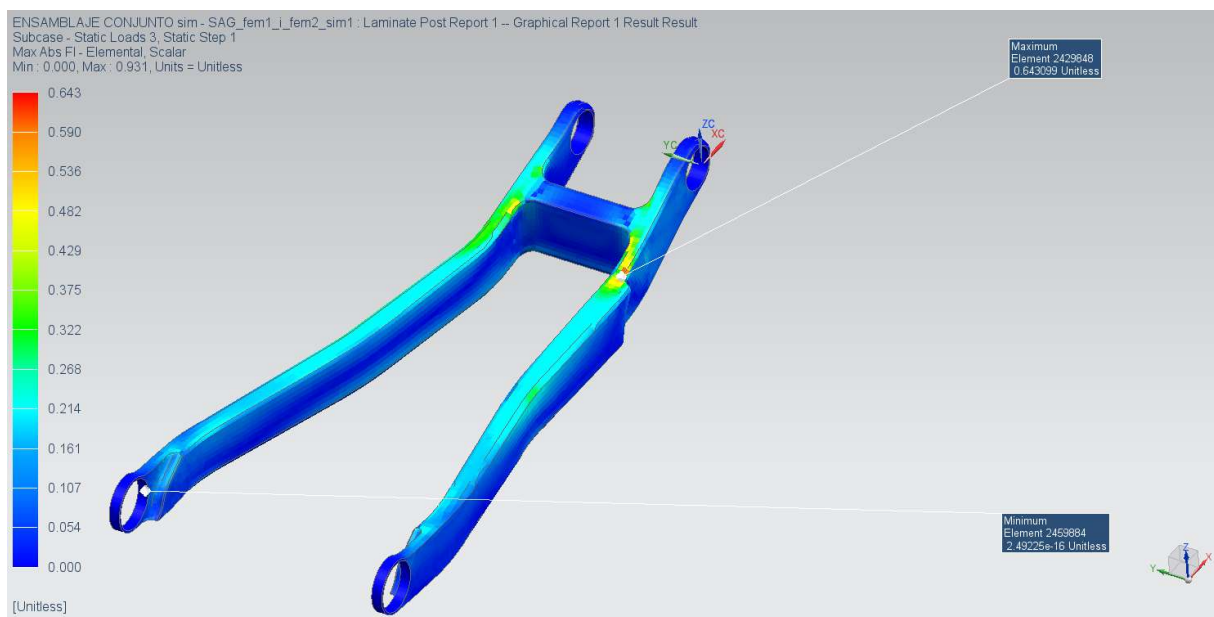


Figura 80. Índice de fallo vainas (caída de una masa). Fuente: Propia.

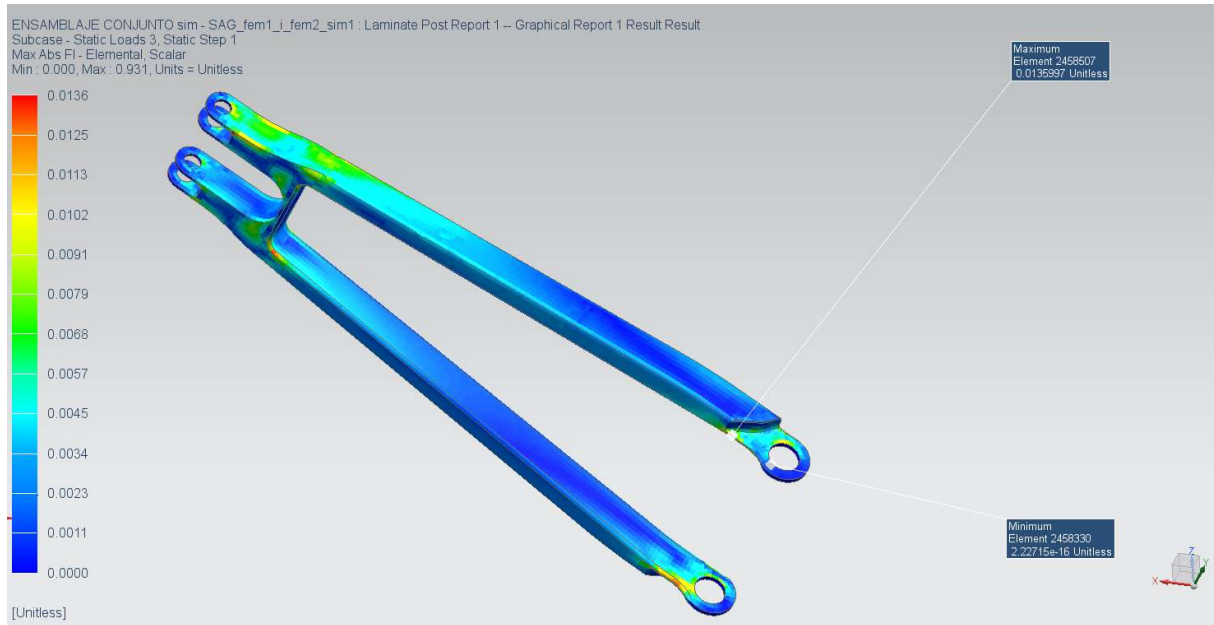


Figura 81. Índice de fallo tirantes (caída de una masa). Fuente: Propia.

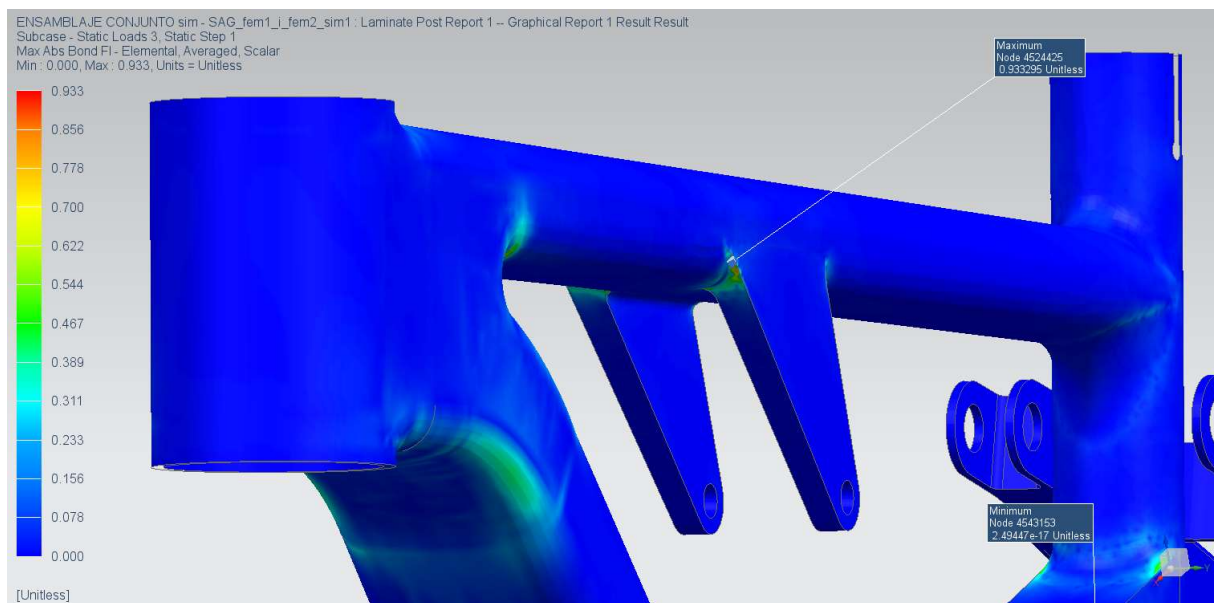


Figura 82. Índice de fallo de adhesión (caída de una masa). Fuente: Propia.

7 ANÁLISIS ESTRUCTURAL

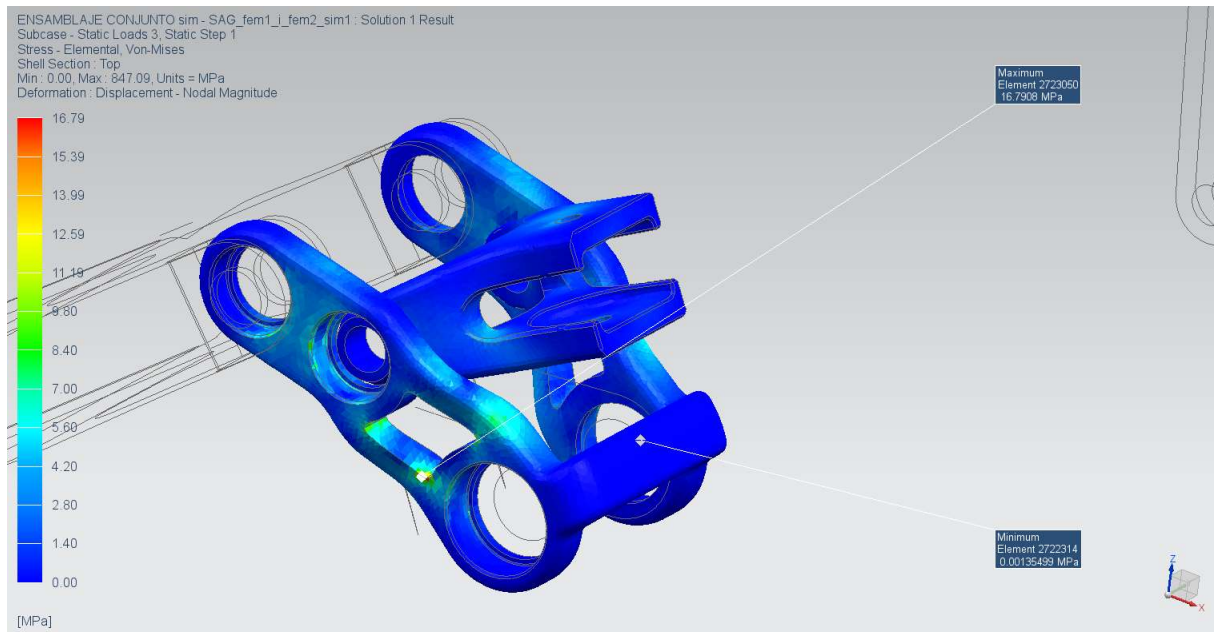


Figura 83. Tensiones en los elementos de aluminio (caída de una masa). Fuente: Propia.

Conclusiones del ensayo

Para evaluar si el diseño ha superado este ensayo de la norma, se utilizan los datos aportados de los índices de fallo, los cuales muestran el máximo valor de todas las láminas de cada zona. Por tanto, los datos aquí mostrados serán los de la lámina que más cerca esté de fallar. Se considera que este ensayo ha pasado satisfactoriamente si no produce ninguna rotura en ninguno de los laminados. Como se observa por los coeficientes de seguridad, todas las laminaciones han pasado el ensayo satisfactoriamente. El máximo índice de fallo del triángulo principal es de 0,931 lo que deja un coeficiente de seguridad de 1,07, lo cual es aceptable para un ensayo a rotura. Los elementos del triángulo principal que más cerca están del fallo son las orejetas donde se ancla el amortiguador; quizás se deba a un radio de acuerdo reducido que provoca una concentración de tensiones. También se observan índices de fallos elevados en el empalme entre el tubo superior y el tubo diagonal, por lo podría ser interesante un rediseño de esta parte para el futuro, así como un refuerzo en parte inferior del tubo diagonal más próxima a la tija y en la parte superior del tubo superior.

Para las vainas se mejora este valor, ya que el coeficiente de seguridad obtenido es 1,56 en la cara superior de la vaina derecha, en el punto en el que es más estrecha. Afortunadamente el coeficiente de seguridad en este caso es lo suficientemente elevado como para no tener que hacer un rediseño. Por su parte el coeficiente en los tirantes es de 73,5, por lo que el esfuerzo en esta pieza es mínimo.

Los coeficientes de fallo de adhesión entre láminas son de 0,933 para el triángulo principal, 0,005 en los tirantes y 0,171 en las vainas. Con esto se puede concluir que los tirantes y las vainas están holgadamente diseñados para este ensayo, pero el triángulo principal podría requerir un pequeño rediseño en las orejetas, ya que vuelve a ser el punto con mayor índice fallo.

Por último, las tensiones en los elementos de aluminio son lo suficientemente bajas como para considerarlas despreciables. Su resistencia debería evaluarse mediante en casos de simulación aislados en los que se las sometan a las máximas cargas que pueda generar la bicicleta en estos puntos.

Los coeficientes de seguridad se han calculado a través de la siguiente expresión.

$$C.S_{Pieza} = 1/F.I_{Pieza}$$

7.5 Ensayo de choque (caída del cuadro)

Generalidades

Se permite a los fabricantes de cuadros efectuar el ensayo con una falsa horquilla situada en lugar de una horquilla delantera, siempre que cumpla los requisitos del apartado 4.9.5 de la Norma ISO 4210-2:2015 y que tenga una longitud igual a la que tendría con un ciclista montado sobre la bicicleta en la posición normal de conducción.

Si se equipa una horquilla de suspensión, el ensayo se realiza con la horquilla con su longitud libre en vacío. Si se equipa un sistema de suspensión trasera integrado en el cuadro, la suspensión se bloquea en una posición equivalente a la producida por un ciclista de 80 kg sentado en la bicicleta. Si el tipo de sistema de suspensión no permite bloquear el sistema, se reemplaza la unidad resorte/amortiguador por una unión sólida que tenga una dimensión apropiada y provista de uniones de extremidad similares a los de la unidad resorte/amortiguador.

Método de ensayo

Se efectúa el ensayo sobre el conjunto utilizado para el ensayo del apartado 4.8.2 de la Norma ISO 4210-2:2015 o, en caso de un fabricante de cuadros que no fabrica horquillas, con el mismo cuadro equipado con una horquilla adecuada.

7 ANÁLISIS ESTRUCTURAL

Como se muestra en la Figura 84, se monta el conjunto de cuadro-horquilla mediante los puntos de fijación de su eje trasero de forma que es libre de girar sobre su eje trasero en el plano vertical longitudinal. Se coloca la horquilla delantera en un yunque liso de acero de forma que el cuadro esté en su posición de uso normal.

Se fijan tres masas sobre la bicicleta: una masa de 30 kg (M_1) a la tija del sillín como se muestra en la Figura 84 con el centro de gravedad a una distancia D ($= 75$ mm) a lo largo del eje de la tija desde el punto de introducción, se fija una masa 10 kg (M_2) a la parte superior del tubo de eje de horquilla y otra masa de 50 kg (M_3) a la caja del pedalier, como se muestra en la Figura 84.

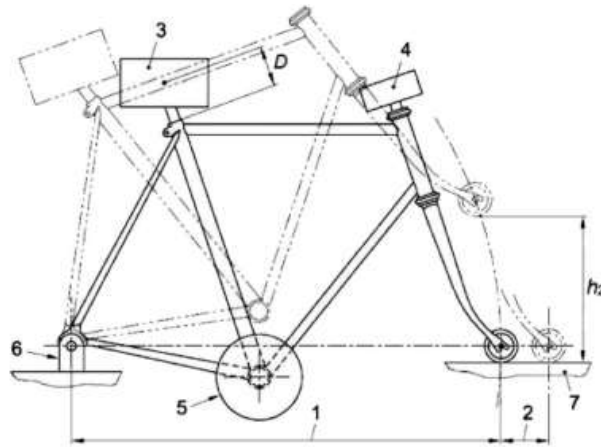
Se mide la distancia entre ejes con las tres masas colocadas. Se hace girar el conjunto alrededor del eje trasero hasta que la distancia entre el rodillo de pequeña masa y el yunque sea 300 mm, y después se suelta el conjunto para que caiga libremente sobre el yunque.

Se repite el ensayo y después se mide de nuevo la distancia entre ejes con las tres masas en su lugar y el rodillo posado sobre el yunque.

Tabla 2 – Alturas de caída y distribución de las masas en la tija del sillín, la parte superior del tubo de eje de horquilla y la caja del pedalier

Tipo de bicicleta	Bicicletas de paseo	Bicicletas para adultos jóvenes	Bicicletas de montaña	Bicicletas de carreras
Masa 1 Tija, M_1 kg	50	40	30	30
Masa 2 parte superior del tubo de eje de horquilla, M_2 kg	10	10	10	10
Masa 3 caja del pedalier, M_3 kg	30	20	50	50
Altura de caída, h_1 mm	200	200	300	200

Medidas en milímetros



Leyenda

- | | | | |
|---|------------------------|-------|---|
| 1 | Distancia entre ejes | 6 | Fijación rígida en el punto de enganche del eje trasero |
| 2 | Deformación permanente | 7 | Yunque de acero |
| 3 | Masa 1 (M_1) | D | Distancia al centro de gravedad (75 mm) |
| 4 | Masa 2 (M_2) | h_2 | Altura de caída |
| 5 | Masa 3 (M_3) | | |

Figura 84. Conjunto cuadro y horquilla. Emsayo de choque (caída del cuadro).

Requisitos

Al ensayar según el método descrito en el apartado 4.2 de la norma 4210-6:2015, no debe haber ni fisuras ni roturas visibles en el cuadro y tras el segundo impacto no debe haber ninguna separación de ninguna pieza del sistema de suspensión.

Los valores de las deformaciones permanentes medida entre los centros de los ejes de las ruedas no deben exceder los 60 mm cuando se monta una horquilla falsa.

Elementos auxiliares

La falsa horquilla ha de tener la misma longitud que tendría la horquilla real cuando un ciclista de 80 kg este sentado sobre la bicicleta. La longitud de la horquilla real es de 530,2 mm y su recorrido es de 120 mm. Por tanto, al configurar la horquilla para que bajo el peso del ciclista se comprima con un sag del 25% del recorrido total, la longitud de la horquilla será 500,2 mm. El offset de la horquilla elegido es de 44 mm.

7 ANÁLISIS ESTRUCTURAL

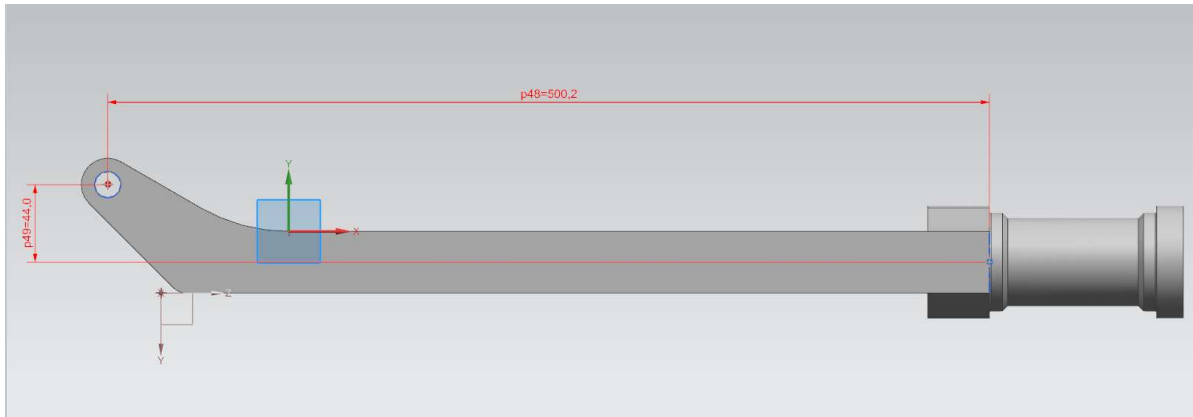


Figura 85. Falsa horquilla con prehundimiento. Fuente: Propia.

Tanto el falso amortiguador como el rodillo coinciden con los del apartado anterior. Además de esto se incluyen dos elementos extra. El primero de ellos es una tija de acero de 150 mm de longitud, de los cuales 75 mm quedarán dentro del cuadro como en el ensayo del apartado 7.8 se ha escogido esta distancia por ser la mínima inserción posible en el cuadro, de modo que se estará del lado de la seguridad. En segundo lugar, se introduce un eje de pedalier de 28 mm de diámetro, igual que las cazoletas y 100 mm de longitud.

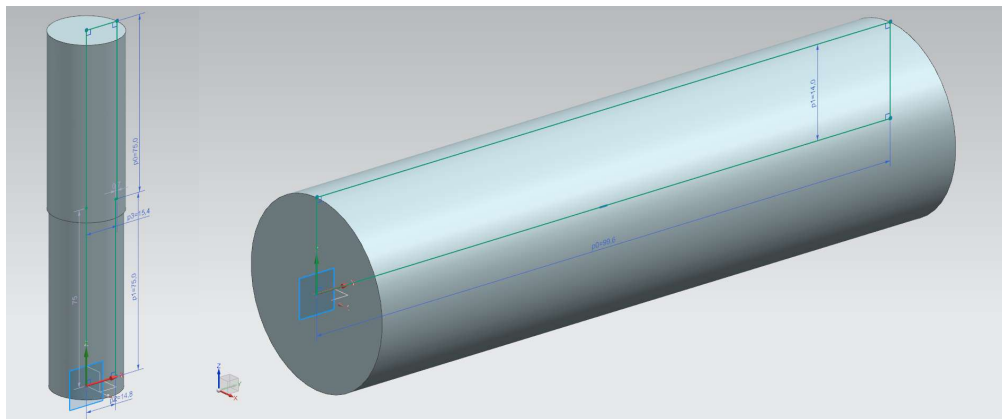


Figura 86. Tija y pedalier falsos. Fuente: Propia.

Restricciones internas

Las restricciones internas empleadas para este modelo son las mismas que en el apartado 7.4. Las únicas que cambian son las de los nuevos elementos, las cuales son uniones por adhesión entre las caras, la tija se une al tubo del sillín y el eje del pedalier a las cazoletas.

Restricciones externas

Las restricciones externas empleadas para este modelo coinciden con las empleadas en el apartado 7.4, a excepción de la fuerza horizontal sobre el rodillo que se ha eliminado. En su

lugar se han introducido cuatro cargas, tres de estas son fuerzas que actúan sobre los puntos donde están colocadas las masas del ensayo, con la misma dirección que tendría la trayectoria de esas masas antes de chocar, y se ha introducido una aceleración en el mismo sentido que la gravedad, para contar con el peso del cuadro.

Mallado

El mallado de todos los elementos del estudio coincide con el del apartado 7.4.

Simplificaciones

Al igual que en el apartado 7.4 se simplifica el ensayo para convertirlo en estático. La resistencia del cuadro se estudia a partir de la energía de caída de las masas y de la energía que es capaz de soportar el cuadro.

La energía de caída de las masas es igual a la suma de la energía potencial de cada una de las masas, por lo que hay que determinar la altura de caída de cada una.

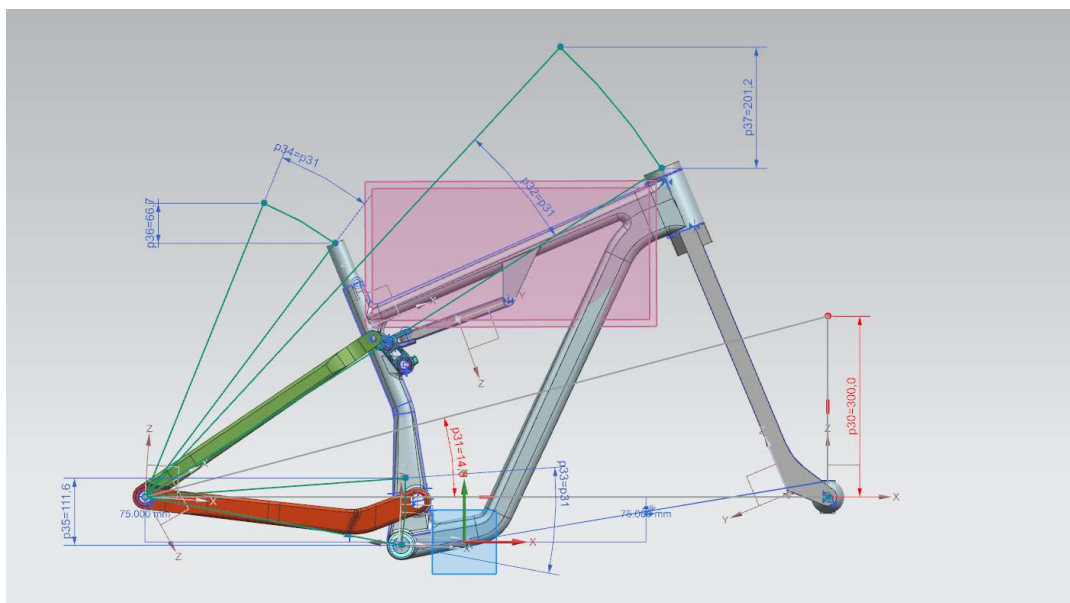


Figura 87. Alturas y trayectoria de cada masa durante la caída. Fuente: Propia.

Como se observa que la masa M1 tiene una caída de 66,7 mm, la masa M2 una caída de 201,2 mm y la masa M3 una caída de 111,6 mm. Con todo esto la energía de la caída es igual a:

$$E_{caida} = (30 \times 0,0667 + 10 \times 0,2012 + 50 \times 0,1116) \times 9,81 = 94,10 J$$

7 ANÁLISIS ESTRUCTURAL

Para que el cuadro pase el ensayo tendrá que ser capaz de absorber esta energía sin fallar. Para determinar la energía que absorbe el cuadro se mide el desplazamiento de los puntos en los que se aplican las fuerzas y se multiplican por el valor del esfuerzo. La dirección de los esfuerzos coincide con la tangente a la trayectoria de las masas en el punto en el que entren en contacto con el suelo, que es la dirección en la que actúan las fuerzas de inercia.

Para resolver el modelo se realiza un primer análisis en el que las fuerzas aplicadas se corresponden al peso de las masas del ensayo multiplicadas por 10,5, y se realiza lo mismo con la aceleración de la gravedad. La acción de M3 se divide en dos fuerzas que actúan desde ambos lados de la caja del pedalier.

La fuerza de la primera masa forma un ángulo de $122,5^\circ$ con la horizontal, la segunda masa de $143,2^\circ$ y la tercera de $79,3^\circ$. Conociendo estos ángulos se pueden conocer las componentes vertical y horizontal de cada una de ellas. Con todo esto se obtiene para la primera aproximación la siguiente energía:

$$\begin{aligned} E_{Fuerzas} &= F_1 \times d_1 + F_2 \times d_2 + F_3 \times d_3 \\ &= F_{1x} \times x_1 + F_{1z} \times z_1 + F_{2x} \times x_2 + F_{2z} \times z_2 + F_{3x} \times x_3 + F_{3z} \times z_3 \\ &= 2569,1 \times 4,11 + 1921,7 \times 7,07 + 547,4 \times -0,0549 + 901,4 \times 6,47 \\ &\quad + 992,0 \times -1,15 + 5253,8 \times 9,05 = 76,35 J \end{aligned}$$

Como se observa la energía que producen las fuerzas es menor que la energía generada por la caída, por lo que hay que mayorar las cargas hasta llegar al valor de la energía de caída. Como las cargas están directamente relacionadas con los desplazamientos el coeficiente de mayoración es:

$$C_{mayoración} = \sqrt{E_{Caída}/E_{Fuerzas}} = \sqrt{94,1/76,35} = 1,11$$

Multiplicando a las cargas por este coeficiente se obtiene lo siguiente:

$$\begin{aligned} E_{Fuerzas} &= 2877,4 \times 4,55 + 2152,3 \times 7,82 + 613,1 \times -0,08 + 1009,6 \times 7,14 + 1111,0 \times -1,30 \\ &\quad + 5884,3 \times 10,03 = 94,65 J \end{aligned}$$

Ahora la energía de caída es igual a la energía de provocada por las fuerzas, por lo que las cargas aplicadas son correctas.

Interpretación de los resultados

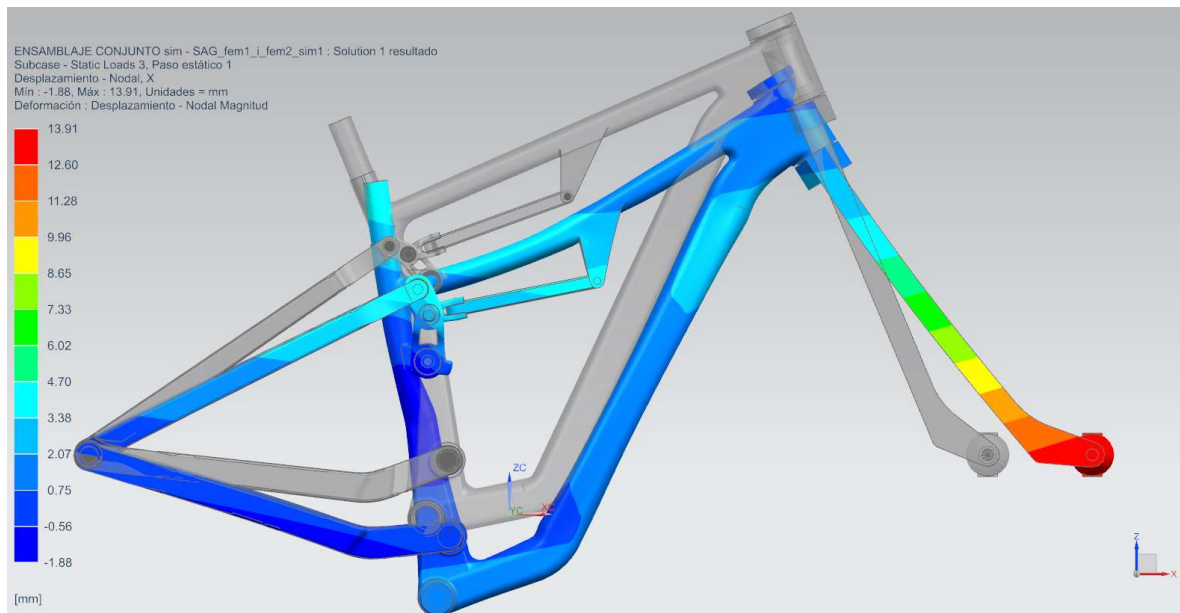


Figura 88. Desplazamiento en X (caída del cuadro). Fuente: Propia.

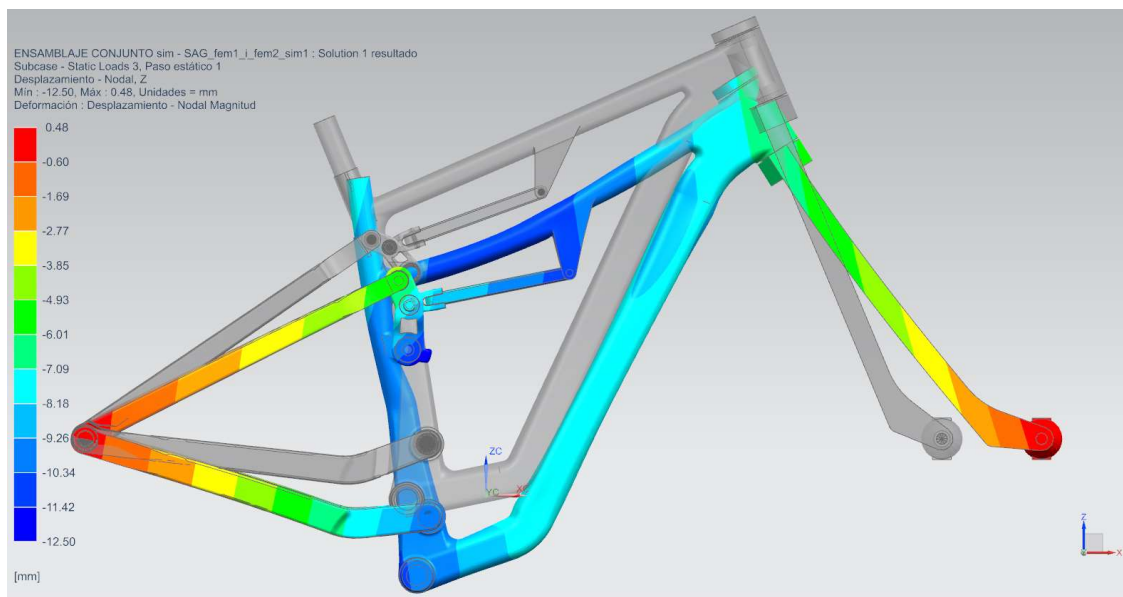


Figura 89. Desplazamiento en Z (caída del cuadro). Fuente: Propia.

7 ANÁLISIS ESTRUCTURAL

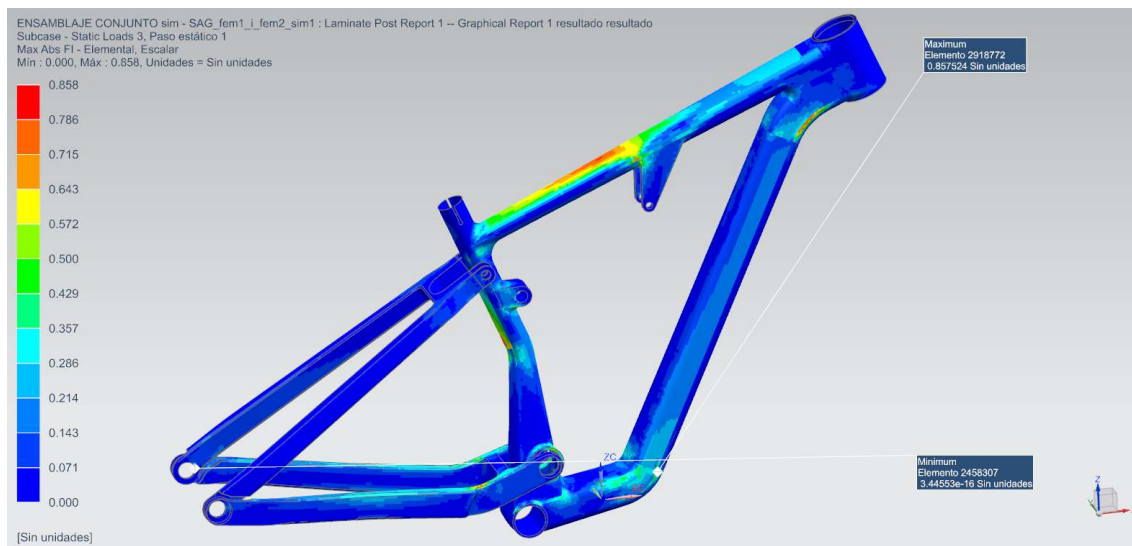


Figura 90. Índice de fallo global (caída del cuadro). Fuente: Propia.

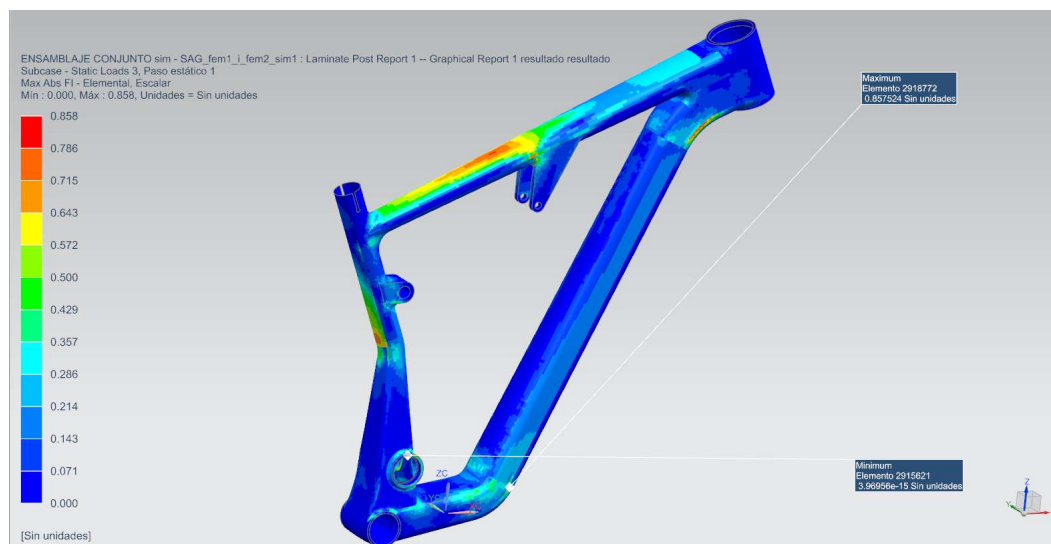


Figura 91. Índice de fallo triángulo principal (caída del cuadro). Fuente: Propia.

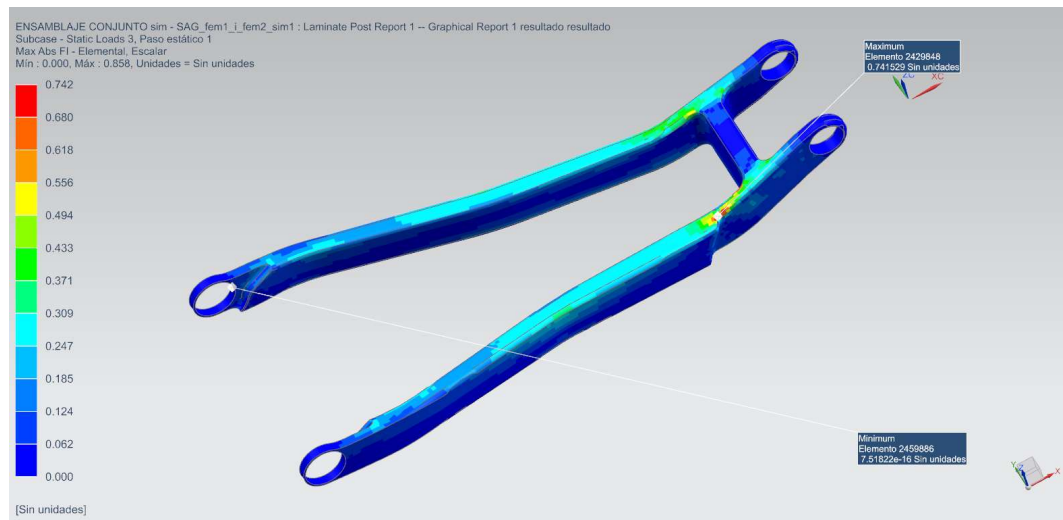


Figura 92. Índice de fallo vainas (caída del cuadro). Fuente: Propia.

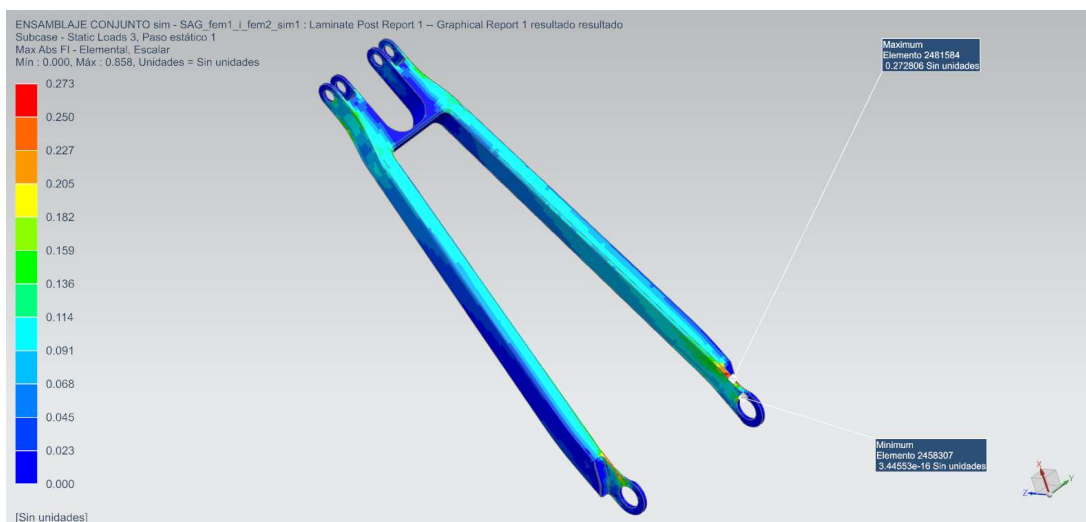
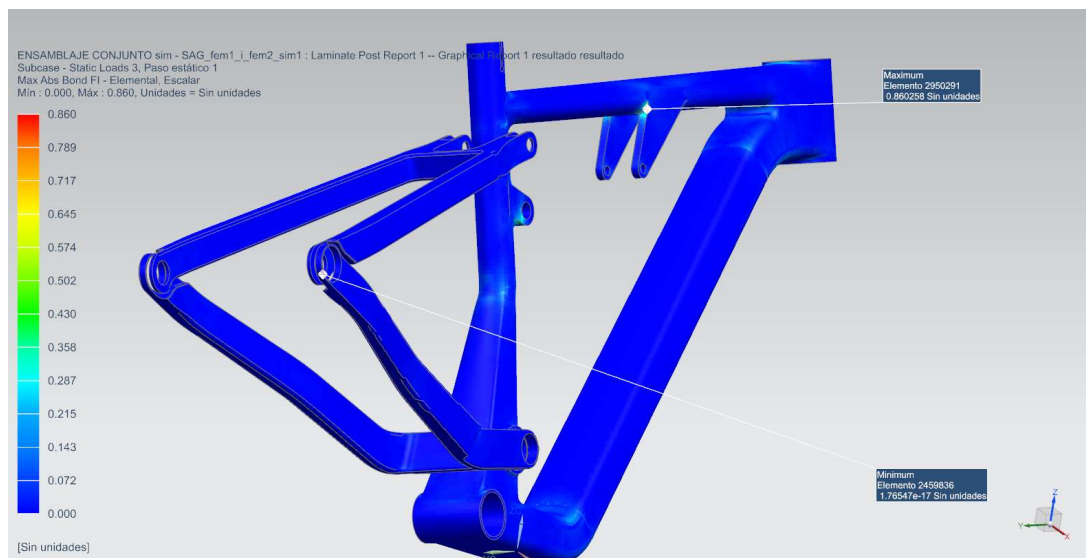


Figura 93. Índice de fallo tirantes (caída del cuadro). Fuente: Propia.



7 ANÁLISIS ESTRUCTURAL

Figura 94. Índice de fallo de adhesión (caída del cuadro). Fuente: Propia.

Conclusiones del ensayo

Atendiendo al índice de fallo de esta simulación puede verse como el mayor valor se alcanza en el cuadro es de 0,858 lo que da un coeficiente de seguridad de 1,17, por tanto, el cuadro pasa satisfactoriamente el ensayo. Atendiendo al triángulo principal se observa que el máximo valor se alcanza en la curva inferior del tubo diagonal, en la parte lateral; también se observa que hay bastantes zonas cerca de este límite, como la parte posterior del tubo del sillín, la curva superior del tubo diagonal, la parte superior de las orejetas y la cara superior del tubo superior. En principio no se requiere de ningún rediseño en estas zonas, pero de hacerse, serían zonas interesantes de rediseñar o en las que estudiar nuevos layouts.

Por su parte, las vainas tienen un índice de fallo de 0,742, lo que implica un coeficiente de seguridad de 1,35, con lo que se pasa satisfactoriamente el ensayo. El punto más cerca del fallo vuelve a encontrarse en la vaina derecha, en la zona estrecha del cambio de sección. El índice de fallo de los tirantes es de 0,23 por lo que se puede concluir que no están muy cargados y que pasan holgadamente el ensayo.

Observando el índice de fallo de adhesión puede verse como el máximo valor que se obtiene es de 0,86 por lo que el cuadro no tiene problemas de deslaminado en este ensayo. Como se observa este valor máximo vuelve a darse en la parte posterior de las orejetas.

7.6 Ensayo de fatiga con fuerzas de pedaleo

Generalidades

En los ensayos sobre cuadros suspendidos con juntas pivotantes se ajusta el resorte, la presión de aire o el amortiguador con el fin de que la resistencia sea máxima, o en el caso de un amortiguador neumático en el que la presión de aire no pueda ajustarse, se reemplaza la unidad de suspensión por una unión rígida, asegurando que los sistemas de fijación en los extremos y la rigidez lateral simulen de manera precisa las características del sistema de origen.

Método de ensayo

Se monta el conjunto cuadro-horquilla por eje la horquilla a un dispositivo de fijación de radio R_w (igual al del conjunto rueda/neumático, con un margen de ± 30 mm) y con el buje libre

para girar alrededor de su eje. Se fijan las punteras traseras por medio de un eje a una unión vertical rígida que tiene la misma altura que el dispositivo rígido delantero de fijación, estando libre la parte superior para oscilar alrededor del centro del eje, pero garantizando una rigidez en un plano lateral y estando provista la extremidad inferior de la unión de una rótula.

Para realizar el ensayo es preferible utilizar un conjunto de sustitución rígido y resistente, en la caja de pedalier como se muestra en la Figura 95 y como se describe a continuación, que sustituya al sistema de transmisión convencional.

Se utiliza un adaptador de sustitución controlando que el conjunto puede girar libremente alrededor del eje de la caja de pedalier y que los dos componentes de sustitución de las bielas tienen una longitud de 175 mm y están dirigidos hacia delante y hacia abajo con un ángulo de 45° respecto a la horizontal. Se bloquean los componentes de sustitución en esta posición con la ayuda de un brazo de palanca vertical (que sustituye al plato) y un tirante provisto de rótulas en ambos extremos y que se conecta al eje trasero perpendicularmente al eje del centro de la rueda trasera. La longitud del brazo vertical (R_c) debe ser de 75 mm y el eje del tirante debe ser paralelo y estar a 50 mm del plano transversal vertical del cuadro.

Se somete cada eje de pedal a una fuerza repetida de 1200 N en un punto situado a 150 mm del eje del cuadro en un plano transversal vertical y con una inclinación de $7,5^\circ$ respecto al plano longitudinal del cuadro, como se muestra en la Figura 95. Durante la aplicación de estas fuerzas de ensayo, se verifica que la fuerza sobre un "eje de pedal" ha descendido al 5% o menos de la fuerza máxima antes de comenzar a aplicar la fuerza de ensayo al otro "eje de pedal".

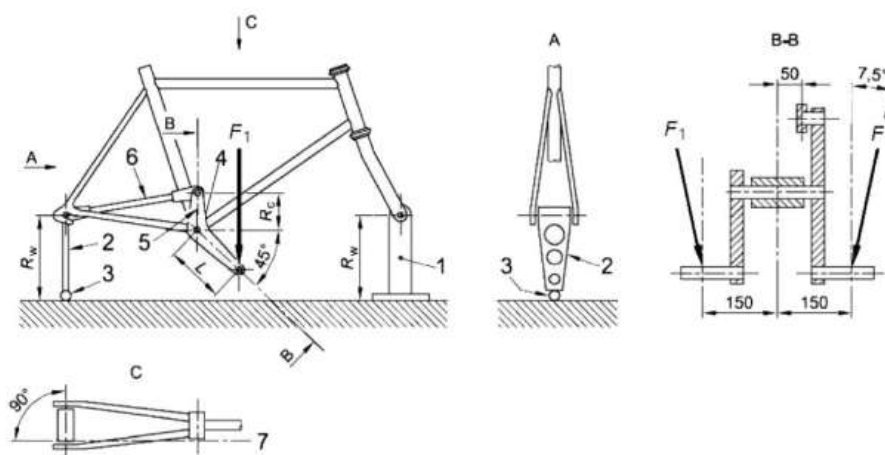
Se aplican las fuerzas de ensayo durante 100000 ciclos de ensayo, sabiendo que un ciclo de ensayo consiste en aplicar y después en retirar las dos fuerzas de ensayo. La frecuencia máxima de ensayo no puede superar los 10 Hz.

7 ANÁLISIS ESTRUCTURAL

Tabla 3 – Fuerzas en el eje del pedal

Tipo de bicicleta	Fuerzas en newtons			
	Bicicletas de paseo	Bicicletas para adultos jóvenes	Bicicletas de montaña	Bicicletas de carreras
Fuerza, F_1	1 000	1 000	1 200	1 100

Medidas en milímetros



Leyenda

- R_v Altura del dispositivo de fijación rígida y unión vertical
- R_{c1} Longitud del brazo vertical (75 mm)
- L Longitud de la biela (175 mm)
- 1 Montaje rígido
- 2 Unión vertical
- 3 Rótula
- 4 Montaje adaptador
- 5 Brazo vertical
- 6 Tirante
- 7 Eje del tirante

Figura 95. Ensayo de fatiga con fuerzas de pedaleo.

Requisitos

Al ensayar según el método descrito en el apartado 4.3 de la norma 4210-6:2015, no debe haber ni fisuras ni roturas visibles en el cuadro, y no debe haber ninguna separación de ninguna pieza de ningún sistema de suspensión.

Elementos auxiliares

Para llevar a cabo este ensayo se montarán los tres elementos de utillaje auxiliares vistos en el apartado 7.4., con la salvedad de que en este caso el falso amortiguador tiene la longitud completa, es decir, no se presupone ninguna compresión.

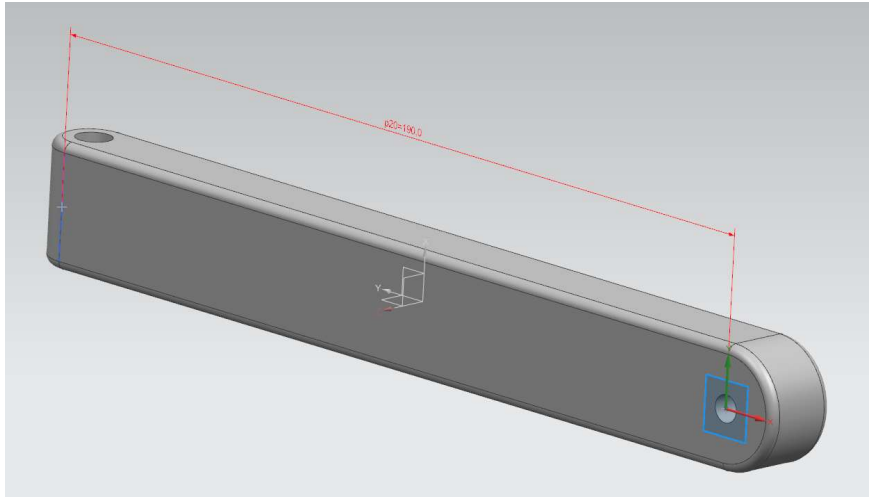


Figura 96. Falso amortiguador longitud completa. Fuente: Propia.

Además, se montan unas bielas falsas y una falsa rueda trasera con las dimensiones indicadas en la Figura 95. La estructura de la rueda trasera tiene una longitud igual al radio de la cubierta más grande que podría montarse, es decir 377,5 mm.

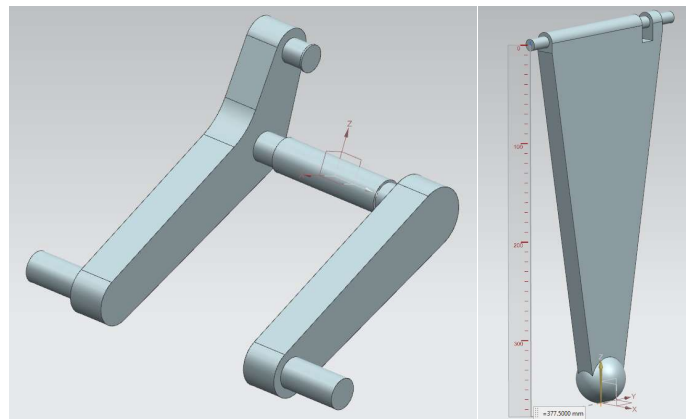


Figura 97. Bielas falsas y estructura de la rueda trasera. Fuente: Propia.

Restricciones internas

Las restricciones internas coinciden con las ya mencionadas en el apartado 7.4. con la excepción de que se añaden dos nuevos elementos. El primero de ellos es las falsas bielas, que se conectan al cuadro mediante el emparejamiento de la RBE2 que se corresponde al eje de las bielas y la que pasa por el eje de las cazoletas, en la que solo se permite la rotación en el sentido del eje. El segundo elemento que se añade es la estructura que simula la rueda trasera que se une al cuadro a través del eje de la rueda, de nuevo con el emparejamiento de la RBE2 que pasa por el eje de esta estructura y el que pasa por el eje del cuadro en

7 ANÁLISIS ESTRUCTURAL

ambos lados. Para finalizar, hay que añadir el elemento de transmisión de la fuerza que aparece la Figura 95, que nuevamente se realiza emparejando RBE2 pero esta vez localizadas en los puntos donde se conecta esta barra con las dos piezas comentadas anteriormente. En este caso se restringe el movimiento de las uniones en el sentido X, para que se transmitan los esfuerzos provocados en los pedales al eje trasero.

Restricciones externas

El modelo se restringe de acuerdo con lo especificado en la Figura 95. Por tanto, se aplica una restricción en el eje delantero equivalente a la de un par prismático, de modo que se impiden las tres traslaciones y únicamente se permite la rotación sobre el eje de la rueda delantera.

La otra restricción que se aplica en este caso es a la estructura trasera. Esta puede girar sobre los tres ejes. Pivota sobre el punto de articulación inferior como si de una rotula esférica se tratase, por tanto se restringen las tres traslaciones sobre un único nodo que coincide con el punto más bajo de la estructura trasera.

Para esta simulación se crean dos subcasos, en uno se aplica la fuerza sobre el pedal derecho y en el otro sobre el pedal izquierdo.

Mallado

El mallado para todos los elementos que coinciden con los del apartado 7.4 no varía. Sin embargo, en esta simulación se introducen dos nuevos elementos. Para ambos elementos se ha empleado un mallado con elementos CTETRA(4) con un tamaño de elemento de 10 mm.

Interpretación de los resultados

Fuerza en el pedal izquierdo

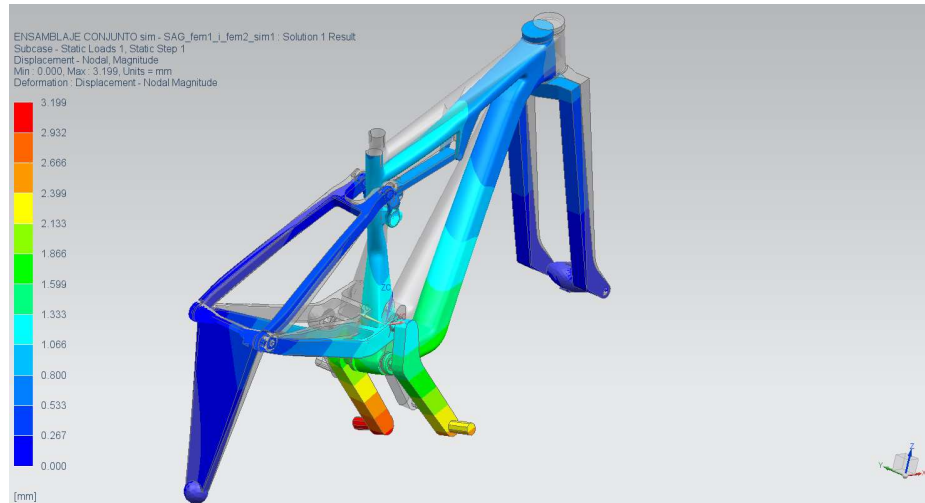


Figura 98. Desplazamiento (Fuerza de pedaleo izquierda). Fuente: Propia.

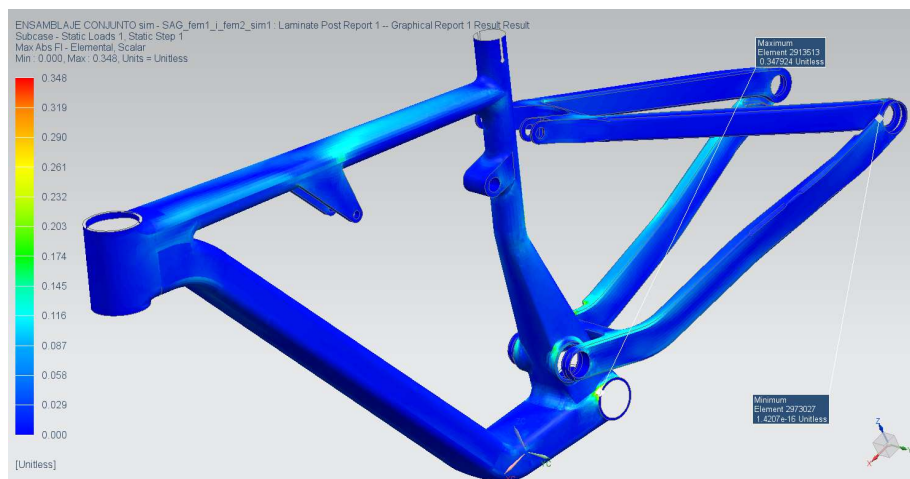


Figura 99. Índice de fallo global (Fuerza de pedaleo izquierda). Fuente: Propia.

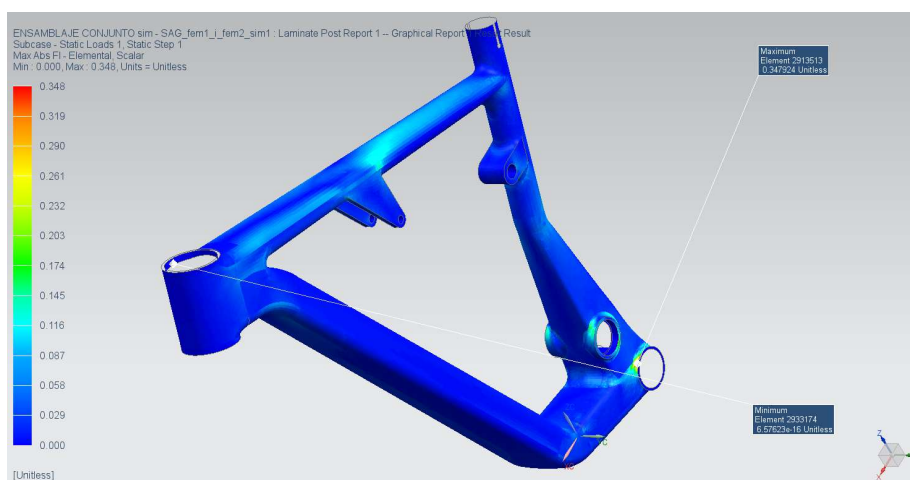


Figura 100. Índice de fallo triángulo principal (Fuerza de pedaleo izquierda). Fuente: Propia.

7 ANÁLISIS ESTRUCTURAL

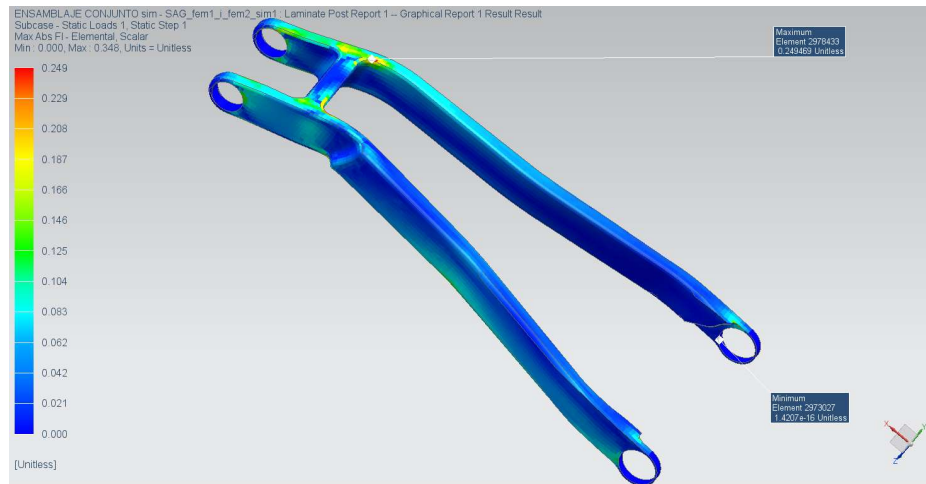


Figura 101. Índice de fallo vainas (Fuerza de pedaleo izquierda). Fuente: Propia.

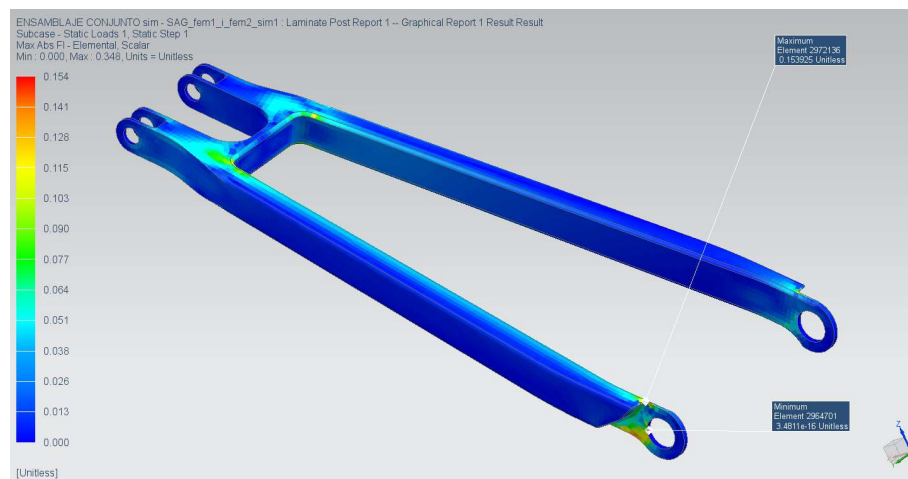


Figura 102. Índice de fallo tirantes (Fuerza de pedaleo izquierda). Fuente: Propia.



Figura 103. Índice de fallo de adhesión (Fuerza de pedaleo izquierda). Fuente: Propia.

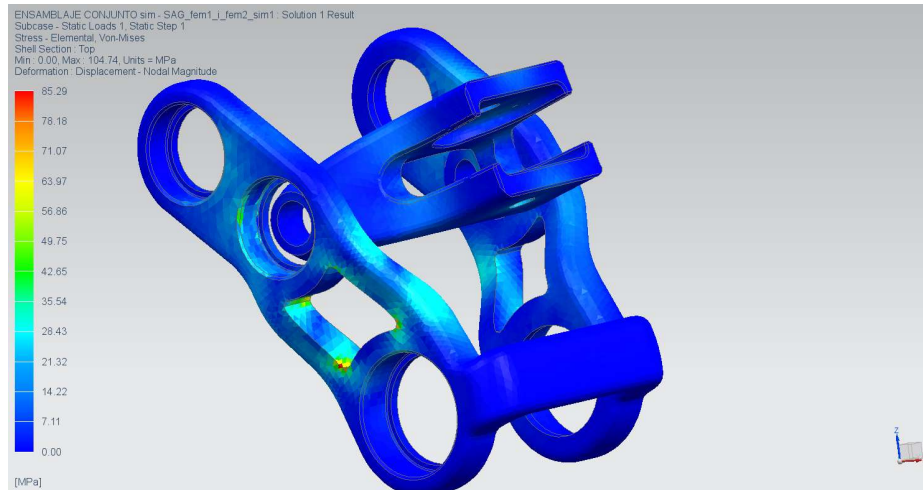


Figura 104. Tensión en los elementos de aluminio. Fuente: Propia.

Fuerza en el pedal derecho

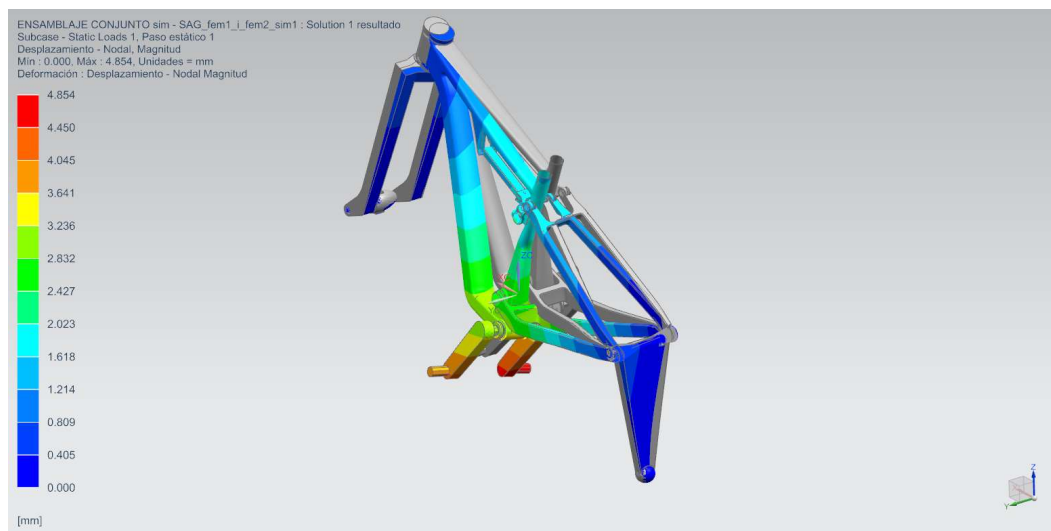


Figura 105. Desplazamiento (Fuerza de pedaleo derecha). Fuente: Propia.

7 ANÁLISIS ESTRUCTURAL

Máximo Fi

Global

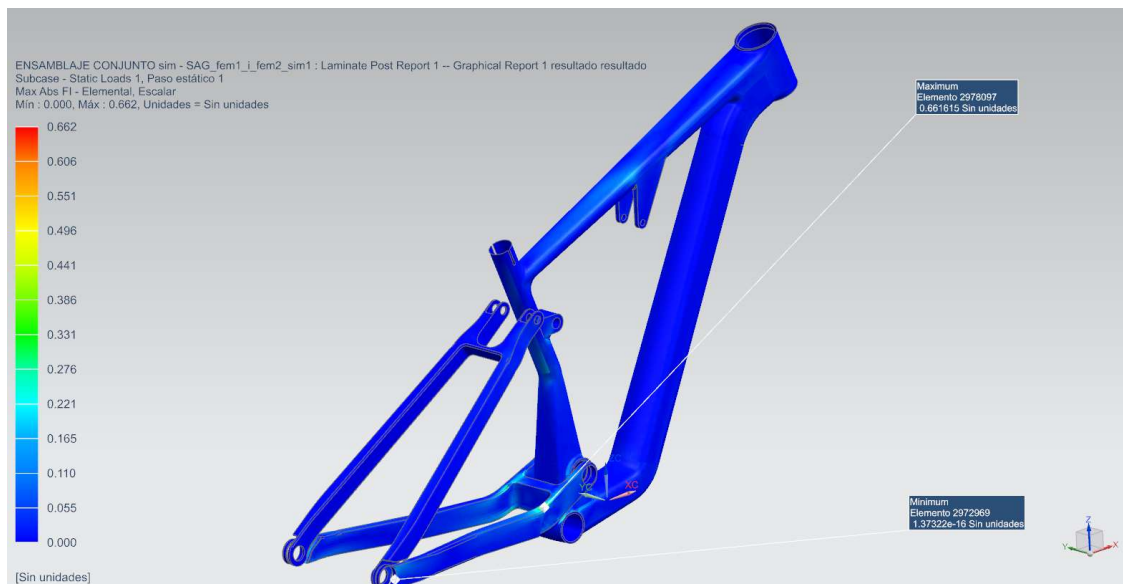


Figura 106. Índice de fallo global (Fuerza de pedaleo derecha). Fuente: Propia.

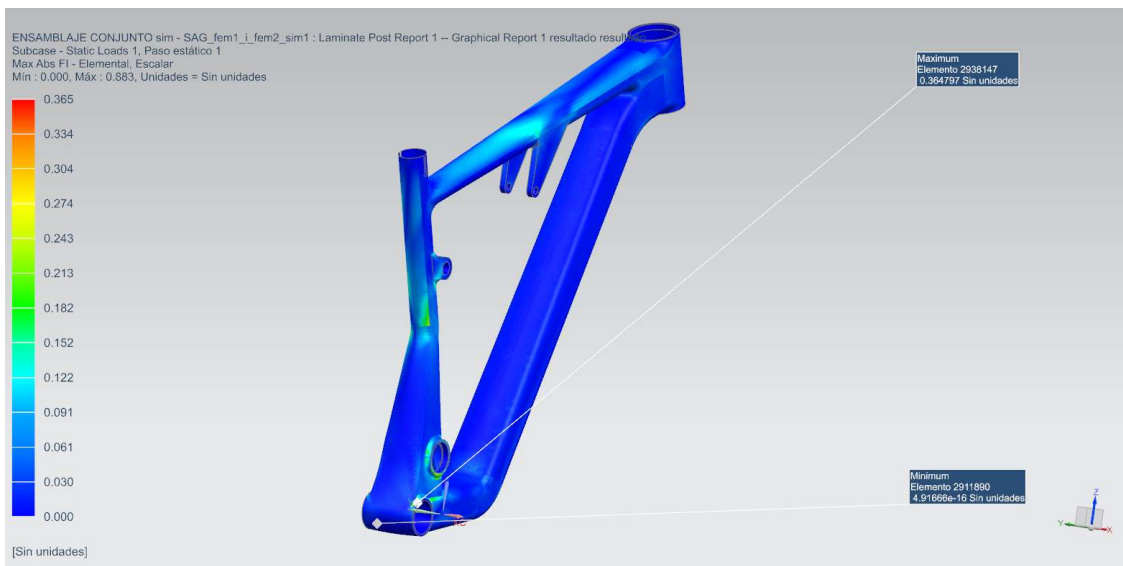


Figura 107. Índice de fallo triángulo principal (Fuerza de pedaleo derecha). Fuente: Propia.

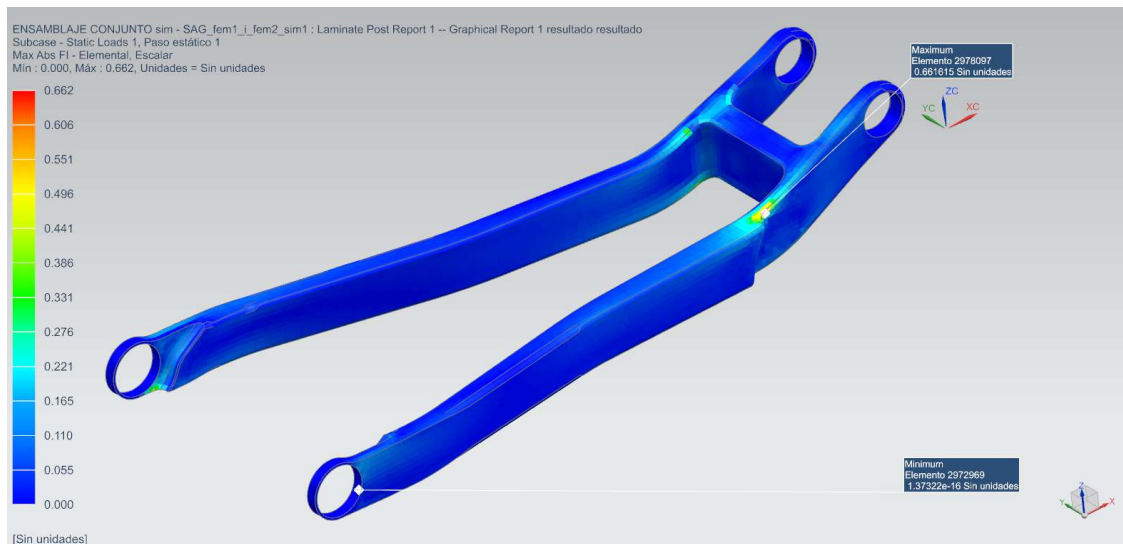


Figura 108. Índice de fallo vainas (Fuerza de pedaleo derecha). Fuente: Propia.

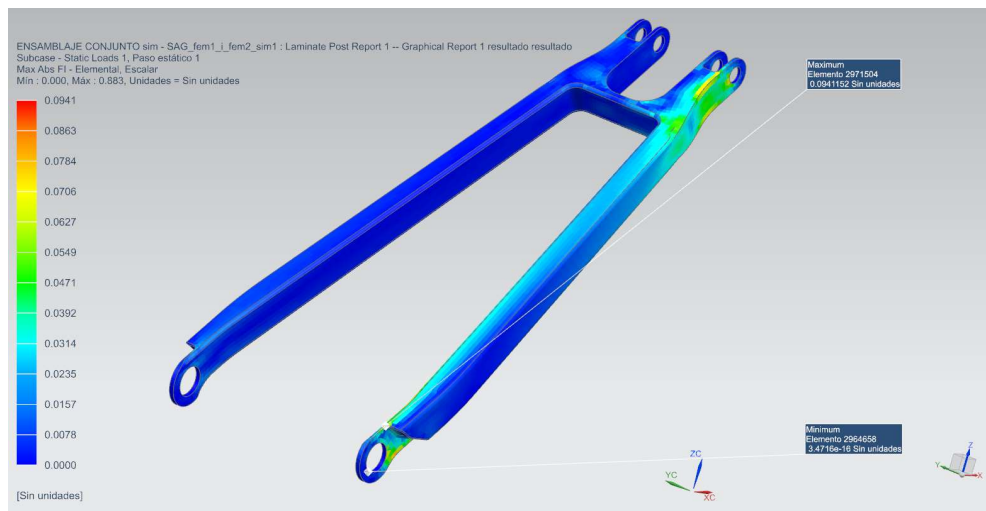


Figura 109. Índice de fallo tirantes (Fuerza de pedaleo derecha). Fuente: Propia.

7 ANÁLISIS ESTRUCTURAL

Máximo bond fi

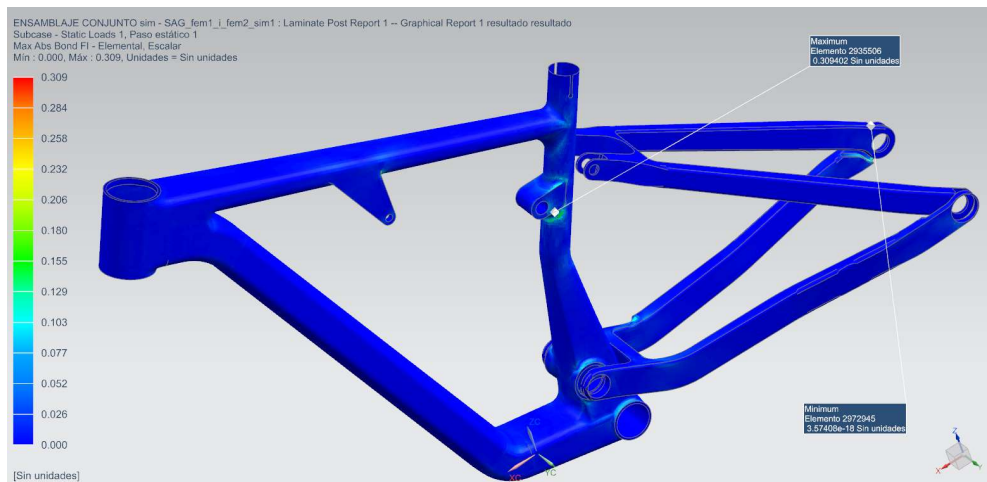


Figura 110. Índice de fallo de adhesión (Fuerza de pedaleo derecha). Fuente: Propia.

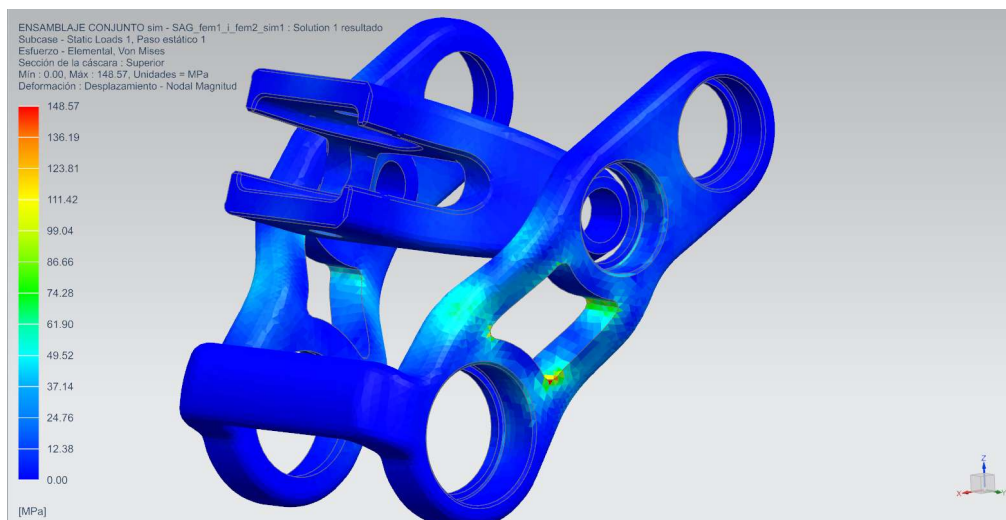


Figura 111. Tensión en los elementos de aluminio. Fuente: Propia.

Conclusiones del ensayo

Cuando la fuerza actúa sobre el pedal izquierdo el máximo índice de fallo del cuadro es de 0,348 lo que da como resultado un coeficiente de seguridad de 2,87 por lo que se considera que en esta situación el cuadro no presentara ningún problema. Este máximo valor se alcanza en la parte superior izquierda de la zona del pedaliar. Por su parte el índice de fallo de deslaminado para esta fuerza de 0,276 por lo que tampoco se espera que se produzca el deslaminado a causa de esta fuerza.

Cuando actúa la fuerza derecha se puede ver como el máximo desplazamiento es mayor, 4,854 mm frente a los 3,199 que había con la fuerza izquierda, la principal razón detrás de

este efecto es que la vaina es más débil en la zona derecha debido a que se ha tenido que realizar un rebaje para que no roce con el plato. El índice fallo también es 0,662, bastante mayor en esta situación, alcanzando su valor máximo en la zona superior de la vaina derecha justo donde se cambia la sección. Con este valor el coeficiente de seguridad de la vaina es de 1,51 por lo que se considera que pasa el ensayo, pero es una zona a tener en cuenta de cara a futuros rediseños. El índice de fallo por deslaminado es de 0,309 por lo que tampoco se espera que se produzca este efecto durante los ensayos.

La máxima tensión en las piezas de aluminio es de 148 MPa, lo que está por debajo del límite de fatiga de este aluminio que es 190 MPa.

7.7 Ensayo de fatiga con fuerzas horizontales

Generalidades

En este ensayo no es indispensable instalar una horquilla real, siempre y cuando la horquilla de sustitución tenga la misma longitud que la prevista, esté correctamente colocada entre los rodamientos del tubo de dirección y cumpla con los criterios establecidos en el anexo A de la norma. Dado que la bicicleta diseñada cuenta con suspensión delantera la horquilla se bloquea a una longitud correspondiente a la producida por un ciclista de 80kg.

En los ensayos sobre cuadros con suspensión provistos de juntas pivotantes se bloquea la parte móvil del cuadro en la posición que se obtendría con un ciclista de 80 kg montado sobre la bicicleta. Para lograr esto la suspensión puede reemplazarse por una unión rígida que tenga el tamaño comprimido adecuado.

Debe verificarse que los centros de los ejes delantero y trasero están alineados en el plano horizontal.

Método de ensayo

Se instala el cuadro en su posición normal y se fija por el eje trasero de modo que no se limite su rotación. El eje delantero se fija de forma que se permita su movimiento horizontal.

Se aplican ciclos de fuerzas dinámicas horizontales de 1200 N hacia delante y de 600 N hacia atrás en las punteras de la horquilla delantera durante 50000 ciclos. La horquilla delantera se

7 ANÁLISIS ESTRUCTURAL

bloquea en dirección vertical de modo que solo se permite el movimiento longitudinal bajo el efecto de las fuerzas aplicadas. La frecuencia máxima de ensayo es de 10 Hz.



Leyenda

- 1 Rodillo guiado que puede girar libremente
- 2 Montura pivotante rígida para el punto de fijación del eje trasero

Figura 4 – Cuadro. Ensayo de fatiga por fuerzas horizontales

Figura 112. Ensayo de fatiga por fuerzas horizontales.

Requisitos

Al ensayar según el método descrito en el apartado 4.4 de la norma 4210-6:2015, no debe haber ni fisuras ni roturas visibles en el cuadro, y no debe de haber ninguna separación de ninguna pieza de ningún sistema de suspensión.

Elementos auxiliares

Para llevar a cabo este ensayo se montarán tres elementos de utillaje auxiliares; un falso amortiguador, un rodillo delantero y una falsa horquilla.

La falsa horquilla coincide con la utilizada en el apartado 7.5, mientras que falso amortiguador y el rodillo coinciden con el utilizado en el apartado 7.4.

Restricciones internas

Este análisis es muy parecido al realizado en el apartado 7.4, solamente cambian los valores de las fuerzas, el sentido de una de ellas y la longitud de la horquilla. Por tanto, las restricciones internas son las mismas.

Restricciones externas

El modelo se restringe de acuerdo con lo especificado en la Figura 112. Por tanto, se aplican las mismas restricciones en el eje delantero y trasero que ya se aplicaron en el apartado 7.4.

Para esta simulación también se crean dos subcasos. En el primero de ellos se aplica una fuerza de 1200 N hacia delante y en el segundo una de 600 N hacia detrás, tal y como describe la norma.

Mallado

El mallado para todos los elementos que coinciden con los del apartado 7.4. El único elemento diferente es la horquilla, que es 30 mm más corta, pero se han empleado los mismos tipos de elementos para el mallado y del mismo tamaño.

Interpretación de los resultados

Fuerza frontal

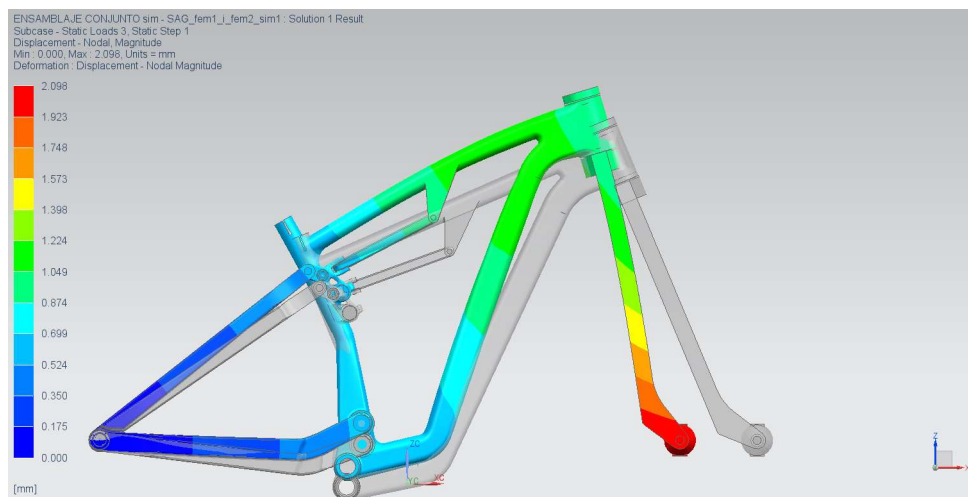


Figura 113. Deplazamiento (fuerza horizontal frontal). Fuente: Propia.

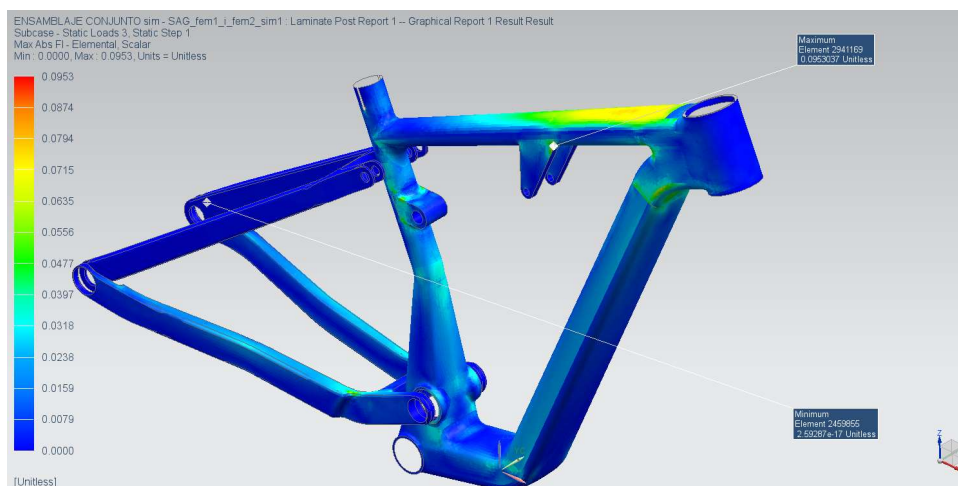


Figura 114. Índice de fallo global (fuerza horizontal frontal). Fuente: Propia.

7 ANÁLISIS ESTRUCTURAL

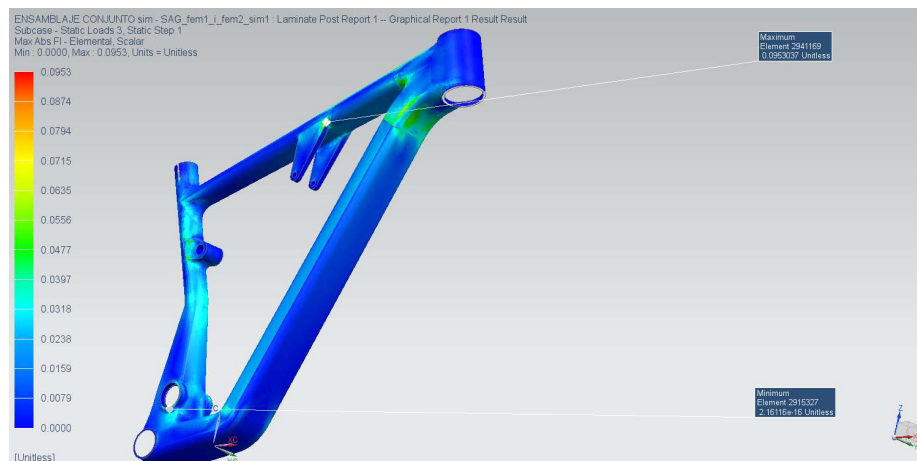


Figura 115. Índice de fallo triángulo principal(fuerza horizontal frontal). Fuente: Propia.

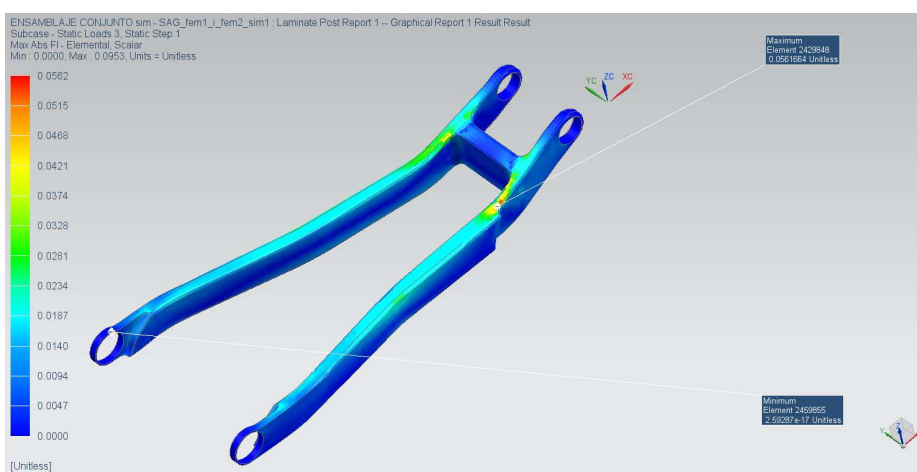


Figura 116. Índice de fallo vainas (fuerza horizontal frontal). Fuente: Propia.

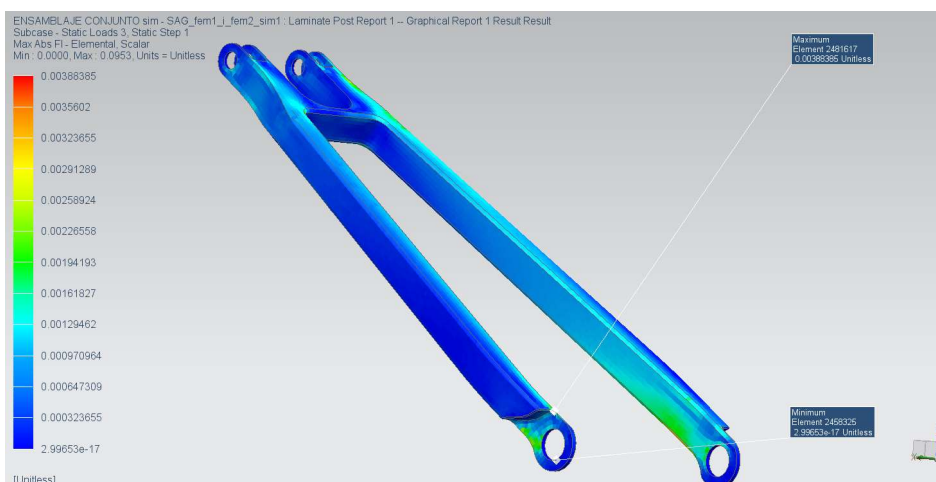


Figura 117. Índice de fallo (fuerza horizontal frontal). Fuente: Propia.

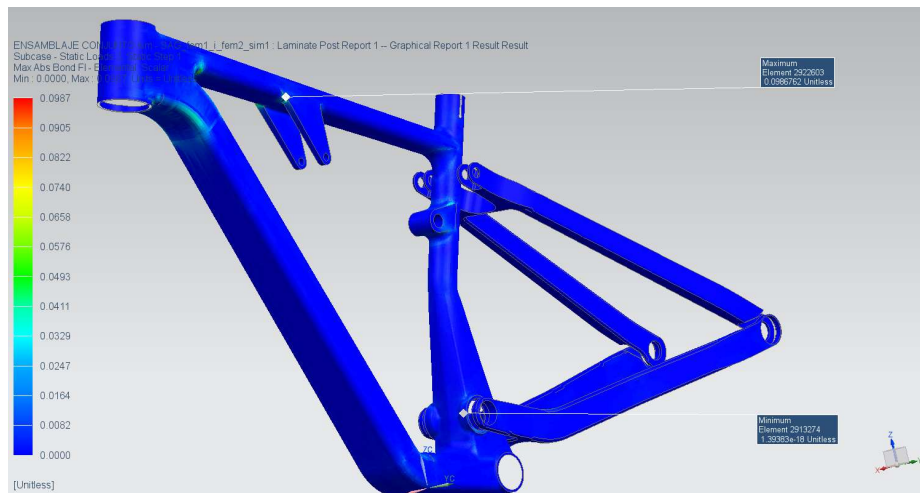


Figura 118. Índice de fallo adhesión (fuerza horizontal frontal). Fuente: Propia.

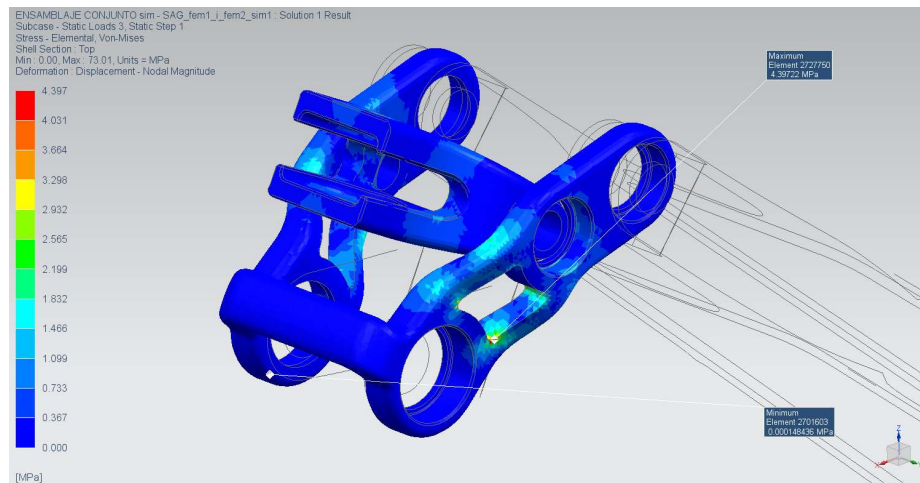


Figura 119. Tensión en los elementos de aluminio (fuerza horizontal frontal). Fuente: Propia.

Fuerza posterior

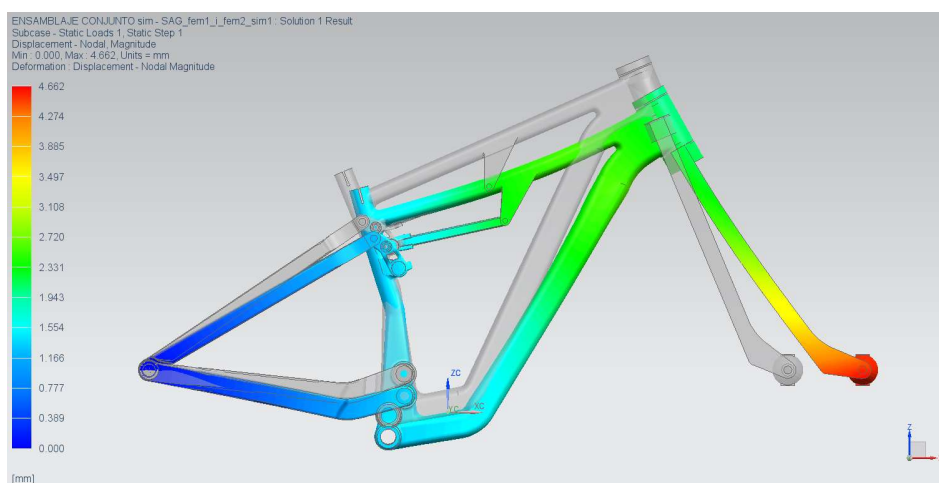


Figura 120. Desplazamiento (fuerza horizontal posterior). Fuente: Propia.

7 ANÁLISIS ESTRUCTURAL

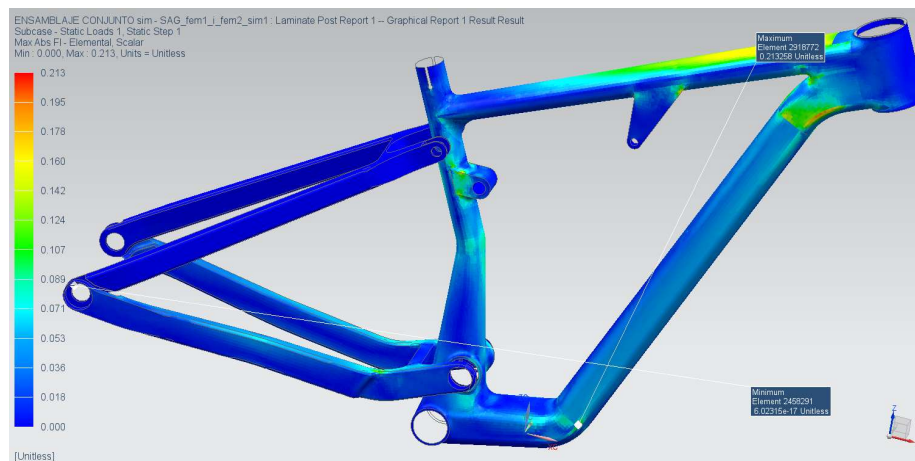


Figura 121. Índice de fallo (fuerza horizontal posterior). Fuente: Propia.

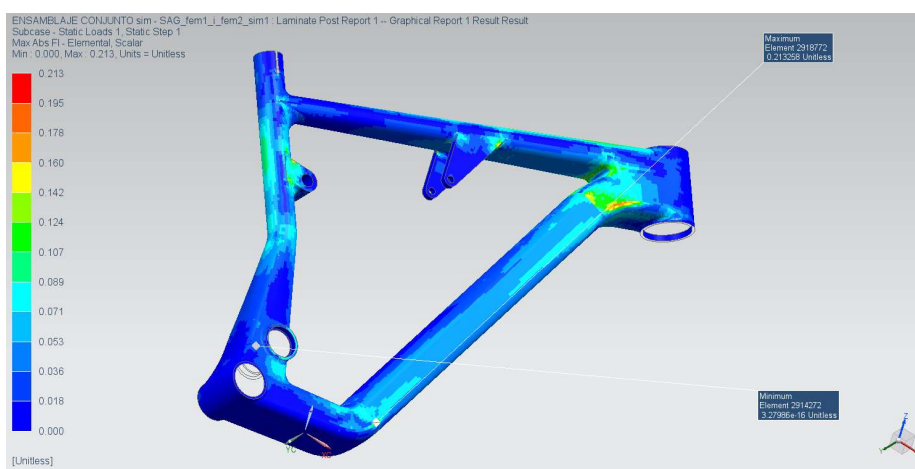


Figura 122. Índice de fallo triángulo principal (fuerza horizontal posterior). Fuente: Propia.

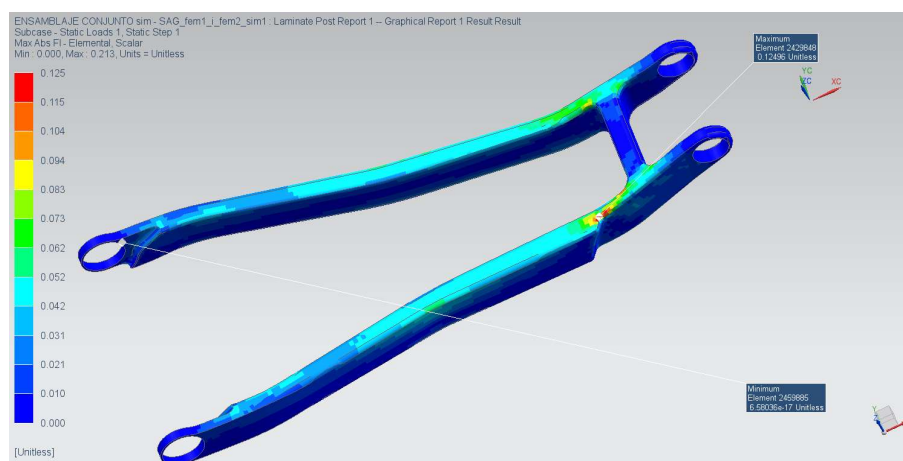


Figura 123. Índice de fallo vainas (fuerza horizontal posterior). Fuente: Propia.

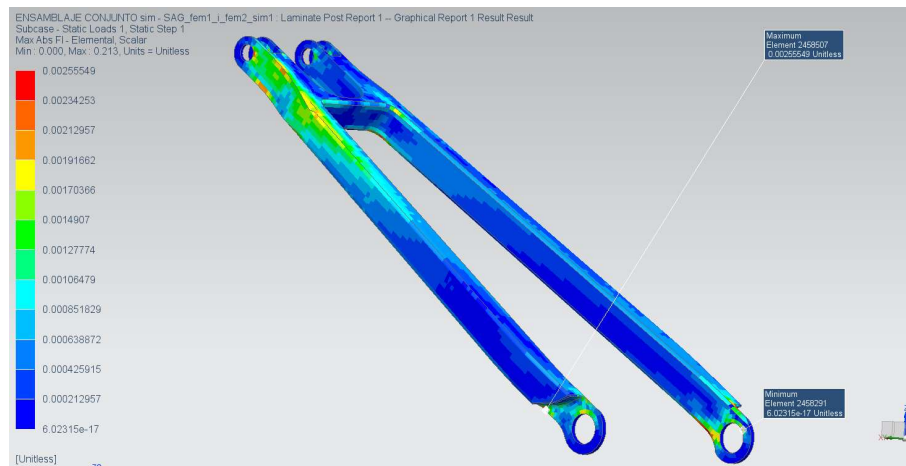


Figura 124. Índice de fallo tirantes (fuerza horizontal posterior). Fuente: Propia.

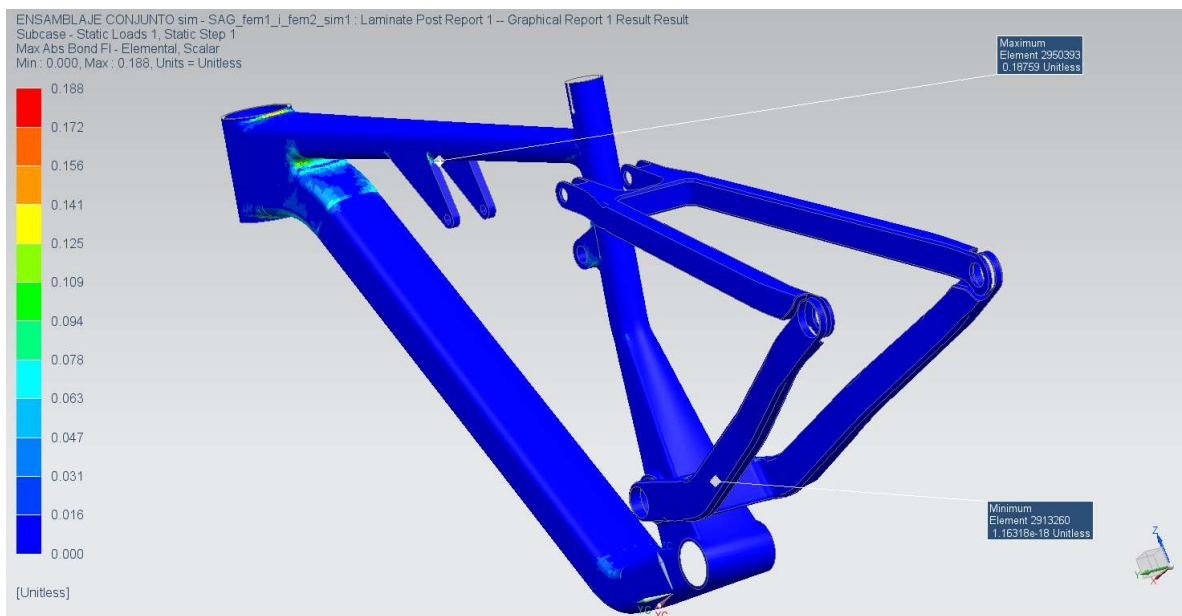


Figura 125. Índice de fallo adhesión (fuerza horizontal posterior). Fuente: Propia.

7 ANÁLISIS ESTRUCTURAL

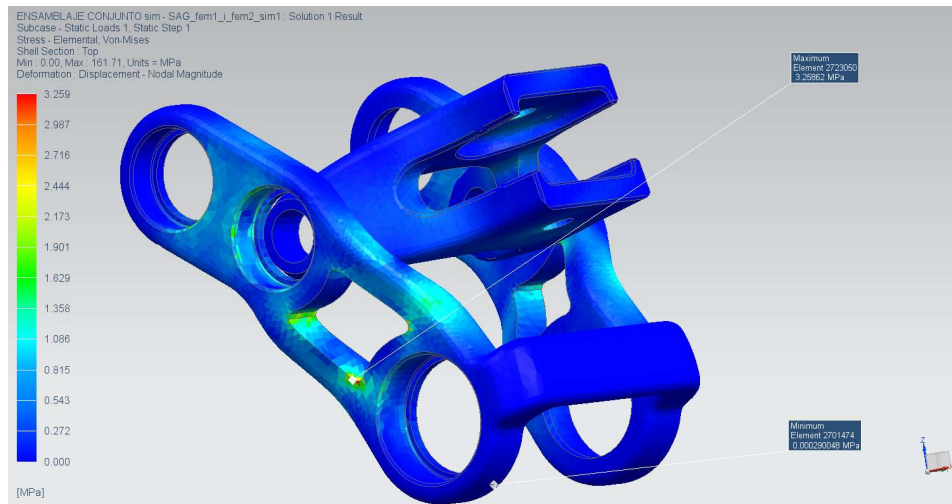


Figura 126. Tensiones en los elementos de aluminio (fuerza horizontal posterior). Fuente: Propia.

Conclusiones del ensayo

Como se ve en los resultados de la fuerza frontal (fuerza de 600 N) los índices de fallo son muy bajos. El mayor índice de fallo se produce en el triángulo principal en el empalme delantero de una de las orejetas, pero el valor es de 0,09653 con lo que el coeficiente de seguridad es 10,49, lo que cumple de sobra para fatiga. Por otra parte, el índice de fallo de adhesión es de 0,0987, lo que indica que tampoco habrá problemas con este fenómeno.

En el caso de la fuerza horizontal posterior (1200 N) los índices de fallo aumentan pero no llegan a puntos que puedan hacer que las piezas fallen en este ensayo. Para el triángulo principal el máximo valor obtenido es de 0,213 lo que da un valor del coeficiente de seguridad de 4,69. Este máximo se localiza en la zona lateral de la curva inferior del tibo diagonal, también pueden observarse unos valores relativamente cercanos en la parte inferior de la curva superior del tubo diagonal. Los valores del índice en las vainas y los tirantes son muy bajos como para que se profuzca fallo, pero se vuelve a ver como la zona crítica de las vainas es la parte superior de la de la vaina derecha, en la zona del cambio de seccion.

Por otro lado los valores del índice de fallo de adhesión no superan 0,188, por lo que la pieza no tendrá problemas de deslaminado: también puede verse que el punto crítico es nuevamente el empalme posterior de las orejetas.

Finalmente se observa como las tensiones de los componentes de alumnio son insignificantes, por lo que no se producirán fallos debidos a la fatiga en este ensayo.

7.8 Ensayo de fatiga con fuerza vertical

Generalidades

En los ensayos sobre cuadros suspendidos con juntas pivotantes se ajusta el resorte, la presión de aire o el amortiguador con el fin de que la resistencia sea máxima, o en el caso de que un amortiguador neumático en el que la presión de aire no pueda ajustarse, se reemplaza la unidad de suspensión por una unión rígida, asegurando que los sistemas de fijación en los extremos y la rigidez lateral simulen de manera precisa las características del sistema de origen.

En caso de que la horquilla cuente con suspensión, esta debe bloquearse a una longitud equivalente a la que produciría un ciclista de 80 kg sentado sobre la bicicleta.

Método de ensayo

Se coloca el cuadro en su posición normal, fijándolo en el eje trasero de forma que se permita su rotación. Se instala un rodillo apropiado en el eje delantero de modo que se permita al cuadro flexionar en el sentido longitudinal bajo el efecto de las fuerzas de ensayo.

Se introduce la tija a la profundidad mínima de inserción o el equivalente a una tija del sillín en la parte superior del cuadro a una profundidad de 75 mm y se fija con la ayuda de un dispositivo de sujeción normal y según las instrucciones del fabricante. Se fija rígidamente una extensión horizontal dirigida hacia atrás a la parte superior de esta tija de forma que su longitud se coloca en el punto H en una posición equivalente a la del centro del bastidor del sillín cuando la bicicleta se ajusta a la altura máxima del sillín recomendada para el cuadro en cuestión. Si no se dispone de la información sobre la altura máxima del sillín se supone que es 250 mm.

Se aplican ciclos de fuerza dinámica verticales de 1200 N en un punto situado a 70 mm detrás de la intersección de los ejes de la tija maciza de acero y de la extensión E, tal y como aparece en la Figura 127 durante 50000 ciclos. La frecuencia máxima del ensayo es de 10 Hz.

7 ANÁLISIS ESTRUCTURAL

Tabla 5 – Fuerzas sobre la tija del sillín

Tipo de bicicleta	Fuerzas en newtons			
	Bicicletas de paseo	Bicicletas para adultos jóvenes	Bicicletas de montaña	Bicicletas de carreras
Fuerza, F_4	1 000	500	1 200	1 200

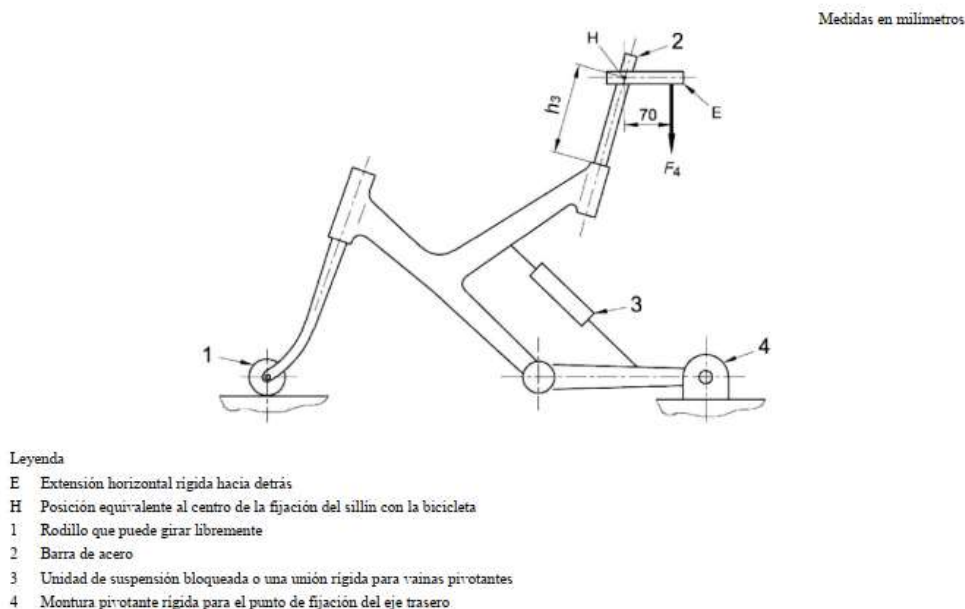


Figura 5 – Cuadro. Ensayo de fatiga con una fuerza vertical

Figura 127. Ensayo de fatiga con una fuerza vertical.

Requisitos

Al ensayar según el método descrito en el apartado 4.5 de la norma 4210-6:2015, no debe haber ni fisuras ni roturas visibles en el cuadro, y no debe de haber ninguna separación de ninguna pieza de ningún sistema de suspensión.

Elementos auxiliares

Para este ensayo se utiliza la misma horquilla falsa y el mismo amortiguador falso que en el apartado 7.5. Además de esto se incluye una tija de 400 mm, de los cuales 75 mm están dentro del cuadro, por lo que la tija sobresale 325 mm. De esta forma se trabaja del lado de la seguridad ya que se está introduciendo una tija de mayor longitud que la exigida.

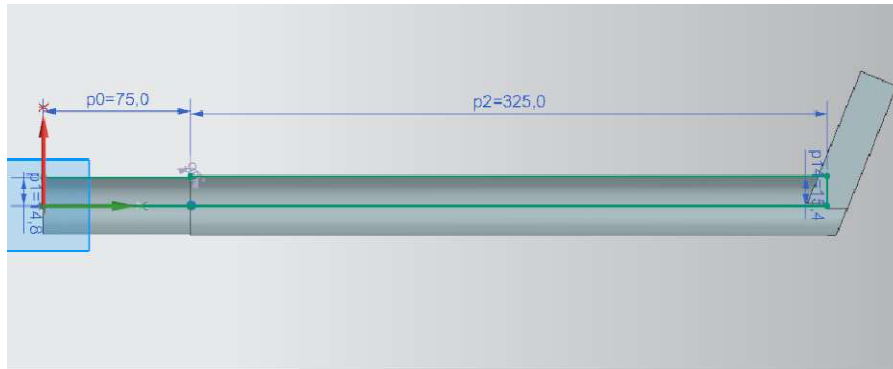


Figura 128. Tija falsa ensayo fatiga fuerzas verticales. Fuente: Propia.

Restricciones internas

Las restricciones internas empleadas para este modelo son las mismas que en el apartado 7.4. La única restricción nueva que se aplica es la unión de la tija con el cuadro, en la que se pegan las caras para evitar que la tija baje durante la simulación.

Restricciones externas

Las restricciones externas empleadas para este modelo coinciden con las empleadas en el apartado 7.4, a excepción de la fuerza horizontal sobre el rodillo que se ha eliminado. En su lugar se ha introducido una fuerza en la parte posterior del voladizo superior de 1200 N vertical con sentido negativo

Mallado

El mallado de todos los elementos del estudio coincide con el del apartado 7.4. La única excepción es la nueva tija que se ha mallado con elementos CTETRA(4) con un tamaño de 3,5 mm.

Interpretación de los resultados

7 ANÁLISIS ESTRUCTURAL

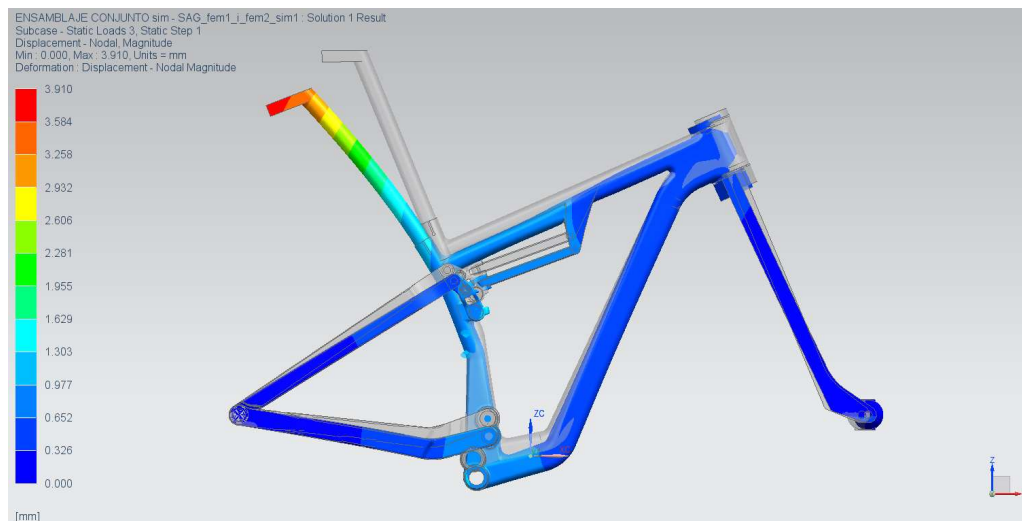


Figura 129. Desplazamiento (fuerza vertical). Fuente: Propia.

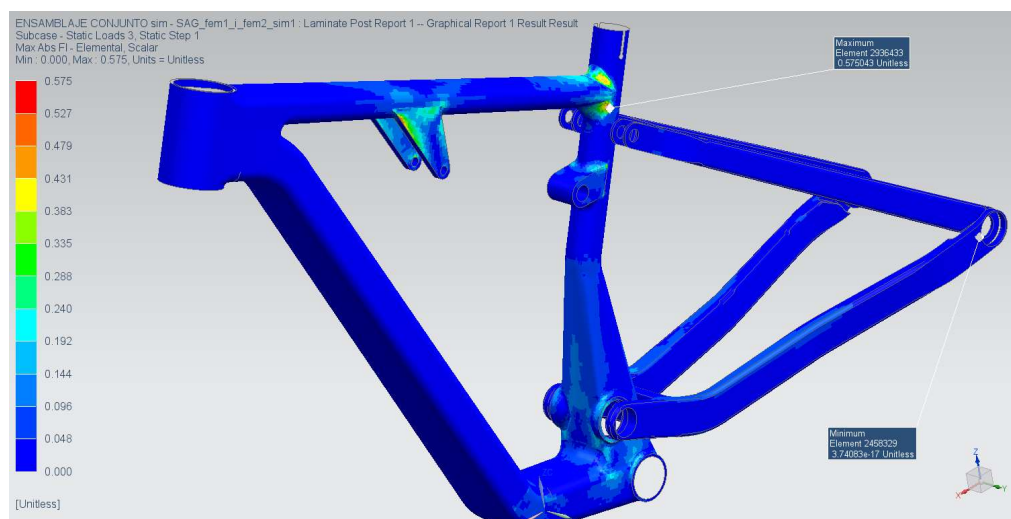


Figura 130. Índice de fallo global (fuerza vertical). Fuente: Propia.

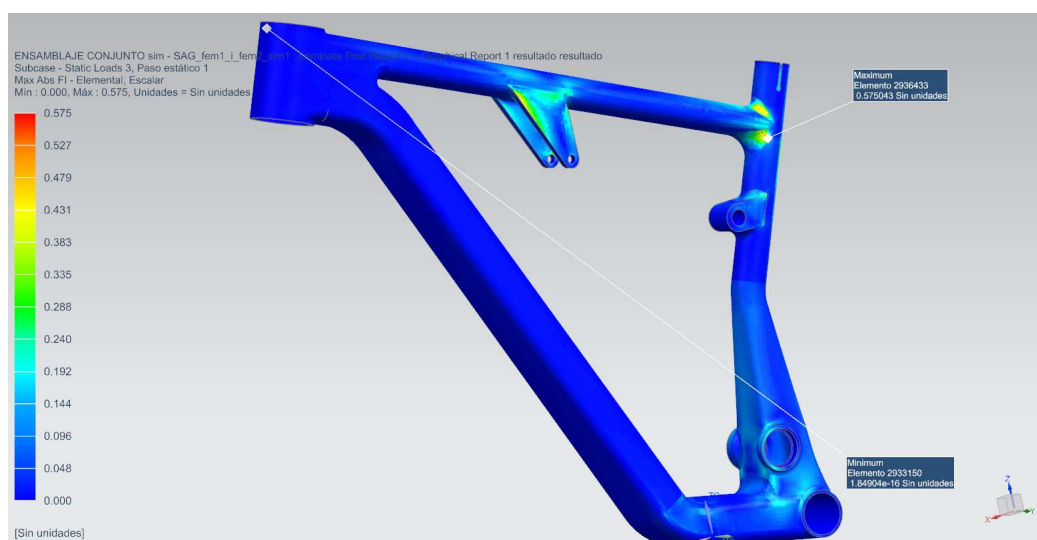


Figura 131. Índice de fallo triángulo principal (fuerza vertical). Fuente: Propia.

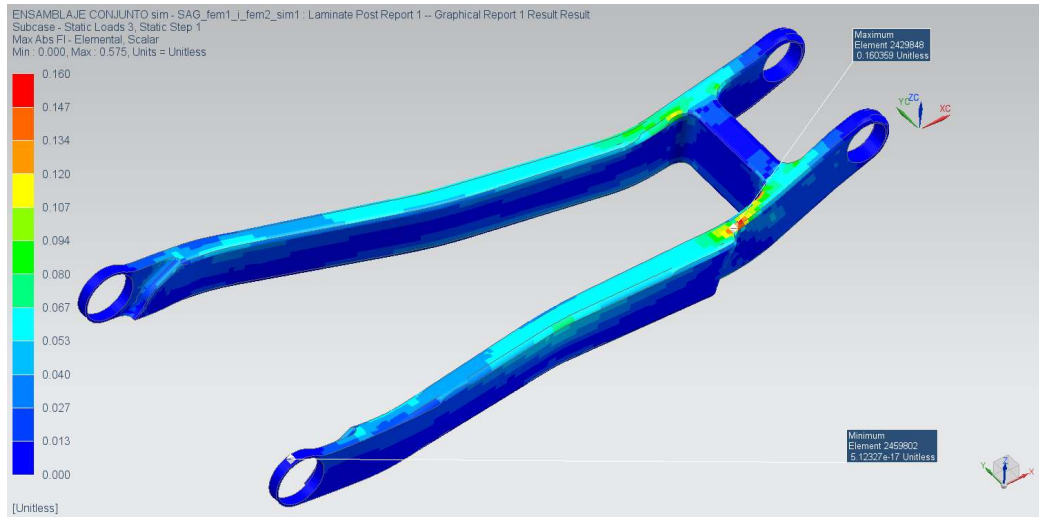


Figura 132. Índice de fallo vainas (fuerza vertical). Fuente: Propia.

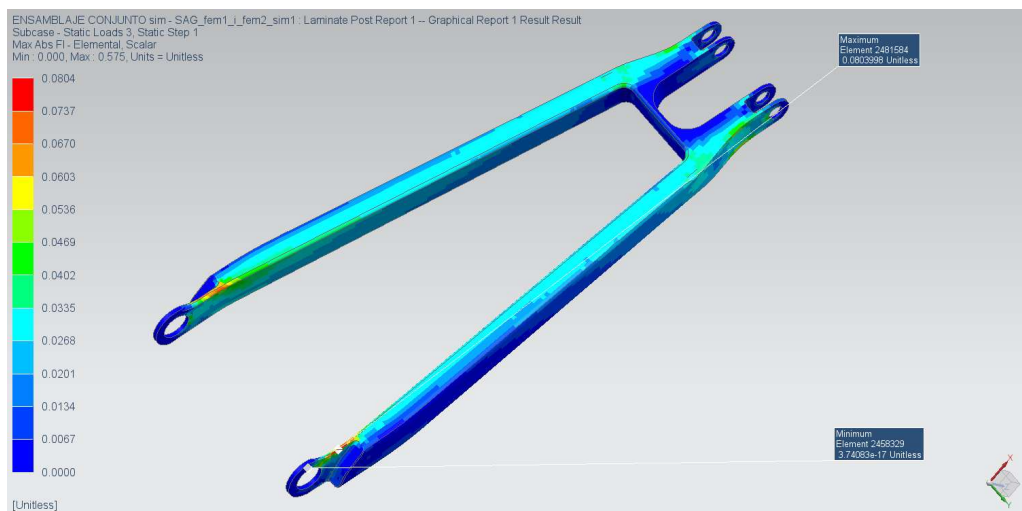


Figura 133. Índice de fallo tirantes (fuerza vertical). Fuente: Propia.

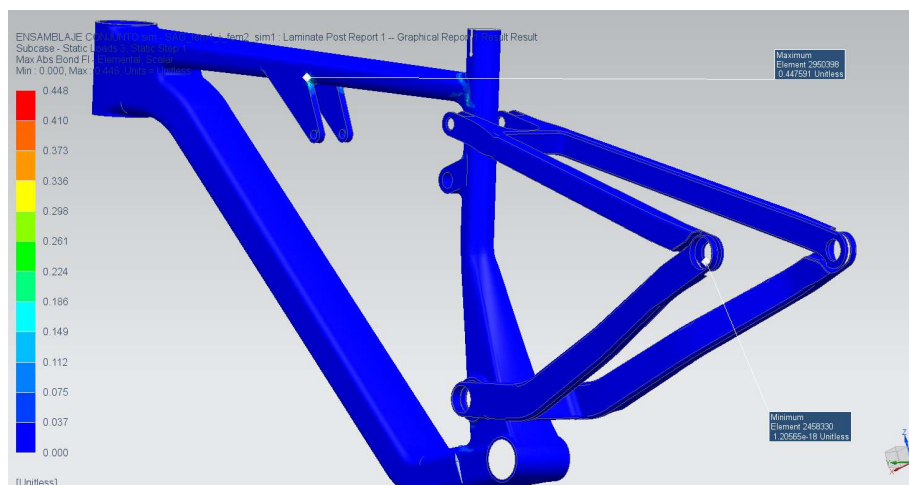


Figura 134. Índice de fallo adhesión (fuerza vertical). Fuente: Propia.

7 ANÁLISIS ESTRUCTURAL

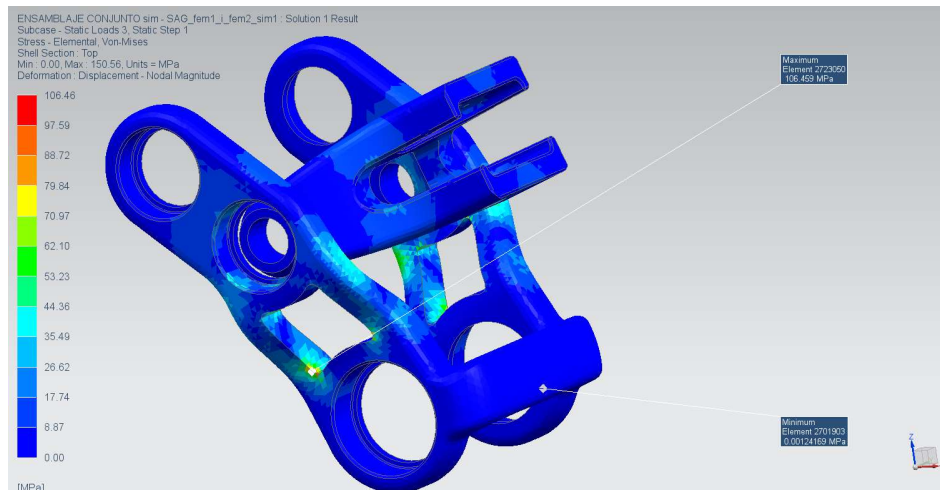


Figura 135. Tensiones en los elementos de aluminio (fuerza vertical). Fuente: Propia.

Conclusiones del ensayo

Lo primero que se puede observar al ver los resultados es que el desplazamiento de la tija ronda los 4 mm para una fuerza de 1200 N, lo cual indica que la rigidez vertical del tubo del sillín es buena.

Si se atiende a los índices de fallo puede observarse como el elemento que está más cerca del fallo es el triángulo principal, el cual alcanza un índice de fallo de 0,575 en los empalmes que unen el tubo del sillín con el tubo superior. También se observan unos índices de fallo cercanos a 0,45 en la zona de las orejetas, pero no es nada que pueda acabar siendo preocupante. Con todo esto el coeficiente de seguridad en la zona más crítica del cuadro es 1,74, con lo que se puede concluir que el cuadro aguanta los esfuerzos de fatiga que provoca esta fuerza vertical.

Para las vainas el índice de fallo es de 0,160 lo que da un coeficiente de seguridad 6,25, más que de sobra para pasar este ensayo. El punto con el mayor índice de fallo vuelve a estar en la parte más fina de la vaina derecha, cerca del cambio de sección. Por su parte el índice de fallo en el tirante es de 0,0804, por lo que se puede decir que el tirante está muy poco cargado en este ensayo.

Atendiendo al índice de fallo de adhesión se observa que el valor máximo es de 0,448 y está ubicado en el empalme posterior de las orejetas, pero este valor es bastante bajo por lo que se considera que no habrá problemas de adhesión en el laminado durante este ensayo.

Finalmente, las tensiones en los elementos de aluminio vuelven a ser bajas 106 MPa a frente a los 190 que puede tener un aluminio de estas características de límite a la fatiga.

7.9 Validación de la horquilla

En el caso de que no se disponga de una horquilla de verdad, la norma permite montar una falsa horquilla siempre y cuando cumpla con los requisitos del anexo A del documento ISO 4210-6:2015.

La horquilla debe tener la misma longitud del eje de la rueda a la corona que la horquilla real. Para validar la horquilla falsa debe tener el mismo sistema de unión al cuadro que la horquilla real.

Se realizarán los dos ensayos para ambas longitudes de la horquilla, es decir la longitud completa indicada en la Figura 29 y la longitud con un prehundimiento del 25%.

Restricciones externas

Se restringen las 3 traslaciones en el eje de dirección de la horquilla en la zona donde apoyarían los rodamientos superior e inferior. Las cargas se aplican en los puntos donde se conectaría la horquilla con el eje delantero de la rueda

Mallado

El mallado de la horquilla se realiza con elementos CTETRA(4) con un tamaño de elemento de 3 mm.

7.9.1 Flecha de la horquilla

Método de ensayo

La flecha de la horquilla ensayada se debe medir en el centro del eje en el sentido de aplicación de la fuerza vertical de 1200 N que actúa sobre el mismo. El sistema se restringe como se comentó anteriormente.

Resultados

7 ANÁLISIS ESTRUCTURAL

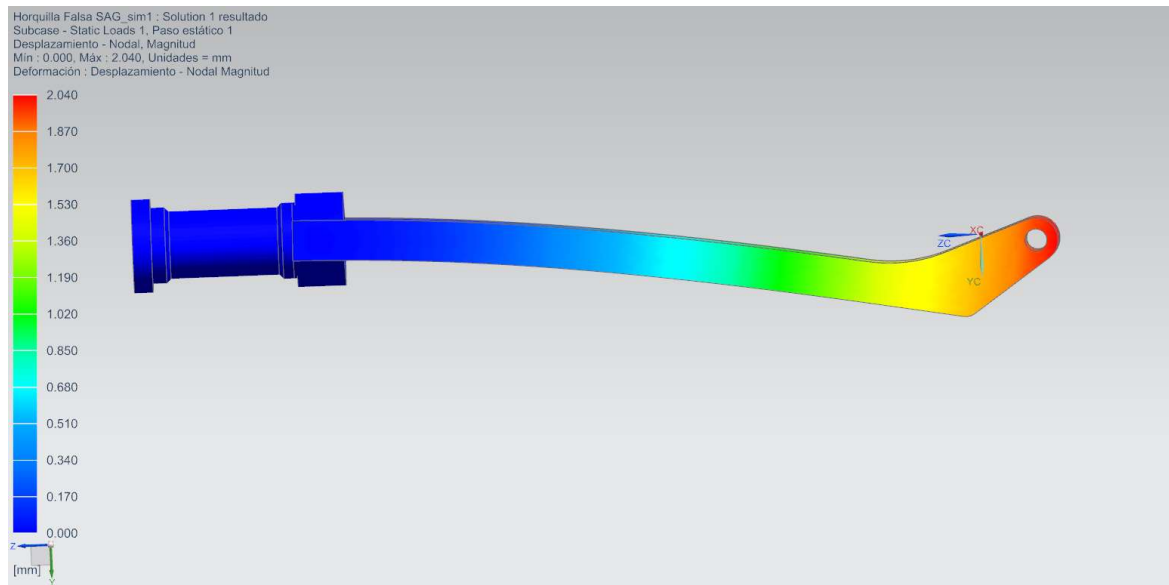


Figura 136. Ensayo carga vertical horquilla con sag. Fuente: Propia.

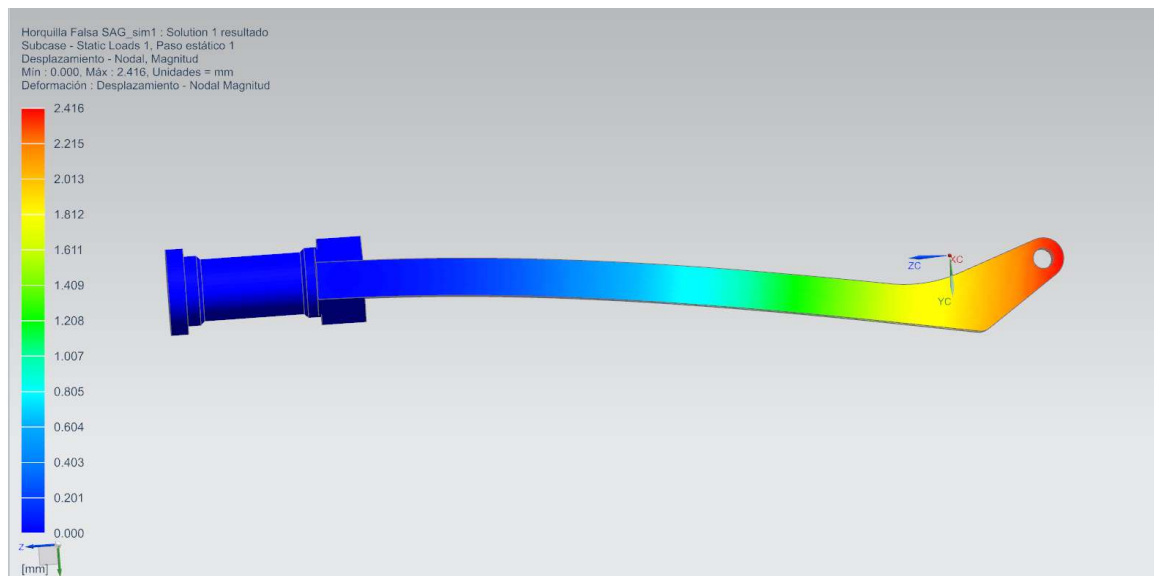


Figura 137. Ensayo carga vertical horquilla longitud completa. Fuente: Propia.

Requisitos

El ratio de la flecha D_r para la horquilla falsa para el ensayo de carga por fatiga horizontal y el ensayo de fatiga por carga vertical no debe exceder el valor de 1,0, siendo D_r :

$$D_r = \frac{1417 \times 10000 \times \delta}{L^3}$$

$$D_{r\text{ completa}} = \frac{1417 \times 10000 \times \delta_{\text{completa}}}{L_{\text{completa}}^3} = \frac{1417 \times 10000 \times 2,416}{530,2^3} = 0,230$$

$$D_{r\ sag} = \frac{1417 \times 10000 \times \delta_{sag}}{L_{sag}^3} = \frac{1417 \times 10000 \times 2,040}{500,2^3} = 0,231$$

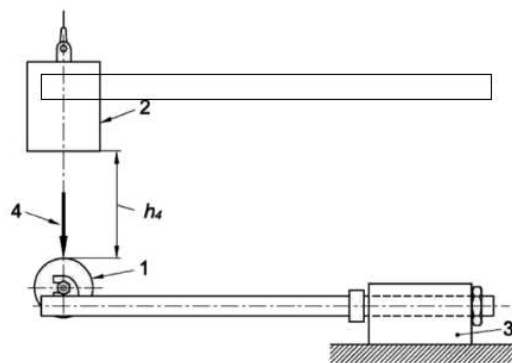
Se cumple el criterio establecido por la norma por lo que las horquillas diseñadas para sustituir a la real Cumplen satisfactoriamente esta primera condición.

7.9.2 Ensayo de choque

Método de ensayo

Se coloca la horquilla en posición horizontal en un soporte rígido que contiene los rodamientos de la dirección que mantiene fija la horquilla por el tubo de dirección.

Se coloca un percutor con una masa de 22,5 kg sobre el rodillo fijado en sus punteras, se levanta el rodillo una altura de 0,36 m y se suelta para que golpee contra la horquilla.



- Leyenda
- h_4 Altura de caída
 - 1 Rodillo de pequeña masa (1 kg máx.)
 - 2 Percutor de 22,5 kg
 - 3 Soporte rígido incluyendo los rodamientos de dirección
 - 4 Sentido del choque hacia atrás

Figura 138. Horquilla delantera. Ensayo de choque.

Simplificaciones

Con el fin de simular el ensayo de la manera más eficiente posible se transforma en un ensayo estático. Se estudia la resistencia de la horquilla a partir de la energía que es capaz de absorber cuando se le somete a una carga a la que produce la masa al impactar con este. La energía de la caída es:

$$E_{caida} = m \times g \times (h + x) = 22,5 \times 9,81 \times (0,36 + x)$$

7 ANÁLISIS ESTRUCTURAL

Donde x es el desplazamiento provocado por la masa una vez ha impactado con la horquilla. La energía que tiene que absorber la horquilla es:

$$E_{horquilla} = F \times x$$

Como inicialmente no se conoce ni el valor de esta fuerza ni el del desplazamiento, se realiza una primera simulación con un valor de la fuerza $F_0 = 1200$ N, con la misma dirección y sentido que la fuerza que se aplicará posteriormente, con el fin de obtener la deformación de la horquilla en la dirección de aplicación de la fuerza y de este modo conocer el valor de la rigidez de la horquilla en esta dirección. A través de esto se puede calcular la energía absorbida por la horquilla en función de la rigidez, de modo que, al igualar la energía absorbida por la horquilla y la energía de la caída de la masa, se obtiene la siguiente expresión en función de la variable " x " que se resuelve como una ecuación de segundo grado:

$$E_{Cuadro} = E_{Caída} \Rightarrow m \times g \times (h + x) = (k \times x) \times x$$

Una vez hecha la primera simulación y determinado el valor de la rigidez, se puede obtener el valor del desplazamiento esperado y con este determinar el valor de la fuerza a aplicar a través de la rigidez de la horquilla, siendo F el valor que se tiene que introducir para someter a la estructura a una fuerza que provoque una deformación equivalente a la energía de caída de la masa.

$$k_{Completa} = F_0 / x_0 = 1200 / 0,002416 = 496688,7 \text{ N/m}$$

$$k_{sag} = F_0 / x_0 = 1200 / 0,00204 = 588235,3 \text{ N/m}$$

$$22,5 \times 9,81 \times (0,36 + x_{Completa}) = (281294 \times x_{Completa}) \times x_{Completa} \Rightarrow x_{Completa} = 0,01287 \text{ m}$$

$$22,5 \times 9,81 \times (0,36 + x_{sag}) = (281294 \times x_{sag}) \times x_{sag} \Rightarrow x_{sag} = 0,01181 \text{ m}$$

$$F_{Completa} = k_{Completa} \times x_{Completa} = 496688,7 \times 0,01287 = 6393,6 \text{ N}$$

$$F_{sag} = k_{sag} \times x_{sag} = 588235,3 \times 0,01181 = 6946 \text{ N}$$

Resultados

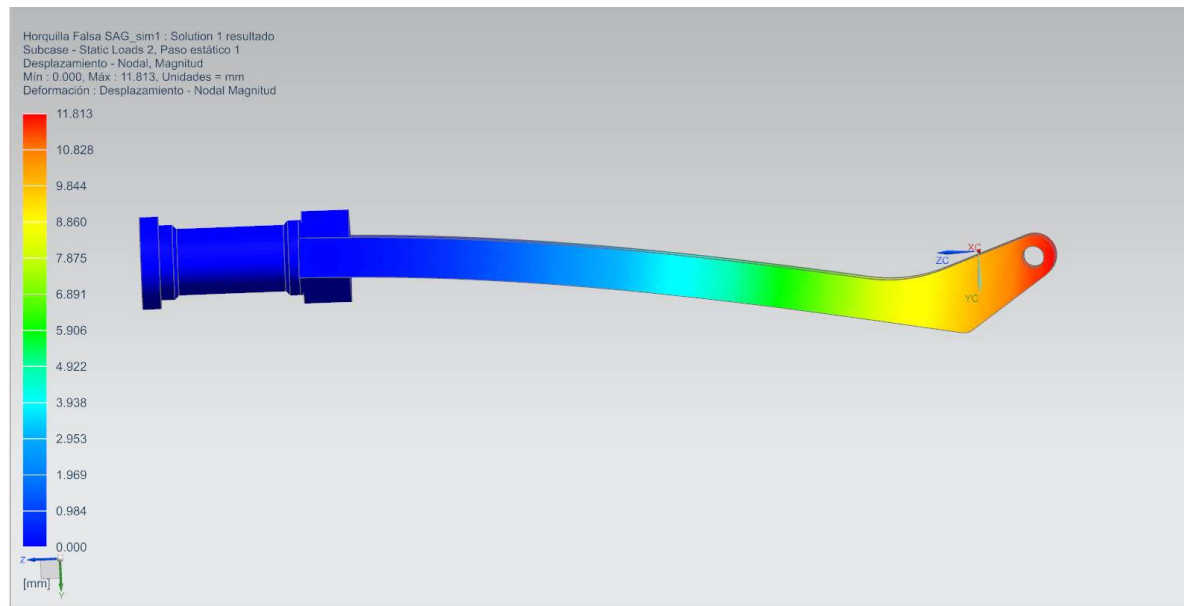


Figura 139. Ensayo choque horquilla con sag. Fuente: Propia.

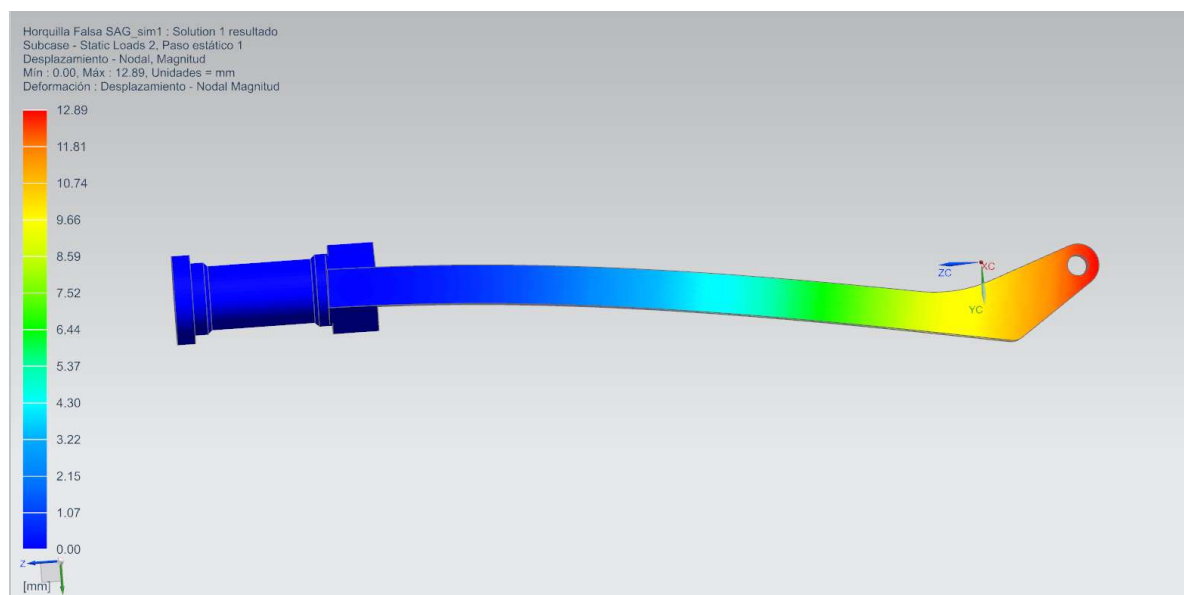


Figura 140. Ensayo choque horquilla longitud completa. Fuente: Propia.

Requisitos

Al ensayar según el método descrito, el ratio de la flecha de la horquilla para el ensayo de choque D_r , no debe superar el valor de 1, siendo D_r :

$$D_r = \frac{709 \times 10000 \times \delta}{L^3}$$

7 ANÁLISIS ESTRUCTURAL

$$D_{r\ completa} = \frac{709 \times 10000 \times \delta_{completa}}{L_{completa}^3} = \frac{709 \times 10000 \times 12,89}{530,2^3} = 0,613$$

$$D_{r\ sag} = \frac{709 \times 10000 \times \delta_{sag}}{L_{sag}^3} = \frac{709 \times 10000 \times 11,813}{500,2^3} = 0,669$$

En este caso tambien se está dentro de los aparámetros establecidos por la norma, por lo que se considera que hambos enseyos ha pasado las pruebas y los diseños de horquilla propuestos son validos para realizar las simulaciones de los apartadaos anteriores.

8 CONCLUSIONES

El presente proyecto abarca gran parte del proceso del desarrollo de un producto, a falta de la optimización del modelo propuesto para la fabricación del primer prototipo. Se ha comenzado con un análisis del mercado actual con el cual se ha buscado conocer la evolución del sector en el que se encuentra la bicicleta que se ha diseñado. Así mismo se ha preguntado a los potenciales clientes sobre sus preferencias y el tipo de ciclismo que practican para utilizar estos datos y que la bicicleta diseñada se adapte lo máximo posible a las necesidades de los consumidores.

Con el fin de asegurar la perfecta adaptabilidad de la bicicleta al público español, se ha diseñado pensando en que la talla encaje con el percentil 50 de estatura para hombres en España. Para el diseño cinemático se requiere conocer la posición del centro de gravedad y para el correcto diseño de la geometría se necesita analizar la posición del cuerpo durante el ciclo de pedaleo, por ello se ha creado una simulación en dos dimensiones del movimiento del cuerpo. Con la ayuda de estudios donde se define la longitud, la masa y la posición del centro de gravedad de cada segmento corporal. A partir de estos datos se ha corregido la postura hasta que cumpla con una serie de requisitos biomecánicos que previenen la aparición de lesiones. También se ha calculado el centro de gravedad para el ciclista promedio y el más bajo y alto que podrá montar en la bicicleta, con el objetivo de tener delimitado los márgenes entre los que se mueve este punto de cara al diseño de la cinemática del basculante. Además de analizar todas las fuerzas de pedaleo que actúan sobre el amortiguador para definir el punto de funcionamiento del basculante para que funcionen con la mayor independencia del pedaleo posible. Para todo esto se ha utilizado MATLAB.

A partir de los datos recabados en esta primera fase se ha comenzado a diseñar la bicicleta desde cero. Para asegurar que la bicicleta tenga una buena aceptación en el mercado se ha asegurado que la geometría de la bicicleta este acorde con los estándares de hoy en día, es decir, es una bicicleta con un reach generoso y un ángulo de dirección bastante lanzado, sin ser excesivo, que además cuenta con una caída del eje del pedalier ligeramente mayor que la de la competencia para ganar estabilidad y que también tiene unas vainas más cortas de lo normal para ganar algo de agilidad, con un tubo de sillín ligeramente más vertical para ayudar a que el peso esté centrado en la bicicleta. Además, monta el nuevo estándar superbike que prácticamente no está introducido en este segmento y permite montar cubiertas más anchas en la rueda trasera y diseñar vainas más rígidas, que al unirlo a las llantas más rígidas de este sistema se tiene como resultado que la bicicleta es más precisa y

8 CONCLUSIONES

resistente. Asimismo, se han analizado los distintos sistemas de suspensión para ver cuál es el que mejor se adapta a los objetivos requeridos en base a distintos criterios de diseño.

En lo que respecta a la cinemática se ha diseñado un sistema que cumpla con las exigencias de un ciclista de Cross Country Maratón. En el primer tramo del recorrido se ha mejorado la sensibilidad, con el objetivo de absorber mejor las pequeñas vibraciones que pueden ir provocando fatiga en la espalda, en el tramo intermedio se aumentado la rigidez de forma lineal para ganar estabilidad y minimizar los efectos de las fuerzas de pedaleo y frenada en la suspensión y por último se ha buscado un final ligeramente progresivo para que no se llegue al tope de suspensión con demasiada facilidad, pero que a la vez se pueda sacar provecho de esta última parte. Además, se ha diseñado una cinemática que en la que las fuerzas de pedaleo tienen poca interferencia con el amortiguador; al mismo tiempo se consigue que durante la frenada se llegue a un equilibrio entre mantener la geometría de la bicicleta y aislar a la suspensión del freno.

Por su parte, el diseño del cuadro y las simulaciones se han realizado a través de la herramienta de CAD Siemens NX. Para el diseño se han tenido en cuenta que todos los componentes seleccionados no tengan problemas de interferencia con ninguna parte del cuadro y que el triángulo principal tenga el suficiente espacio como para poder llevar dos bidones de unos 800 ml, además de poder integrar herramientas y un espacio para la alimentación.

Una vez finalizado el diseño las piezas que componen el cuadro se han analizado distintos compuestos prepreg de carbono y se han elegido 3, dos unidireccionales, de los cuales uno es de módulo alto, que se utiliza para aportar mayor rigidez a las partes que así lo requieran y el otro es de módulo intermedio, pero con una excelente resistencia a los esfuerzos y una buena tenacidad, propiedad que es muy importante en el mountain bike; el otro compuesto es elegido es de tipo twill y con las mismas fibras que el de módulo intermedio, este se aplica en aquellos puntos en los que los esfuerzos pueden tener múltiples direcciones.

Una vez diseñado el layup de las fibras de carbono en las diferentes partes del cuadro, se han simulado los dos casos de choque y los tres de fatiga que pide la norma UNE EN ISO 4210. Con los resultados obtenidos en las primeras simulaciones se procedió al rediseño de aquellas partes más críticas y se optimizaron los layups para aguantar mejor los esfuerzos, hasta que finalmente se logró que el cuadro superase las cinco simulaciones.

Finalmente se puede concluir que la bicicleta aquí diseñada es una bicicleta que encaja dentro de los estándares actuales, pensada para se lo mas funcional y eficaz posible para sus

clientes potenciales y adelantándose en algunos estándares como el superbust para no quedarse obsoleta en pocos años y tener un ciclo de vida lo más longevo posible.

9 LÍNEAS FUTURAS

Desde las primeras fases de la etapa de diseño las marcas de bicicletas cuentan con ciclistas profesionales con una amplia experiencia que les transmiten sus necesidades, de modo que pueden empezar a diseñar una bicicleta a partir de estos datos y de los datos de los componentes que ya llevan tiempo usando. Una vez se ha avanzado lo suficiente en el diseño se pueden empezar a fabricar los primeros prototipos que son testados por estos mismos ciclistas, que transmiten a los ingenieros sus sensaciones sobre la bicicleta. Sobre este feedback se puede rediseñar y estudiar diferentes alternativas para acabar de diseñar la bicicleta que mejor se adapte a los requisitos establecidos.

Una de las principales limitaciones del diseño actual es que no se cuenta con este feedback por parte de ciclistas experimentados, por lo que el diseño parte desde cero. Asimismo, no se ha podido diseñar el sistema de suspensión a partir de los datos de un amortiguador real, por lo que de avanzar en las fases de diseño, sería muy importante conseguir un amortiguador para obtener las curvas de funcionamiento u obtener estos datos de los fabricantes de amortiguadores. A partir de esos datos podría rediseñarse el sistema de suspensión en caso de que los valores difieran mucho de los supuestos.

Otro punto de mejora es que el laminado propuesto actualmente tiene varios cientos de láminas, lo que dificulta su análisis y por eso se ha hecho de forma grupal. De disponer de más tiempo lo ideal sería analizar los esfuerzos en las distintas láminas para reforzar aquellos puntos que lo requieran y quitar el material en aquellas zonas que estén sobredimensionadas o rediseñar las secciones de forma que se evite esta concentración de tensiones.

A parte de los casos que requiere la norma, podrían simularse otro tipo de situaciones como saltos, impactos contra el cuadro y demás situaciones que pudiesen poner en riesgo su integridad. Asimismo, de disponer del equipo necesario podrían recabarse datos mediante sistemas de telemetría como el sistema MIND de Mondraker para analizar las distintas cargas a las que se ve sometida una bicicleta en su uso habitual. Otro punto interesante sería medir las deformaciones en una bicicleta cualquiera cuando se pedalea a alta intensidad en distintas situaciones como esprints, subidas por terrenos muy irregulares o en bajadas muy abruptas llenas de piedras y raíces que retuercen la bicicleta.

Otro de los puntos más importantes para centrar los esfuerzos en el futuro es el ensamblaje de los componentes para analizar distintas formas de montaje de los puntos de articulación

para evitar su desgaste prematuro debido a un mal reparto de cargas y la entrada de suciedad en los rodamientos y en el interior del cuadro.

Finalmente, una vez se tenga un diseño final del cuadro optimizado, casi por completo, podría comenzarse a diseñar los cuadros de otras tallas para aprovechar el diseño y ampliar el abanico de clientes. Llegado este punto sería interesante estudiar si el diseño de los cuadros de las otras tallas requiere del rediseño de cada componente para adaptar la cinemática y la geometría a las nuevas tallas o si por el contrario se puede mantener alguno de los componentes con las dimensiones originales y así aprovechar los beneficios de la economía de escala y reducir los costes de fabricación al requerir de menos moldes.

10 IMPACTO DEL PROYECTO

Al establecer los objetivos de este proyecto se tuvo muy en cuenta el impacto que produciría en los usuarios, en el medio ambiente, y a nivel económico.

A raíz de la pandemia, más personas han optado por la bicicleta como medio de transporte pero también como forma de mejorar su bienestar, su salud física y también mental al hacer un deporte, estar en contacto con la naturaleza, disfrutar del paisaje y compartir la experiencia con compañeros de ruta.

No obstante, en muchas ocasiones se hacen rutas en solitario y esta bicicleta ha sido diseñada pensando en ellos, para que puedan portar en el cuadro todos los elementos necesarios para cualquier contingencia que se pueda presentar:

- herramientas para solucionar las averías más frecuentes, como pinchazos, rotura de cadena...
- suficiente líquido para estar hidratado
- alimentos energéticos que le ayuden a soportar la fatiga.

Esto tiene un **impacto en la seguridad** e integridad del usuario. No se verá obligado a llevar en el maillot herramientas que pueden clavarse en caso de caída, ni alimentos o líquidos en una mochila, ya que estos podrán ir en el propio cuadro. Con esto se favorece la transpiración, disminuyendo el riesgo de golpes de calor, deshidratación o calambres entre otros.

Hay también un **impacto en el medioambiente**: este diseño está pensado mirando al futuro: esta bicicleta está hecha para aguantar, con elementos que no queden desfasados en poco tiempo y el usuario no sienta la necesidad de cambiarla. Con esto se consigue **reducir el consumo** de energía y materiales para la fabricación de nuevas bicicletas así como la **reducción de residuos** que supone el cambio de modelo.

Las bicicletas de mountain bike favorecen la **preservación de caminos rurales** que conectaban pueblos de montaña a través de senderos por los montes. Al ser más transitados por los ciclistas se mantienen más limpios y libres de maleza y en ocasiones estos senderos actúan como cortafuegos en caso de incendio.

Hay que considerar también el **impacto económico**: todos los componentes son estándar, así que no se requiere fabricar elementos exclusivos para este modelo y esto implica reducción en costes.

Para el usuario también implica un **ahorro económico** ya que podrá recorrer más kilómetros con esta bicicleta que con los modelos de gama similar que hay actualmente en el mercado.

11 BIBLIOGRAFÍA

- Armstrong LE, Costill DL & Fink WJ. (1985). Influence of diuretic-induced dehydration on competitive running performance. *Med Sci Sports Exerc*, 17:456-461.
- Benedict, T. (04 de 10 de 2018). *Bike Rumor*. Recuperado el 03 de 04 de 2022, de Suspension Tech: What is Anti-Rise?: <https://bikerumor.com/suspension-tech-what-is-anti-rise/>
- C. Rocandio, A. A. (2016). Comportamiento a fatiga en Modo Mixto I/II de materiales compuestos epoxi-carbono. *Plásticos Universales*(203), 32-35.
- Castaño Sanz, B. (2017). *Estudio y optimización de transmisión por cadena con corona de perfil ovalado en bicicletas de montaña*.
- Chye, T. C. (2018). The effect of alterations in effective seat tube angle on cycling performance, economy and muscle recruitment. *University of Cape Town ,Faculty of Health Sciences ,Department of Human Biology*.
- Clauser, C. E. (1969). WEIGHT, VOLUME, AND CENTER OF MASS OF SEGMENTS OF THE HUMAN BODY. *ANTIOCH COLL YELLOW SPRINGS OH*.
- Clotilde Nogareda Cuixart . (198+). NTP 226: Mandos: ergonomía de diseño y accesibilidad. *Minisitesio de trabajo y asuntos sociales España*.
- Colegrove James, H. D. (2011). *US Patente nº US 2011/0025015 A1*.
- Composite Integration Ltd. (02 de 07 de 2022). *Composite Integration*. Obtenido de Sobre RTM (Resin Transfer Moulding): <http://www.composites-rtm.com/menu-directo-a-about-rtm>
- Craig EN y Cummings EG. (1996). Dehydration and muscular work. *J Appl Physio*, 21(2):670-4.
- David, W. (2008). *World Patente nº WO 2008/027277 A2*.
- ESMTB. (07 de 03 de 2022). *Entendiendo los sistemas de suspensión en mountain bike – Edición XC*. Obtenido de <https://esmtb.com/sistemas-suspension-xc/>
- Gazechin Composites Ibérica. (s.f.). *Gazechin*. Recuperado el 22 de 06 de 2022, de Prepreg: <https://www.gazechim.es/sin-categorizar/prepreg/>

Gazechin Composites Ibérica. (s.f.). *Gazechin*. Recuperado el 22 de 06 de 2022, de Infusión por vacío: <https://www.gazechim.es/procesos-de-aplicacion/infusion-por-vacio/>

Gerth, M. H. (2020). Influence of mountain bike riding velocity, braking and rider action on pedal kickback. *Sports Eng*(23).

Gurit. (s.f.). Guide to Composites. Delivering the future of of composite solutions.

How Products are Made. (3 de Abril de 2022). Obtenido de <http://www.madehow.com/Volume-4/Carbon-Fiber.html>

ISB. (s.f.). *ISB Sports*. Recuperado el 15 de 05 de 2022, de Rodamientos Serie VMax: <https://isbsport.com/rodamientos-vmax-isb/>

Korff, T. a. (2007). Effect of Pedaling Technique on Mechanical Effectiveness and Efficiency in Cyclists. *Medicine and science in sports and exercise*, 39, 991-5.

Leitner, H. (1994). *World Patente n° WO 93/13974*.

Martin, J. C. (2010). Myth and Science in Cycling: Crank Length and Pedaling Technique. *Unniversity of Utah. College of Health* .

MatWeb. (s.f.). *MatWeb Material Porperty Data*. Recuperado el 08 de 07 de 2022, de Toray 2510 Prepreg Laminate with P707AG-15 Fiber (Oven Cure).

MatWeb. (s.f.). *MatWeb Material Porperty Data*. Recuperado el 09 de 07 de 2022, de Toray 3900 Prepreg Laminate with P2362W-19L (T800S-24K UD) Fiber: <https://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?matguid=a7f298ac5f08429e843b0fb606ebc342>

MatWeb. (s.f.). *MatWeb Material Porperty Data*. Recuperado el 09 de 07 de 2022, de Toray 2511 Prepreg Laminate with P6111-200 (M46J UD) Fiber: <https://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?matguid=01a1a4f2b20546aea0a58a62ff35df4c&ckck=1>

MatWeb. (s.f.). *MatWeb Material Porperty Data*. Recuperado el 09 de 07 de 2022, de Toray 3960 Prepreg Laminate with P173EBN-19 (T1100G UD) Fiber: <https://matweb.com/search/datasheet.aspx?matguid=636c2edfa2804410acfe12585c6df5ec&ckck=1>

11 BIBLIOGRAFÍA

- MatWeb. (s.f.). *MatWeb Material Property Data*. Recuperado el 09 de 07 de 2022, de Toray 2511 Prepreg Laminate with F6273C-11Toray 2511 Prepreg Laminate with F6273C-11M (T700S-12K PW) Fiber: <https://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?matguid=714bdaa0fe33496db3267c7951d62e4c>
- MatWeb. (s.f.). *MatWeb Material Property Data*. Recuperado el 09 de 07 de 2022, de Toray 3900 Prepreg Laminate with FM6673G-37KL (T830H-6K PW) Fiber: <https://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?matguid=5374dc504e04449fb94b290fd9678951>
- MatWeb. (s.f.). *MatWeb Material Property Data*. Recuperado el 09 de 07 de 2022, de Toray 3960 Prepreg Laminate with FT6243R-3EI (T1100G-12K PW) Fiber: <https://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?matguid=73d662a6914d4431badc46acf16b57de>
- Maughan RJ, N. T. (1991). Fluid replacement and exercise stress. A brief review of studies on fluid replacement and some guidelines for the athlete. *Sports Med*(12), 16-31.
- Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad. (06 de 11 de 2015). BOE. (266), 105493-105496.
- NCD Risk Factor Collaboration (NCD-RisC). (26 de Julio de 2016). *eLife*. Obtenido de A century of trends in adult human height: <https://elifesciences.org/articles/13410#content>
- NEXUS Projectes SL. (23 de 07 de 2022). *NEXUS Projectes*. Obtenido de Tecnología: <http://nexusprojectes.com/tecnologia-3>
- P. Bannier, H. J. (Octubre de 2016). Modeling of work envelope requirements in the piping and steel trades and the influence of global anthropomorphic characteristics. *Electronic Journal of Information Technology in Construction*, 292-314.
- Roberts, D. (13 de 06 de 2019). *PinkBike*. Recuperado el 08 de 04 de 2022, de Introducing 'Behind the Numbers' - A New Suspension Analysis Series: <https://www.pinkbike.com/news/introducing-behind-the-numbers-a-new-suspension-analysis-series.html>

- Roberts, D. (20 de 03 de 2020). *PinkBike*. Recuperado el 03 de 04 de 2022, de Engineering: What Is Anti-Squat & How Does It Actually Affect Mountain Bike Performance?: <https://www.pinkbike.com/news/definitions-what-is-anti-squat.html>
- Rodrigo Rico Bini, P. A. (2013). Effects of moving forward or backward on the saddle on knee joint forces during cycling.
- Sawka, M. a. (1990). Effects of Body Water Loss on Physiological Function and Exercise Performance. *Perspectives in Exercise Science and Sports Medicine*, 3, 1-38.
- SolidWorks. (2021). *SolidWorks*. Recuperado el 01 de 09 de 2022, de Tsai-Hill Failure Criterion: https://help.solidworks.com/2021/english/SolidWorks/cworks/c_Tsai-Hill_Failure_Criterion.htm
- SolidWorks. (2021). *SolidWorks*. Recuperado el 01 de 09 de 2022, de Criterio de falla de Tsai-Wu: https://help.solidworks.com/2021/english/SolidWorks/cworks/r_TsaiWu_Failure_Criterion.htm
- SolidWorks. (01 de 09 de 2021). *SolidWorks*. Obtenido de Criterio de tensión máxima: https://help.solidworks.com/2021/english/SolidWorks/cworks/c_Maximum_Stress_Criterion.htm
- Ten-Pac. (s.f.). *Estudio antropométrico del pie del trabajador*.
- U.S. Department of Health & Human Services. (Agosto de 2016). Anthropometric Reference Data for Children and Adults: United States, 2011-2014. *National Center for Health Statistics (U.S.), issuing body*, 3(39), 23-25.
- UNE EN ISO 4210. (2015). Aenor.
- Ventura Ferrer-Roca, A. R.-L. (2012). Influence of saddle height on lower limb kinematics in well-trained cyclists: static vs. dynamic evaluation in bike fitting.
- World Health Organization. (9 de Junio de 2021). *Obesidad y sobrepeso*. Obtenido de World Health Organization: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>

12 PLANIFICACIÓN TEMPORAL Y PRESUPUESTO

12.1 Planificación temporal

La redacción de este proyecto comenzó en septiembre de 2021, aunque los meses anteriores ya se había comenzado a pensar en sus contenidos y como desarrollarlo en los meses previos al realizar rutas en mountain bike y ver las mejoras que podría tener una bicicleta para esta disciplina.

La distribución temporal de las tareas se refleja en la tabla siguiente. Se debe tener en cuenta que la redacción de este proyecto se compaginaba con una actividad laboral que implica que muchos días hábiles no fueran usados para trabajar en el proyecto, pero sí están incluidos en el cronograma.

Tarea	Duración		Comienzo	Fin
	Horas	Días		
Proyecto completo	450	364	06/09/2021	05/09/2022
Estudio y análisis de los diferentes conceptos de las bicicletas	12	5	06/09/2021	11/09/2021
Estudio de mercado	8	4	08/09/2021	12/09/2021
Encuesta	9	30	20/09/2021	20/10/2021
Biomecánica en ciclismo	13	6	10/10/2021	16/10/2021
Modelos de percentiles	8	5	16/10/2021	21/10/2021
Análisis de la pedalada en 2D	32	26	21/10/2021	16/11/2021
Análisis de la evolución del centro de gravedad	21	19	11/11/2021	30/11/2021
Análisis de las fuerzas de pedaleo	24	12	28/11/2021	10/12/2021
Diseño de la cinemática	29	23	02/01/2022	25/01/2022
Diseño del cuadro	31	31	20/01/2022	20/02/2022
Elección de componentes	23	14	17/02/2022	03/03/2022
Simulación del amortiguador	20	12	08/03/2022	20/03/2022
Estudio de la norma UNE EN ISO 4210	17	7	29/03/2022	05/04/2022
Simplificaciones previas a las simulaciones	18	8	07/04/2022	15/04/2022
Estudio de la fibra de carbono	23	15	12/04/2022	27/04/2022
Selección de las fibras	18	10	03/05/2022	13/05/2022
Primeras simulaciones	39	12	20/05/2022	01/06/2022

Optimización de los layups	30	11	04/06/2022	15/06/2022
Resultados finales	30	19	22/06/2022	11/07/2022
Redacción	30	18	14/07/2022	01/08/2022
Corrección de errores	15	7	28/08/2022	04/09/2022

Tabla 26. Distribución temporal del Trabajo de Fin de Grado

11 BIBLIOGRAFÍA

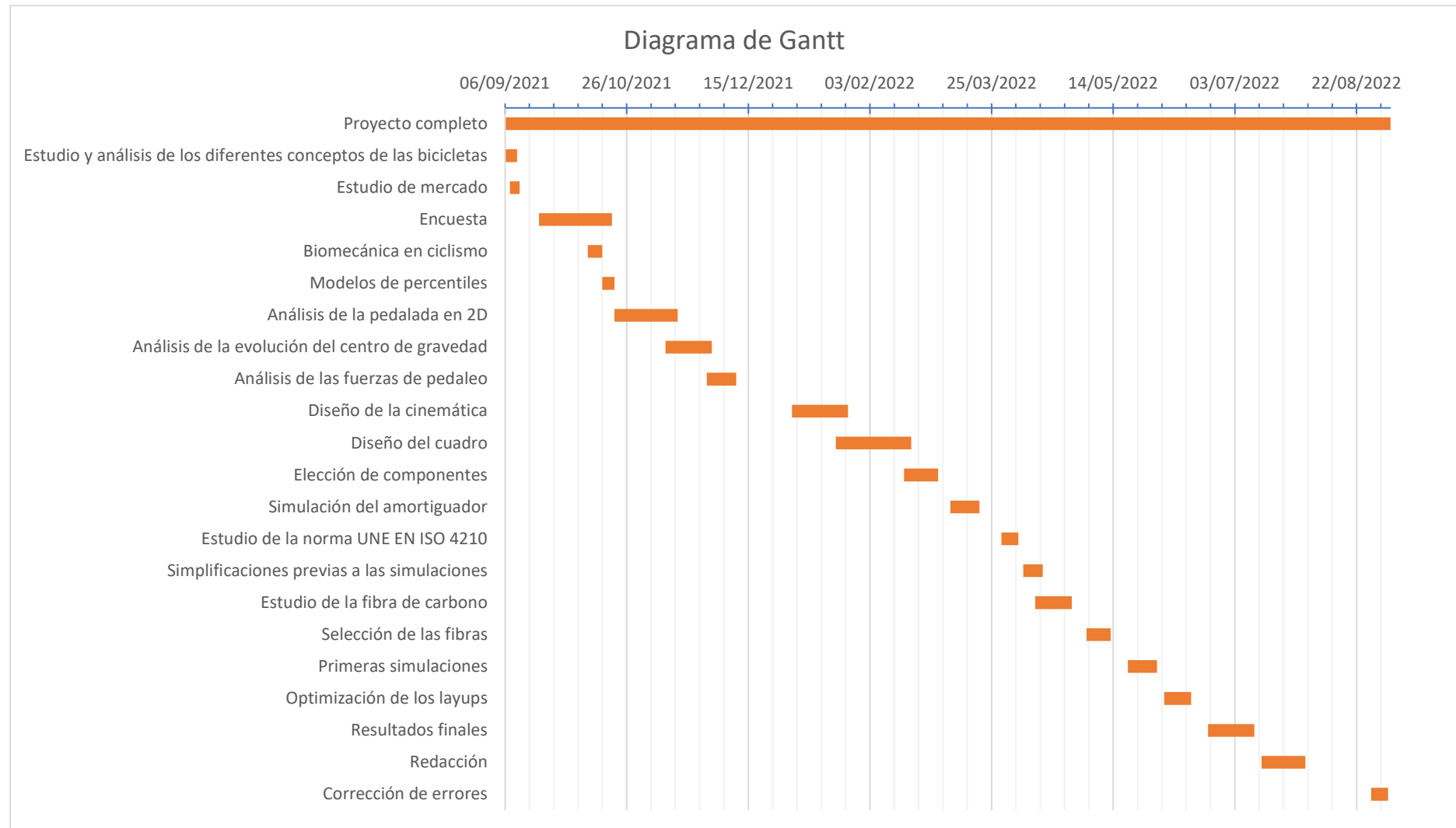


Figura 141. Diagrama de Gantt. Fuente: Propia.

12.2 Presupuesto

Para realizar este presupuesto se ha dividido el total en tres conceptos: recursos humanos, equipo, y licencias y uso de programas. No se ha tenido en cuenta el gasto en material por ser insignificante (cuaderno y material de escritura) ya que el grueso del trabajo se ha realizado con equipos informáticos.

La distribución del coste procedente de recursos humanos se muestra en la siguiente tabla:

Personal	Dedicación total (h)	Retribución (€/h)	Total (€)
Tutores del proyecto	100	40 €	4000 €
Alumno	450	8 €	3600 €
Coste total de recursos humanos			7600 €

Tabla 27. Coste total de recursos humanos

Por lo que se refiere a equipos se han considerado los elementos utilizados para el diseño del cuadro, el tratamiento de datos y redacción del proyecto y cuya vida útil se extiende más allá de la realización de este trabajo.

Equipo	Tiempo de uso (h)	Coste (€)	Vida útil (h)	Total (€)
Ordenador portátil	450	800 €	50000	7,20 €
Teléfono móvil	20	500 €	25000	0,40 €
Coste total de equipos				7,60 €

Tabla 28. Coste total de equipos

La última tabla muestra el coste derivado del uso de licencias de software empleadas en este trabajo

Programa	Tipo de licencia	Total (€)
MATLAB	Anual	840,00 €
Microsoft Office 365	Anual	69,00 €
Siemens NX	Anual	2988,00 €
Linkage Desing	Personal	25,00 €
Coste total de licencias		3922,00 €

Tabla 29. Coste total de licencias

A las cuantías anteriores habrá que añadir los costes indirectos derivados del uso de los equipos, gastos de luz, agua, telefonía y conexión a internet. Se ha estimado que estos gastos

11 BIBLIOGRAFÍA

pueden suponer un 10% de las cantidades anteriormente indicadas y cuyo desglose se detalla a continuación:

Partida	Coste (€)	Costes indirectos asociados
Recursos humanos	7600,00 €	8360,00 €
Equipos	7,60 €	8,36 €
Licencias	2988,00 €	3286,80 €
Subtotal	10595,6 €	11655,16 €
Total (IVA +21%)	12820,68 €	14102,74 €

Tabla 30. Presupuesto total del proyecto

Este tipo de proyectos se ve gravado por un IVA del 21% que se ha incluido en el coste total que asciende a CATORCEMIL CIENTO DOS EUROS CON SETENTA Y CUATRO CÉNTIMOS.

13 ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cuadro de bicicleta de doble suspension Cube AMS ONE11 C:68X. Fuente: Cube	17
Figura 2. Cuadro de doble suspension Specialized Epic. Fuente: Specialized.	18
Figura 3. Referencias geometría. Fuente: Orbea	23
Figura 4. Varición del Trail para distintos offsets. Fuente: https://www.bikeexchange.com.co/blog/guia-geometria-de-bicicletas	26
Figura 5. Variaciones de un mismo Leverage Ratio medio en funcion del recorrido de la rueda. Fuente: (Roberts, PinkBike, 2019)	30
Figura 6. Orange Stage Evo SE. Fuente: Orange Bikes.....	32
Figura 7. Transition sentinel. Fuente: Transition Bikes	35
Figura 8. BH Lynx trail Carbon 9.5. Fuente: https://www.bhbikes.com/es_ES/bicicletas/montana/trail/lynx-trail-carbon-9-5?c=orr	36
Figura 9. Santa Cruz Tallboy Carbon C 29. Fuente: https://www.santacruz bicycles.com/es-ES/bikes/tallboy	37
Figura 10. Mondraker F-Podium Carbon R. Fuente: https://mondraker.com/be/es/2022-f-podium-carbon-r?c=46	38
Figura 11. Tejidos. Plano, Twill, Satin y Basket. Fuente: (Gurit).....	41
Figura 12. Potenciales de corrosion en condiciones de oleaje marino. Fuente: https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/pfcm12_2_3.html	43
Figura 13. Tamaño medio de los distintos parámetros geometricos de cada categoría. Fuente: Propia.	51
Figura 14. Representación de la Tabla 2.....	52
Figura 15. Tanto por ciento de variación de los parámetros geométricos de la generación actual respecto a la predecesora.	55
Figura 16. Guiado de cables interno. Fuente: Santa Cruz.....	57
Figura 17. Anclaje de los bidones en bicicletas con amortiguador vertical. Izquierda: Ghost Lector FS. Derecha: Scott Spark. Fuente: Ghost bikes y Scott bikes	58

13 ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 18. Tipos de direcciones de bicicleta: integrada, cazoleta externa y semiintegrada. Fuente: Hope.....	65
Figura 19. Tipos de pedalier: BB30, Pressfit y BSA. Fuente: Wheelsmfg.....	67
Figura 20. Juego de dirección semiintegrada elegido. Despiece superior y despiece inferior. Fuente: Acros.....	73
Figura 21. Juego de dirección semiintegrada dimensiones. Cojinete superior y cojinete inferior. Fuente: Acros.....	73
Figura 22. Dimensiones del eje de la rueda trasera en función del OLD. Fuente: SRAM.	74
Figura 23. Dimensiones de las bielas y el plato. Fuente: SRAM.	75
Figura 24. Patilla de cambio universal SRAM. Fuente: SRAM.	77
Figura 25. Especificaciones de montaje Pedalieres tipo BSA. Fuente: SRAM.	78
Figura 26. Requisitos de montaje de una pinza de freno direct mount. Fuente: SRAM.	79
Figura 27. Dimensión mínima de la longitud de vaina. Fuente: SRAM.	79
Figura 28. Plano amortiguador Fox Float DPS. Fuente: Fox.	80
Figura 29. Horquilla Fox 34 SC. Fuente: Fox.	81
Figura 30. Almacenaje en el tubo superior Canyon Speedmax. Fuente: Canyon.....	84
Figura 31. Almacenamiento tubo diagonal. Sistema SWAT Specialized Epic. Fuente: Specialized.	84
Figura 32. Modelado de los volúmenes de las cámaras del amortiguador. Fuente: propia..	87
Figura 33. Comparacion del funcionamiento del sistema diseñado con otro con un leverage ratio lineal.	89
Figura 34. Leverage ratio de la bicicleta diseñada. Fuente: Propia.	90
Figura 35. Fuerza en la rueda trasera y gradiente de fuerza del sistema diseñado. Fuente: Propia.	92
Figura 36. Fuerza en la rueda trasera para los diferentes ciclistas. Fuente: Propia.....	93
Figura 37. Valores de anti-squat para un ciclista de altura media con relacion de transmision 32/10, 32/24 y 32/51. Fuente: Propia.	95
Figura 38. Rango de los valores de anti-squat para un plato de 32 dientes y un ciclista de 175 cm. Fuente: Propia.....	96

Figura 39. Rangos de anti-squat para las distintas alturas, con platos de 32 y 34 dientes. Fuente: Propia.	97
Figura 40. Rango del pedal kickback para plato de 32 y 34 dientes. Fuente: Propia.	99
Figura 41. Valor maximo del pedal kickback para plato de 32 y 34 dientes. Fuente: Propia.	99
Figura 42. Evolucion del anti-rise para los distintos ciclistas. Fuente: Propia.	100
Figura 43. Espacio entre el cuadro y los neumáticos de máximo diámetro en posición de máxima compresión. Fuente: Propia.	103
Figura 44. Espacio de almacenaje del cuadro. Fuente: Propia.	104
Figura 45. Amortiguador ensamblado en el cuadro. Fuente: Propia.	105
Figura 46. Geometría de la bicicleta. Fuente: Propia.	106
Figura 47. Diseño de las vainas. Fuente: Propia.	108
Figura 48. Diseño de los tirantes. Fuente: Propia.	109
Figura 49. Diseño bieleta. Fuente: Propia.	110
Figura 50. Esquema del cableado interno. Fuente: Propia.	111
Figura 51. Ratio de masa y posición del centro de gravedad para los distintos segmentos corporales. Fuente: (Clauser, 1969).	120
Figura 52. Longitud de los distintos segmentos corporales en función de la altura. Fuente: (P. Bannier, 2016)	121
Figura 53. Dimensiones de mano y pie. Fuente: (Clotilde Nogareda Cuixart , 198+).	122
Figura 54. Punto inicial del mecanismo de cinco barras por pierna. Simulación de pedaleo. Fuente: Propia.	123
Figura 55. Representación del ángulo de extensión de la rodilla durante un ciclo de pedaleo. Fuente: Propia.	124
Figura 56. Avance de la rodilla durante el ciclo de pedalada. Fuente: Propia.	124
Figura 57. Postura del ciclista simulado. Fuente: Propia.	126
Figura 58. Centro de gravedad conjunto ciclista-bicicleta.	129
Figura 59. Variación de la posición vertical del centro de gravedad de las piernas. Fuente: Propia.	132

13 ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 60. Variación de la posición, velocidad, aceleración y fuerza de la masa suspendida. Fuente: Propia.	133
Figura 61. Movimiento de la rueda trasera debido a al movimiento vertical del centro de gravedad. Fuente: Propia.....	134
Figura 62. Variación de la posición vertical del centro de gravedad de las piernas. Fuente: Propia.	135
Figura 63. Variación de la posición, velocidad, aceleración y fuerza de la masa suspendida. Fuente: Propia.	135
Figura 64. Movimiento de la rueda trasera debido a al movimiento horizontal del centro de gravedad. Fuente: Propia.....	136
Figura 65. Accion del centro de gravedad sobre la suspension trasera. Fuente: Propia....	137
Figura 66. Potencia producida por una pierna durante un ciclo de pedaleo. Fuente: (Martin, 2010)	138
Figura 67. Discretización de la curva de fuerza. Fuente. Propia.....	139
Figura 68. Fuerza de pedaleo por pierna, conjunto y aproximación. Fuente: Propia.	139
Figura 69. Potencia durante el ciclo de peleo para distintas amplitudes. Fuente: Propia...	140
Figura 70. Desplazamiento de la rueda debido a las fuerzas de pedaleo. Fuente: Propia.	142
Figura 71. Desplazamiento de la suspensión debido a la suma de todos los efectos. Fuente: Propia	143
Figura 72. Amplitudes para relación de transmision 32/52 y 34/10. Fuente: Propia.	144
Figura 73. Conjunto cuadro y horquilla delantera. Ensayo de choque (caída de una masa)	152
Figura 74. Dimensiones falsa horquilla longitud completa. Fuente: Propia.....	153
Figura 75: Dimensiones falso amortiguador con prehundimiento del 25%. Fuente: Propia.	153
Figura 76. Dimensiones rodillo delantero. Fuente: Propia.	154
Figura 77. Desplazamiento (caida de una masa). Fuente: Propia.	157
Figura 78. Índice de fallo global (caida de una masa). Fuente: Propia.	157
Figura 79. Índice de fallo en triangulo principal (caida de una masa). Fuente: Propia.	158
Figura 80. Índice de fallo vainas (caida de una masa). Fuente: Propia.	158

Figura 81. Índice de fallo tirantes (caída de una masa). Fuente: Propia.	159
Figura 82. Índice de fallo de adhesión (caída de una masa). Fuente: Propia.	159
Figura 83. Tensiones en los elementos de aluminio (caída de una masa). Fuente: Propia.	160
Figura 84. Conjunto cuadro y horquilla. Emsayo de choque (caída del cuadro).	163
Figura 85. Falsa horquilla con prehundimiento. Fuente: Propia.....	164
Figura 86. Tija y pedalier falsos. Fuente: Propia.	164
Figura 87. Alturas y trayectoria década masa durante la caída. Fuente: Propia.	165
Figura 88. Desplazamiento en X (caída del cuadro). Fuente: Propia.....	167
Figura 89. Desplazamiento en Z (caída del cuadro). Fuente: Propia.	167
Figura 90. Índice de fallo global (caída del cuadro). Fuente: Propia.	168
Figura 91. Índice de fallo triángulo principal (caída del cuadro). Fuente: Propia.	168
Figura 92. Índice de fallo vainas (caída del cuadro). Fuente: Propia.	169
Figura 93. Índice de fallo tirantes (caída del cuadro). Fuente: Propia.....	169
Figura 94. Índice de fallo de adhesión (caída del cuadro). Fuente: Propia.	170
Figura 95. Ensayo de fatiga con fuerzas de pedaleo.....	172
Figura 96. Falso amortiguador longitud completa. Fuente: Propia.....	173
Figura 97. Bielas falsas y estructura de la rueda trasera. Fuente: Propia.....	173
Figura 98. Desplazamiento (Fuerza de pedaleo izquierda). Fuente: Propia.	175
Figura 99. Índice de fallo global (Fuerza de pedaleo izquierda). Fuente: Propia.	175
Figura 100. Índice de fallo triángulo principal (Fuerza de pedaleo izquierda). Fuente: Propia.	175
Figura 101. Índice de fallo vainas (Fuerza de pedaleo izquierda). Fuente: Propia.....	176
Figura 102. Índice de fallo tirantes (Fuerza de pedaleo izquierda). Fuente: Propia.	176
Figura 103. Índice de fallo de adhesión (Fuerza de pedaleo izquierda). Fuente: Propia.....	176
Figura 104. Tensión en los elementos de aluminio. Fuente: Propia.	177
Figura 105. Desplazamiento (Fuerza de pedaleo derecha). Fuente: Propia.....	177
Figura 106. Índice de fallo global (Fuerza de pedaleo derecha). Fuente: Propia.	178

13 ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 107. Índice de fallo triángulo principal (Fuerza de pedaleo derecha). Fuente: Propia.	178
Figura 108. Índice de fallo vainas (Fuerza de pedaleo derecha). Fuente: Propia.	179
Figura 109. Índice de fallo tirantes (Fuerza de pedaleo derecha). Fuente: Propia.	179
Figura 110. Índice de fallo de adhesión (Fuerza de pedaleo derecha). Fuente: Propia.	180
Figura 111. Tensión en los elementos de aluminio. Fuente: Propia.	180
Figura 112. Ensayo de fatiga por fuerzas horizontales.	182
Figura 113. Desplazamiento (fuerza horizontal frontal). Fuente: Propia.	183
Figura 114. Índice de fallo global (fuerza horizontal frontal). Fuente: Propia.	183
Figura 115. Índice de fallo triángulo principal (fuerza horizontal frontal). Fuente: Propia.	184
Figura 116. Índice de fallo vainas (fuerza horizontal frontal). Fuente: Propia.	184
Figura 117. Índice de fallo (fuerza horizontal frontal). Fuente: Propia.	184
Figura 118. Índice de fallo adhesión (fuerza horizontal frontal). Fuente: Propia.	185
Figura 119. Tensión en los elementos de aluminio (fuerza horizontal frontal). Fuente: Propia.	185
Figura 120. Desplazamiento (fuerza horizontal posterior). Fuente: Propia.	185
Figura 121. Índice de fallo (fuerza horizontal posterior). Fuente: Propia.	186
Figura 122. Índice de fallo triángulo principal (fuerza horizontal posterior). Fuente: Propia.	186
Figura 123. Índice de fallo vainas (fuerza horizontal posterior). Fuente: Propia.	186
Figura 124. Índice de fallo tirantes (fuerza horizontal posterior). Fuente: Propia.	187
Figura 125. Índice de fallo adhesión (fuerza horizontal posterior). Fuente: Propia.	187
Figura 126. Tensiones en los elementos de aluminio (fuerza horizontal posterior). Fuente: Propia.	188
Figura 127. Ensayo de fatiga con una fuerza vertical.	190
Figura 128. Tija falsa ensayo fatiga fuerzas verticales. Fuente: Propia.	191
Figura 129. Desplazamiento (fuerza vertical). Fuente: Propia.	192
Figura 130. Índice de fallo global (fuerza vertical). Fuente: Propia.	192
Figura 131. Índice de fallo triángulo principal (fuerza vertical). Fuente: Propia.	192

Figura 132. Índice de fallo vainas (fuerza vertical). Fuente: Propia.	193
Figura 133. Índice de fallo tirantes (fuerza vertical). Fuente: Propia.	193
Figura 134. Índice de fallo adhesión (fuerza vertical). Fuente: Propia.	193
Figura 135. Tensiones en los elementos de alumnio (fuerza vertical). Fuente: Propia.	194
Figura 136. Ensayo carga vertical horquilla con sag. Fuente: Propia.	196
Figura 137. Ensayo carga vertical horquilla longitud completa. Fuente: Propia.	196
Figura 138. Horquilla delantera. Ensayo de choque.	197
Figura 139. Ensayo choque horquilla con sag. Fuente: Propia.	199
Figura 140. Ensayo choque horquilla longitud completa. Fuente: Propia.	199
Figura 141. Diagrama de Gantt. Fuente: Propia.	214

14 ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Abanico de valores de los parámetros geométricos para cada categoría de bicicleta.	50
Tabla 2. Porcentaje de variación de cada parámetro geométrico respecto a una bicicleta de XC.....	52
Tabla 3. Comparación entre modelos actuales sus predecesores.....	53
Tabla 4. Variación de los distintos parámetros de las bicicletas actuales respecto a sus predecesoras.	54
Tabla 5. Valores medios de los parámetros geométricos de la generación actual de bicicletas y su predecesora.	55
Tabla 6. Velocidad alcanzada en función de la cadencia y de la relación de transmisión....	76
Tabla 7. Rodamientos seleccionados.....	82
Tabla 8. Matriz de decision sistema de suspension.	85
Tabla 9. Propiedades del amortiguador.....	87
Tabla 10. Datos del amortiguador en distintos puntos (ciclista 175 cm).	88
Tabla 11. Presion del amortiguador para los ciclistas estudiados.....	89
Tabla 12. Valor del anti-squat en el punto de sag para las distintas relaciones de transmisión. Fuente: Propia.	97
Tabla 13. Valores de anti-rise en el punto de SAG.....	100
Tabla 14. Coordenadas puntos cinemáticos.	101
Tabla 15. Datos fibras unidireccionales.....	113
Tabla 16. Datos fibras tejidas.....	113
Tabla 17.Laminados del cuadro	115
Tabla 18. Principales datos de la posicion de los ciclistas.....	125
Tabla 19. Datos del centro de gravedad para las diferentes alturas.....	127
Tabla 20. Centro de gravedad de los componentes.	128
Tabla 21. Centro de gravedad de la bicicleta	129
Tabla 22. Centro de gravedad de la masa suspendida de la bicicleta.....	129

Tabla 23. Reparto de pesos entre el eje delantero y el trasero	130
Tabla 24. Centro de gravedad y rigidez trasera de la masa suspendida.	131
Tabla 25. Propiedades mecánicas metales de simulación.	150
Tabla 26. Distribución temporal del Trabajo de Fin de Grado.....	213
Tabla 27. Coste total de recursos humanos	215
Tabla 28. Coste total de equipos.....	215
Tabla 29. Coste total de licencias.....	215
Tabla 30. Presupuesto total del proyecto	216

15 ABREVIATURAS, UNIDADES Y ACRÓNIMOS

ABREVIATURA	SIGNIFICADO
CDG	Centro de gravedad
DH	Down Hill
IMC	Índice de masa corporal
MP	Megapascals
MTB	Mountain Bike
NCD	Non-communicable diseases
OMS	Organización Mundial de la Salud
PPV	Punto de pivote virtual
RBE	Rigid body element
RBE2	Rigid body element, Form 2
RTI	Infusión por vacío
RTM	Moldeo por transferencia de resina
UDH	Universal Derailleur Hanger
UD	Unidireccional
VRTM	Vacuum Resin Transfer Moulding
XC	Cross Country
XCE	Cross Country Eliminator
XCM	Cross Country Maratón
XCO	Cross Country Olímpico
XCR	Cross Country Team relay

MAGNITUD	UNIDADES
Ángulo	° (deg) Grados sexagesimales
Espacio	m Metros
Frecuencia	Hz Hercios
	rpm Revoluciones por minuto
Fuerza	N Newton
Presión	MPa Megapascal
Velocidad	Km/h Kilómetros por hora

16 GLOSARIO

En este apartado se incluyen los términos empleados en este trabajo y la página donde son definidos por primera vez.

A

Active Bracking Pivot	35
Alcance (Reach)	24
Altura (Stack)	24
Amortiguador	20
Amortiguador flotante	37
Ángulo de dirección	24
Ángulo del sillín	24
Anti-Rise	27
Anti-Squat	26
Autoclave	45
Avance la horquilla (Offset)	25

B

Basculante	19
Basket	41
Bielas	21
boost	19
Brake Squat	27
Buje	19

C

Cadena	21
Caída del pedalier o Bb drop	23
Carbono forjado	45
Casete	22
centro de gravedad	120
Corrosión galvánica	42
Cross Country	14
Cross Country (XC)	15
Cross Country Maratón	14

Cross Country Olímpico XCO	15
----------------------------------	----

Cuadro	17
---------------------	----

D

Desviador trasero	22
Dirección	19
Disciplinas MTB	15
Discos de freno	20
DownCountry	16
Downhill (DH)	17

E

Enduro	16
--------------	----

F

fibra de carbono	18
Frenos	20
frenos hidráulicos	20

G

Guiacadenas	22
--------------------------	----

H

Horquilla	19
Horst Link	34

I

Infusión por vacío (RTI)	45
--------------------------------	----

L

Leverage Ratio	29
----------------------	----

L

Llanta 19

M

Manetas de freno 20

Manillar 20

Moldeo por transferencia de resina (RTM) 44

Monopivote 32

Monopivote articulado 33

mountain bike 15

N**Neumáticos** 19

neumáticos tubeless 20

P

Pedal Kickback 28

Pedales 21

Pinzas de freno 20

Pipa de dirección 18

Plato 21**Potencia** 20

Prensa 45

Prepreg 45

Punto de giro concéntrico 35

Punto de pivote virtual 36

R

Radios 19

Respuesta cinemática 31

Ruedas 19**S**

SAG 31

Satín 40

Sillín 21

Split Pivot 35

Stand Over 25

SuperXC 16

T

Tejidos 0/90° 41

Tejidos unidireccionales (UD) 39

Tija 21

Tirantes 18

Trail 25

transmisión 19

Tubo del sillín 18

Tubo inferior o tubo diagonal 18

Tubo superior 18

Twill 40

U

UDH (Universal Derailleur Hanger) 77

V

Vacuum bagging 45

Vainas 18

VRTM (Vacuum Resin Transfer Moulding) 44

W

Wheel Ratio 30

Woven fabrics 40

X

XCE Eliminator 16

XCM Maratón 15

XCR Team relay 15

ANEXO 1. GEOMETRÍA DE LAS BICICLETAS

Marca	Modelo	Disciplina	Año	Medida del tubo del sillín	Longitud del tubo superior	Largo del tubo de dirección	Ángulo del tubo de dirección	Ángulo del tubo del sillín	Largo de vainas	Batalla	Offset del pedalier	Stack; Error! Marcador no definido.	Reach; Error! Marcador no definido.	Tamaño de ruedas; Error! Marcador no definido.	Recorrido de la horquilla	Recorrido del amortiguador	sistema
Berria	Mako dc 7	DC	2021	445	620	105	68,2	73,6	435	1148,1	42	611	440	29	120	105	Monopivote flexión carbono
Berria	Mako 9	XC	2021	445	605,6	105	68,7	74	435	1139	46	607,9	445	29	110	105	Monopivote flexión carbono
Berria	Mako 6	XC	2021	445	618	105	69,2	74,5	435	1140,8	50	604	450	29	100	105	Monopivote flexión carbono
Berria	Mako	XC	2019	457	605	105	71	73	437	1098	40	608	419	29	100	100	Monopivote flexión carbono
Berria	Mako	XC	2020	457	605	105	71	73	437	1098	40	608	419	29	100	100	Monopivote flexión carbono
BH	Lynx 5	Trail	2021	440	597	110	66,5	75,5	435	1175	-	606	440	29	130	130	Split pivot doble actuación
BH	Lynx	XC	2021	440	580	95	68	75,8	430	1131	40	580	436	29	100	100	Split Pivot
BH	Lynx	DC	2021	440	578	95	67,5	75	430	1134	35	585	430	29	120	100	Split Pivot
BH	Lynx	XC	2019	440	599	110	68,5	73,5	425	1124	40	594	423	29	100	100	Split Pivot
BMC	Fourstroke	XC	2021	440	607	107	67,5	75,6	429	1155	44	590	445	29	100	100	VPP
BMC	Fourstroke LT	DC	2021	440	607	107	66,5	74,8	429	1155	35	596	400	29	120	120	VPP
BMC	Speedfox	Trail	2021	440	611	105	68	73,75	445	1145	37	610	430	29	130	120	VPP
BMC	Agonist	XC	2020	440	611	105	69,5	73,8	445	1145	40	605	435	29	120	110	VPP
BMC	Fourstroke	XC	2018	460	610	100	70	73,5	445	1126	40	595	434	29	100	100	VPP
Cannondale	Scalpel	XC	2021	440	599	105	68	74,5	436	1151	40	591	435	29	100	100	Monopivote flexion carbono
Cannondale	Scalpel se	DC	2021	440	602	105	67	74	436	1148	32	602	430	29	120	120	Monopivote flexión carbono

ANEXO 1. GEOMETRÍA DE LAS BICICLETAS

Cannondale	Habit	Trail	2021	440	606	115	66	74,5	436	1176	38	616	430	29	140	130	Horst Link
Cannondale	jekyll	Trail	2021	430	616	115	65	75	442	1207	16	610	440	29	150	150	Horst Link
Cannondale	Scalpel	XC	2019	440	599	110	69,5	73,5	435	1118	38	592	424	29	100	100	Monopivote flexión carbono
Canyon	Lux cf 7	DC	2020	465	600	100	69,5	74	435	1129	34	595	430	29	110	100	Monopivote flexión carbono
Canyon	Neuron CF 8	Trail	2020	445	603	102	67	74,5	440	1167	38	614	433	29	140	140	Horst Link
Canyon	Lux Trail CF 9	DC	2021	465	627	100	67,5	74,5	435	1176	38	600	460	29	120	110	Monopivote flexión carbono
Canyon	Lux	XC	2018	445	585	105	70	74	450	1114	34,4	594	415	29	100	100	Monopivote flexión carbono
Canyon	Lux cf 9	XC	2020	465	599	100	70	74,5	435	1126	38	591	435	29	100	100	Monopivote flexión carbono
Cube	AMS ZERO99 C:68X	XC	2021	420	593,59	110	67,38	74,68	437	1155,69	43,37	592,51	436,79	29	100	100	Horst Link
Cube	AMS ZERO99 C:68X	XC	2021	420	595	110	68	74,5	437	1148,71	42	594,18	435,63	29	100	100	Horst Link
Cube	Stereo 120	DC	2020	420	591	105	67	75,3	435,5	1169	40	606,2	440	29	130	120	Horst Link
Cube	AMS ONE11 C:68X	DC	2021	420	598,22	110	66,06	73,36	444,5	1167,09	33,15	601,44	423,32	29	120	110	Horst Link
Cube	AMS ONE11 C:68X	DC	2021	420	599,73	110	66,67	73,17	444,5	1159,84	31,68	603,14	422,04	29	120	110	Horst Link
Cube	Ams 100	XC	2020	420	590	107	70	74,5	443	1125	42	600	427	29	100	100	Horst Link
Giant	Advanced Pro	XC	2021	440	610	95	69	73,5	438	1133	45	585	437	29	100	90	VPP (Maestro)
Giant	Trance x advanced pro (L)	Trail	2021	430	597	100	65,5	77,2	438	1205	40	621	456	29	150	135	VPP (Maestro)
Giant	Trance x advanced pro (H)	Trail	2021	430	595	100	66,2	77,9	435	1203	30	615	464	29	150	135	VPP (Maestro)
Giant	TRANCE 29	DC	2020	431	612	110	66,5	74,5	435	1176	35	613	442	29	130	115	VPP (Maestro)
Giant	Stance 29	DC	2020	431	593	100	67,5	75	438	1157	40	612	429	29	130	120	VPP (Maestro)
Kross	Soil	DC	2020	440	600	100	67	75,5	435	1178	32	606	444	29	130	130	Horst Link
Ktm	Scarp	XC	2020	430	600	105	68	75	435	1145	45	596	440	29	100	95	Monopivote flexión carbono

Diseño cuadro doble suspensión bicicleta XCM

Ktm	Scarp mt	DC	2020	430	603	105	67	74	435	1152	38	603	431	29	120	115	Monopivote flexión carbono
Ktm	Scarp	XC	2019	430	600	105	70	74,5	441	1129	-	603	433	29	100	95	Monopivote flexión carbono
Lapierre	Zesty	Trail	2019	430	613	110	66	75	428	-	40	608	450	29	130	120	Horst Link
Megamo	Track 10	XC	2021	445	600	95	69	74	435	-	-	584	432	29	100	100	Monopivote flexión carbono
Merida	Ninety-six rc 8999	XC	2021	440	596	95	68,5	76,5	435	1146	45	585	453	29	100	100	Monopivote flexión carbono
Merida	Ninety-six rc 9000	DC	2021	440	601	95	67	75	435	1156	36	595	440	29	120	100	Monopivote flexión carbono
Merida	One-Twenty 3000	Trail	2021	440	592	95	67,3	75,5	435	1160,7	40	607	435	29	130	120	Horst Link
MMR	Kenta	XC	2021	457	590	105	69	76	435	1138	50	602	440	29	100	100	Monopivote flexión carbono
MMR	Kenta sxc	DC	2021	457	596	105	68	75	435	1146	43	609	430	29	120	100	Monopivote flexión carbono
MMR	Kenta	XC	2019	457	568	105	70	73,8	445	1117	44	600	418	29	100	100	Monopivote flexión carbono
Mondraker	Podium	XC	2020	420	600	90	68	76,5	432	1153	40	575	460	29	100	100	Amortiguador flotante (Zero)
Mondraker	Podium dc	DC	2021	420	600	90	66,8	75,1	432	1167	31	582	450	29	120	100	Amortiguador flotante (Zero)
Mondraker	Foxy	endu	2021	426	629	100	66	76	435	1222	21	615	475	29	160	150	Amortiguador flotante (Zero)
Orbea	Oiz	XC	2021	432	593	95	69	75	430	1119	47	591	435	29	100	100	Monopivote flexión carbono
Orbea	Oiz tr	DC	2021	432	596	95	68	74	430	1126	40	598	425	29	120	120	Monopivote flexión carbono
Orbea	Occan	Trail	2021	419	592	105	66	77	440	1194	35	613	450	29	150	140	Split pivot
Orbea	Oiz	XC	2018	432	589	100	70	74	440	1098	45	597	417	29	100	100	Monopivote flexión carbono
Santa cruz	Blur	XC	2021	430	588	100	69	74	432	1136	42	588	440	29	100	100	Monopivote flexión carbono
Santa cruz	Blur tr	DC	2021	430	599	100	68,5	73,5	432	1140	39	592	435	29	110	100	Monopivote flexión carbono

ANEXO 1. GEOMETRÍA DE LAS BICICLETAS

Santa cruz	Tallboy high	Trail	2021	405	596	110	65,7	76,6	430	1187	38	610	450	29	130	130	VPP
Santa cruz	Tallboy low	Trail	2021	405	597	110	65,5	76,3	430	1187	41	612	448	29	130	130	VPP
Scott	Spark	XC	2021	440	600	95	68,5	73,8	435	1127,7	50,5	586,9	429	29	100	100	Monopivote flexión carbono
Scott	Spark dc	Trail	2021	440	605	95	67,2	73,8	438	1151,6	43	593,1	432,7	29	130	120	Monopivote flexión carbono
Scott	SCOTT SPARK RC PRO	DC	2021	440	590	90	67,2	76,1	437,5	1159	45	602,5	441	29	120	120	Monopivote flexión carbono
Specialized	Epic	XC	2021	430	598	100	67,5	75,5	433	1148	48	591	445	29	100	100	Monopivote flexión carbono
Specialized	Epic	XC	2018	434	595	105	69,5	74,75	438	1123	38	597	433	29	100	100	Monopivote flexión carbono
Specialized	Epic evo	DC	2021	430	602	100	66,5	74,5	438	1164	36	597	436	29	120	110	Monopivote flexión carbono
Specialized	Stumjumper (H)	Trail	2021	405	605	110	65,5	76,5	432	1200	35	618	455	29	140	130	Monopivote flexión carbono
Specialized	Stumjumper (L)	Trail	2021	405	605	110	65	76	432	1200	42	622	450	29	140	130	Monopivote flexión carbono
Trek	Supercaliber	XC	2020	445	610	90	69	74	430	1121	53	594	440	29	100	60	Monopivote flexión carbono
Trek	Topfuel (H)	DC	2020	445	614	90	68,5	75,5	434	1168	30	590	461	29	120	115	ABP
Trek	Topfuel (L)	DC	2020	445	615	90	68	75	435	1168	36	594	456	29	120	115	ABP
Trek	Fuel (H)	Trail	2021	435	618	105	66,5	75	436	1195	28	609	460	29	140	130	ABP
Trek	Fuel (L)	Trail	2021	435	619	105	66	75,5	437	1195	34	613	455	29	140	130	ABP

ANEXO 2. RESULTADOS DE LA ENCUESTA

Estudio de Mercado

130

Respuestas

04:47

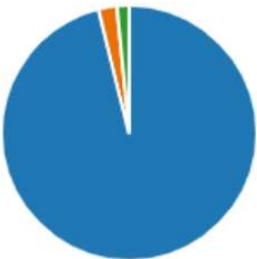
Tiempo medio para finalizar

Cerrado

Estado

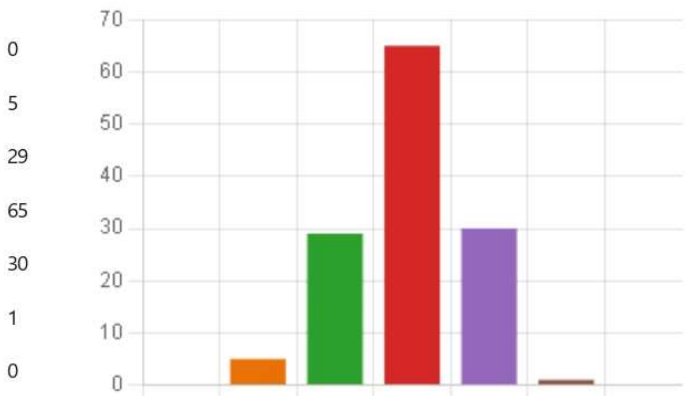
1. Sexo

Masculino	125
Femenino	3
Intersexual	2



2. Edad

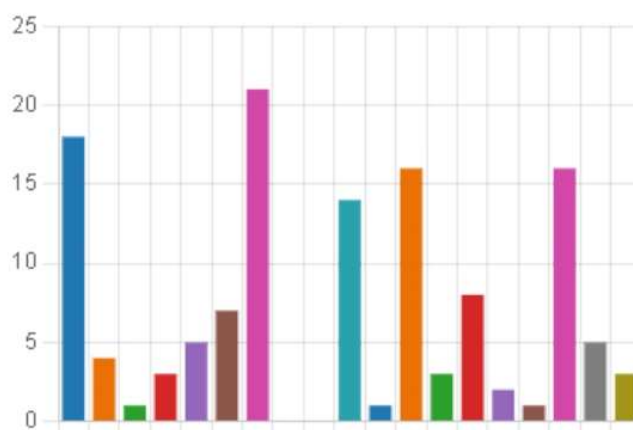
-16
16-25
26-35
36-45
46-55
56-65
+65



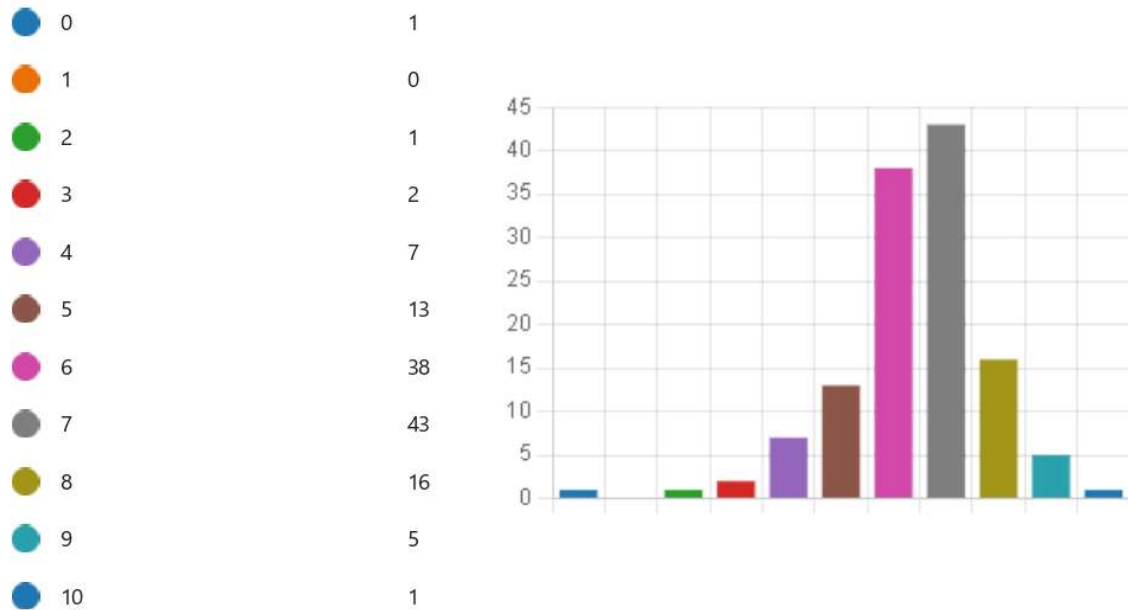
ANEXO 2. RESULTADOS DE LA ENCUESTA

3. ¿En qué Comunidad Autónoma resides?

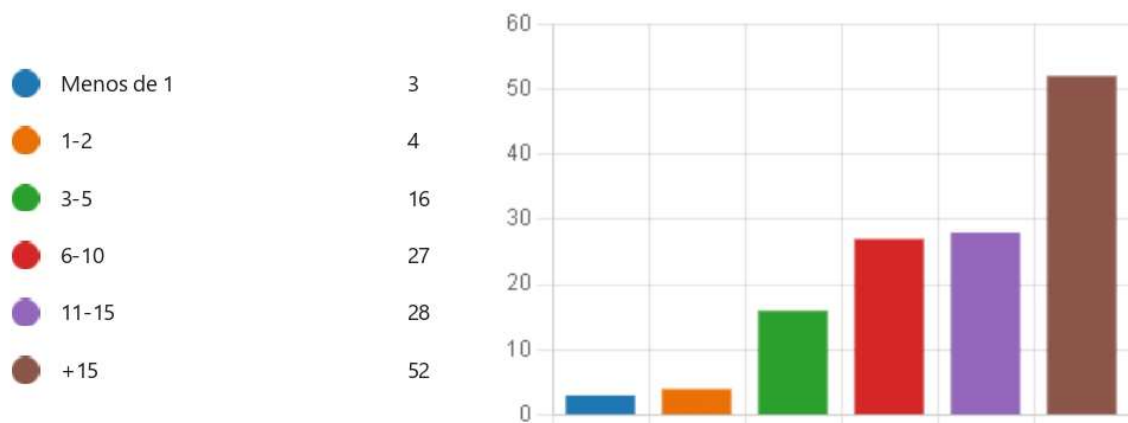
● Andalucía	18
● Aragón	4
● Canarias	1
● Cantabria	3
● Castilla-La Mancha	5
● Castilla y León	7
● Cataluña	21
● Ciudad Autónoma de Ceuta	0
● Ciudad Autónoma de Melilla	0
● Comunidad de Madrid	14
● Comunidad Foral de Navarra	1
● Comunitat Valenciana	16
● Extremadura	3
● Galicia	8
● Illes Balears	2
● La Rioja	1
● País Vasco	16
● Principado de Asturias	5
● Región de Murcia	3



4. ¿Cuál es tu estado de forma física? (0 muy mala, 10 profesional)

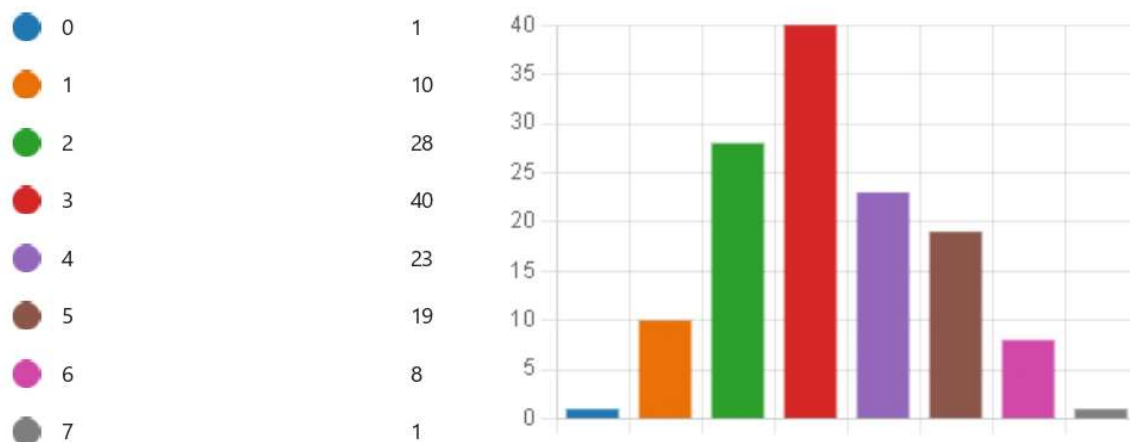


5. ¿Cuántos años llevas practicando alguna disciplina de mountain bike?

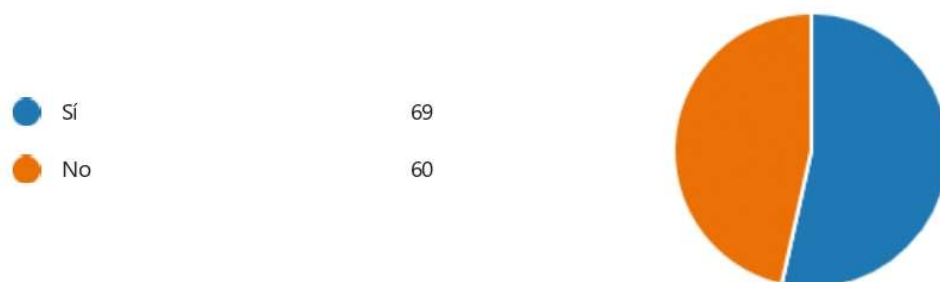


ANEXO 2. RESULTADOS DE LA ENCUESTA

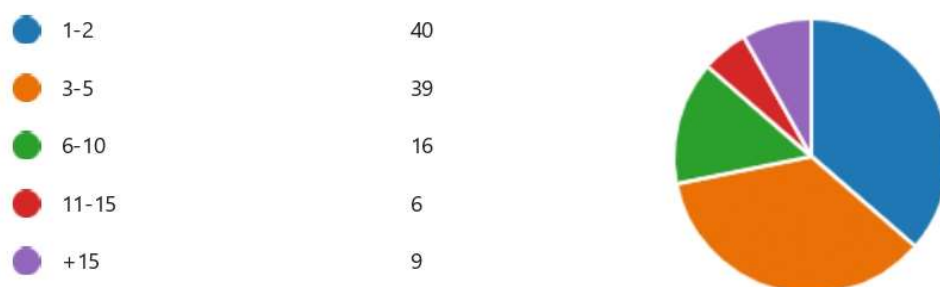
6. ¿Cuántos días a la semana montas en bicicleta?



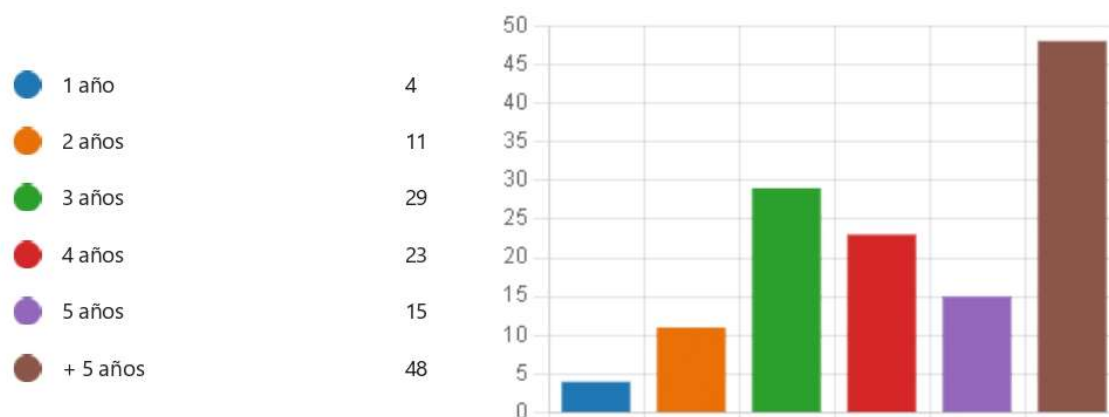
7. ¿Sueles participar en carreras o marchas?



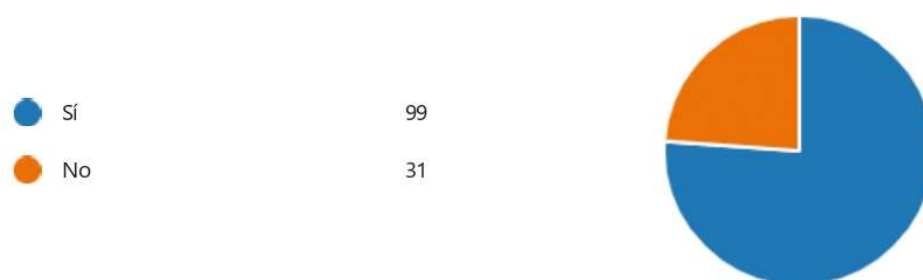
8. Antes de la pandemia, ¿en cuántas participabas anualmente?



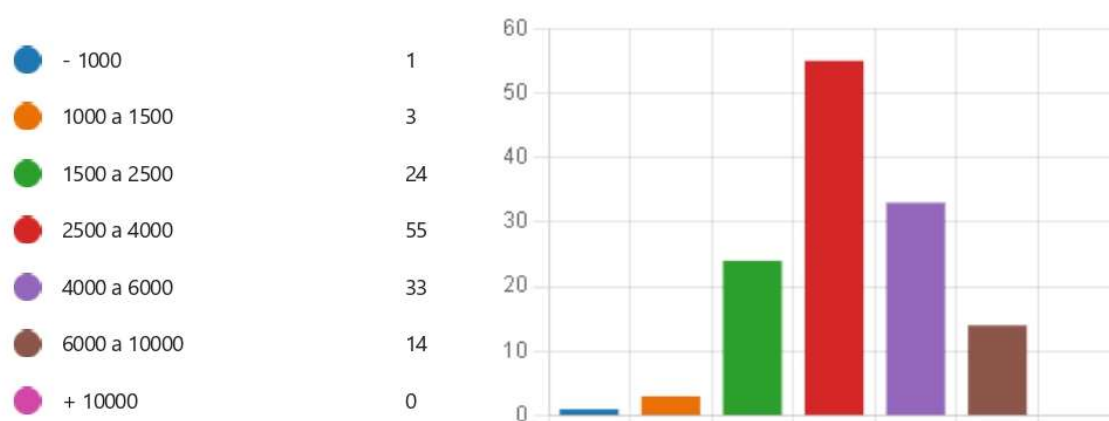
9. ¿Cada cuánto tiempo cambias de bici?



10. ¿Comprarías o has comprado una bicicleta de segunda mano?

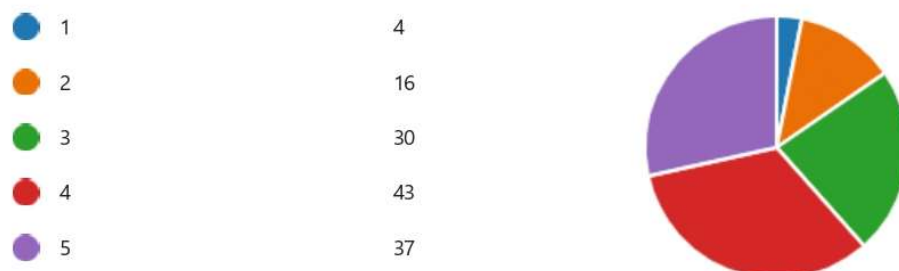


11. ¿Qué presupuesto destinarías a la adquisición de tu próxima MTB? (Cantidades en €)

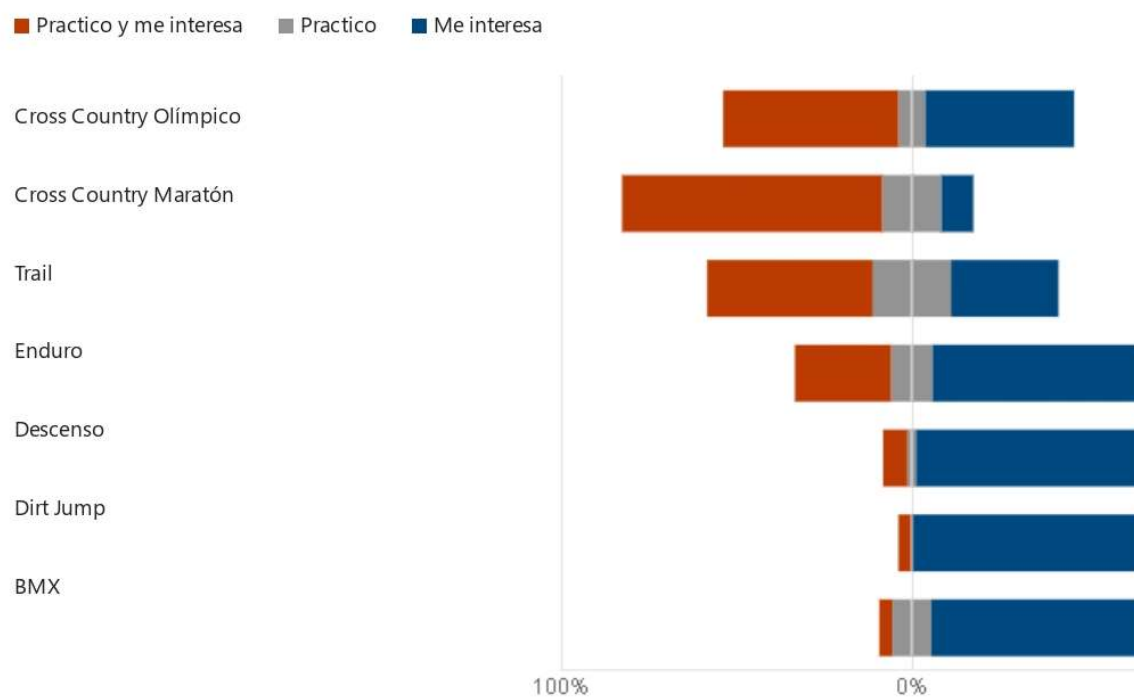


ANEXO 2. RESULTADOS DE LA ENCUESTA

12. ¿En qué medida te encargas del mantenimiento de tu bicicleta? (0 siempre la llevo al mecánico, 5 me encargo yo hasta del más mínimo detalle)



13. ¿Cuáles de estas disciplinas practicas y/o te interesan?



14. ¿Cuál es la disciplina que más practicas dentro del mountain bike?

	Cross country olímpico	14
	Cross country maratón	86
	Trail	23
	Enduro	5
	Descenso	1



15. ¿Compites o has competido alguna vez en alguna disciplina de mountain bike o carretera?

	Si	71
	No	59



16. ¿Te gustaría participar en alguna carrera de más de un día?

	Si	105
	No	25



17. ¿Qué priorizas en tus salidas con la bicicleta de montaña?

	Disfrutar	89
	Mejorar mi forma física y técnica	40



ANEXO 2. RESULTADOS DE LA ENCUESTA

18. En tus rutas con la bicicleta de montaña normalmente vas...

	Solo/a	43
	Acompañado/a	28
	Ambas en la misma proporción	59



19. Las rutas que haces suelen tener una dificultad técnica...

	Baja	15
	Media	78
	Alta	37



20. ¿Por qué tipo de terreno sueles practicar MTB? (Puedes marcar varias opciones)

	Llano	23
	Montañoso con subidas largas (...)	75
	Montañoso con cortas (-30 min)	75



21. ¿Qué tipo de rutas prefieres?

	Rutas cortas (menos de dos hor...	7
	Rutas medias (entre dos y cuatr...	89
	Rutas largas (más de cuatro hor...	34



22. Tus rutas en bicicleta de montaña suelen tener...

● Poco desnivel (-1000m)	47
● Mucho desnivel (+1000m)	83



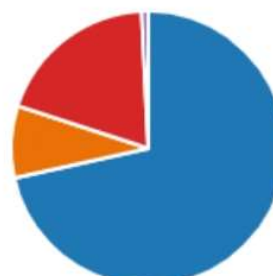
23. ¿En qué tramos disfrutas más?

● Subida	38
● Llano	17
● Bajada	75



24. ¿En qué zonas disfrutas más?

● Senderos	93
● Pistas forestales	11
● Carreteras	0
● Trialeras	25
● Otras	1



25. ¿Usas o tienes intención de utilizar una tija telescópica?

● Sí	79
● No	51



ANEXO 2. RESULTADOS DE LA ENCUESTA

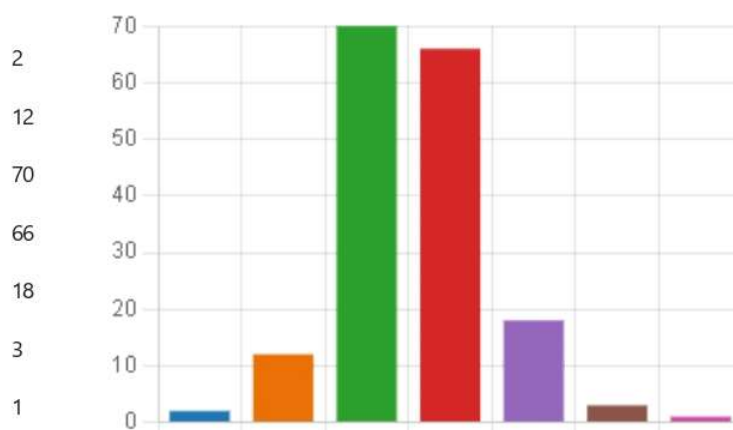
26. ¿Qué tipo de transmisión prefieres?

● Monoplato	112
● Doble plato	18



27. ¿Cuántos dientes tendría tu plato si montases un cassette de 10-50? (Puedes marcar varias opciones)

● 28
● 30
● 32
● 34
● 36
● 38
● 40

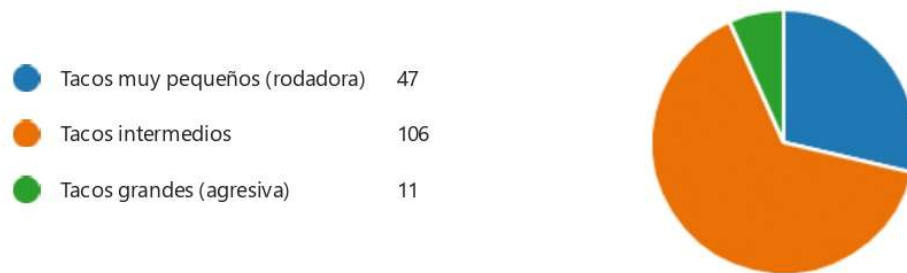


28. ¿Qué ancho de cubiertas montarías en tu bicicleta de Cross Country? (Puedes marcar varias opciones)

● -2.0	0
● 2.0-2.15	11
● 2.15-2.25	53
● 2.25-2.35	87
● 2.35-2.5	9



29. ¿Qué tipo de taqueado tendrían esas cubiertas? (Puedes marcar varias opciones)



30. ¿Cuáles de estas características consideras esenciales en una bicicleta de doble suspensión? (1 poco importante, 5 muy importante)

