

Anexos

Título del trabajo

Diseño, modelado, estudio cinemático y estructural
de un cuadro asimétrico de enduro

English title

Design, modelling, cinematic and structural study of
an asymmetric enduro bike frame

Autor

Diego Vélez Cercós

Director

Juan Antonio Peña Baquedano

Facultad

EINA

Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo del Producto
2016 - 2017

Índice

Portada.....	1
Índice.....	2
Fase 1: Estudio de mercado y definición de la geometría	
Descripción y definición de una bicicleta de enduro.....	4
Estudio de mercado	
Canyon.....	10
Commencal.....	11
Devinci.....	12
Giant.....	13
Kona.....	14
Mondraker.....	15
Nukeproof.....	16
Pivot.....	17
Santacruz.....	18
Scott.....	19
Specialized.....	20
Trek.....	21
Yeti.....	22
YoungTalent.....	23
Fase 2: Sistemas de suspensión existentes y diseño del cuadro	
Linkages existentes	
Pivote virtual.....	25
Monopivote.....	26
Monopivote articulado.....	26
Horst Link.....	27
Amortiguador flotante.....	27
Active Braking Point.....	28
Diseño de los conceptos.....	28
Fase 3: Análisis funcional de la geometría	
Conceptos básicos.....	31
Bloques SolidWorks.....	33
Evolución funcional y formal.....	33
Fase 4: Materiales, procesos de fabricación y diseño CAD	
Fibra de carbono: métodos de fabricación/unión.....	38
Desarrollo CAD.....	39
Fase 5: Estudio y análisis del triángulo delantero	
Modo de trabajo de SolidWorks Simulation.....	44
Fase 6: Prototipado	
Motivos del prototipado.....	49
Impresora usada.....	49
Software utilizado.....	49
Fase 7: Presupuesto	
Piezas a fabricar.....	56
Piezas comerciales.....	56
Mano de obra.....	57
Presupuesto de ejecución material.....	57

Fase 1

Estudio de mercado y definición de la geometría

- Descripción y definición de una bicicleta de enduro

- Componentes del triángulo delantero
- Manillar
- Horquilla
- Neumático
- Rueda
- Disco
- Freno
- Bielas
- Plato
- Cadena
- Desviador
- Casette
- Tija telescópica
- Sillín

- Estudio de mercado

- Canyon
- Commencal
- Devinci
- Giant
- Kona
- Mondraker
- Nukeproof
- Pivot
- Santacruz
- Scott
- Specialized
- Trek
- Yeti
- YoungTalent

Descripción de los componentes de una bicicleta de enduro



A continuación se describirán cada parte del triángulo delantero, en el orden de las agujas del reloj.

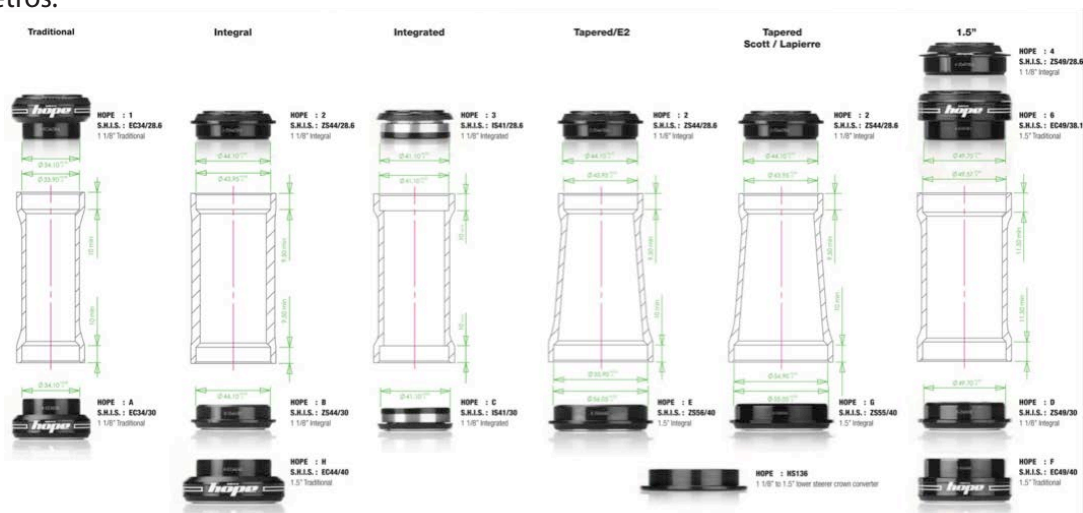
Basculante: es la pieza de unión que permite conectar el ojo inferior del amortiguador al cuadro con un grado de libertad. Los materiales, ordenados de más usado a menos, con los que suelen ser construidos los basculantes suelen ser: aluminio, carbono y titanio.

Tubo superior: parte que une el tubo del sillín con la pipa de dirección, el ángulo que tiene respecto a la línea vertical que sube de la caja de pedalier se llama *slope*. Cuanto mayor sea la angulación más paralelo al suelo estará.

Pipa de dirección: es el cilindro sobre el que se montan los rodamientos y la horquilla. Las direcciones no son siempre las mismas sino que hay de diferentes tipos. Para bicicletas de gama media alta se usan las siguientes direcciones:

- 1.- **Ahead:** se caracteriza porque las cazoletas van por fuera de la pipa, aunque tienen una parte que va embutida dentro para tener sujeción.
- 2.- **Semi-integrada:** tiene una similitud con la dirección Ahead, que es que la cazoleta sobresale de la pipa pero apenas unos milímetros, siendo mucho más atractiva visualmente.
- 3.- **Integrada:** no consta de una cazoleta donde estén los rodamientos, sino que van directamente integrados en la pipa.
- 4.- **Cónica o tapered:** es la más usada, se caracteriza porque la parte inferior de la dirección tiene un mayor diámetro que la superior siendo, el diámetro más pequeño de 1-1/8" y el mayor de 1.5".

A continuación se detalla una tabla de todas las direcciones que existen, con los detalles de las medidas usadas en milímetros.



Tubo inferior: une la pipa de dirección con el eje de pedalier, es el elemento que más sometido a impactos suele estar debido a todas las piedras que saltan e impactan, causando rayas en la pintura e incluso casos más fuertes deformaciones.

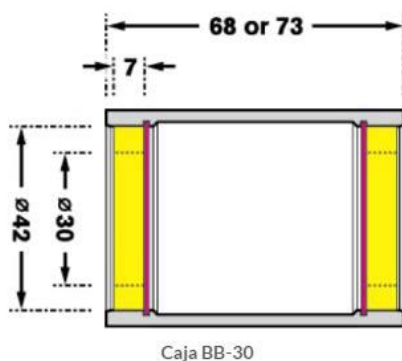
Caja de pedalier: es el cilindro donde se montan el eje de pedalier y las bielas. Al igual que sucede con la pipa de dirección encontramos varias tipologías de ejes de pedalier:

1.- **Roscados:** actualmente en desuso, se roscaban las cazoletas que contenían los rodamientos sobre la caja de pedalier con un tubo de unión entre ellas para una mejor estanqueidad.

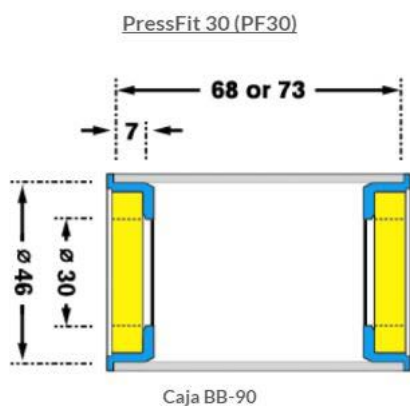


2.- **Sin roscar:** son los que más usados y hay dos tipos, los que los rodamientos se incorporan directamente al cuadro y los que van incorporados en unas cazoletas. A continuación se describirán los dos más representativos ya que hay modelos específicos que pertenecen a una marca y para estudiar las generalidades de los ejes no son relevantes

2.1.- **BB30:** es el más extendido y se monta tanto en carretera como en montaña. Las siglas BB derivan del inglés *Bottom Braquet* que significa eje de pedalier, esto se debe a que los rodamientos van montados directamente sobre el mismo. El 30 significa el diámetro interior del rodamiento o lo que es lo mismo del eje. Tiene una longitud de 68mm y 72mm, según el modelo.



2.2.- **PressFit30:** es el sistema que incorpora los rodamientos en las cazoletas, al igual que el sistema BB30 este sistema también está adaptado para ejes de 30mm de diámetro.



Tubo del sillín: funciona como base para insertar la tija del sillín, además une la caja de pedalier con el tubo superior.

En los **Anexos** de la fase 1 se encuentran las descripciones de los componentes de una bicicleta de enduro.



Manillar: es la parte donde se encuentran todas las mandos que requieren de la interacción humana para funcionar o realizar funciones específicas como son los cambios de marchas, frenos, tija telescópica y regulación de las amortiguaciones. En el enduro, el diámetro del manillar varía desde la zona de la potencia a la de los puños. Este es un valor distintivo ya que se suelen encontrar de 31'8mm y 35mm, respecto a la anchura del manillar varía desde los 760mm a 800mm según los gustos del ciclista junto con el *rise* que es la altura entre los ejes del final del manillar y del centro.



Horquilla: la función de este componente es absorber todos los impactos que transmite la rueda delantera debido a las irregularidades del suelo, constan de ajustes que permiten una regulación según el terreno o el gusto del ciclista, los ajustes son la compresión a altas/bajas velocidades y rebote, como también ajustes de aire para incrementar o disminuir la dureza de compresión (factor que se mide en psi y es dependiente del peso del ciclista).



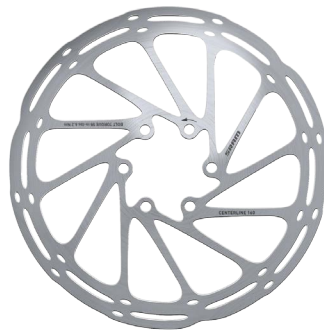
Neumático: la cubierta que va en contacto con el suelo, disponen de tacos laterales y centrales para un mayor agarre. Dependiendo de las condiciones de uso pueden encontrarse neumáticos normales para las condiciones secas, para barro, para lluvia, para nieve, etc.



Rueda: se compone del aro, radios y buje. En el buje encontramos los rodamientos y el eje pasante que permite anclar la rueda a la horquilla. En cuanto a los radios, suelen ser 32, sirven para distribuir las tensiones de los impactos y están fabricados en aluminio para esta categoría. Por último el aro es el perfil en el que se asienta el neumático y la cámara, respecto a los materiales de fabricación pueden encontrarse en aluminio y carbono, siendo estos últimos de gama alta.



Disco: anclado al buje mediante 6 tornillos torx, su función es detener la bicicleta. Fabricados en aluminio tienen una forma que permite refrigerarse con facilidad, aunque para casos de potente frenada constante durante rato prolongado puede llegar a deformar.



Freno: hidráulico, de 2 o 4 pistones dependiendo de la marca y el modelo, con el freno delantero en la maneta izquierda y el trasero en la derecha.



Bielas: de aluminio o carbono, conectan los pedales con el plato y el sistema de transmisión, son pasantes por la caja de pedalier permitiendo repartir los esfuerzos axiales de la fuerza de pedaleo por ambas piezas.



Plato: la relación de pedaleo depende de los dientes (24, 28, 32,...)y de la forma que tienen, redondos u ovalados, que estos últimos están ascendiendo en el mercado gracias al comportamiento que tienen en el pedaleo con una mayor eficiencia.



Cadena: es el elemento transmisor de la fuerza del pedaleo a los piñones, se compone de una serie de eslabones que encajan entre los dientes del plato y el piñón seleccionado.



Desviador: es el elemento que permite cambiar la relación de pedaleo gracias a la tensión de cable sobre el muelle que contiene el desviador, cambiando la posición de la cadena forzandola a cambiar de corona.



Casette: son un conjunto de piñones unidos mediante una corona, que tienen una número concreto de marchas que tienen una relación dependiente de los dientes que tengan el piñon más grande y el más pequeño, la última innovación es un set de 12 velocidad con una relación de 50-10.



Tija telescópica: es un invento que supuso una revolución cuando salió al mercado hace unos pocos años. El sillín gracias a un sistema, sea hidráulico o mecánico (por muelle), permite regular la posición del sillín en función de la actividad que se esté llevando a cabo. Por ejemplo en un ascenso una posición del sillín elevada facilita la postura más cómoda, dando una mayor eficacia de pedaleo, mientras que en un descenso cuanto menor sea la posición del centro de gravedad, mayor estabilidad se tendrá por lo que el sillín favorece a esta situación en la posición baja.



Sillín: es donde los glúteos del ciclista están en contacto con la bici a la hora del pedaleo, por lo que tiene que ser un elemento cómodo para grandes trayectos o de peso bajo si se desea tener unos gramos de peso menos en la bicicleta.



Estudio de mercado

Canyon Strive



Tabla de geometrías

Talla de cuadro	XS	S	M	L	XL
Altura (cm)	155-163	163-170	170-178	178-187	187-198
A Altura del sillín (mm)	635-735	670-777	695-827	725-857	765-897
B Tubo de sillín	388	430	430	460	500
C Tubo superior	576	600	629	648	668
D Tubo de dirección	95	115	125	135	155
E Ángulo dirección			66 [+1.5°]		
F Ángulo tubo sillín			73.5° [+1.5°]		
G Longitud vainas			423		
H Largo entre ejes	1132	1158	1188	1207	1240
I Stack	592	606	615	627	643
J Reach	402	422	448	468	487
L Offset del pedalier			340 [+20]		
Espaciador			20		
Longitud potencia	40	40	50	50	50
Ancho de manillar			780		
Longitud de biela			170		
Diámetro de la tija			30,9		
Longitud de la tija	390	390	440	440	440
Wheel size			27,5		
Recorrido amortiguador			163/130		
Largo amortiguador			200x57		

Tamaño de rueda

27.5'

Recorrido

160/160

Materiales del cuadro

Aluminio

Carbono

P.V.P

A partir de 2.600€

Invariables

Ángulo del tubo del sillín	73'5 (+-1'5)°
Ángulo de dirección	66 (+-1'5)°
Longitud de vainas	423mm
Altura de caja de pedalier	340mm

Variables según la talla (XS)

Longitud del tubo del sillín	388mm
Longitud tubo superior	576mm
Distancia entre ejes	1132mm
Longitud pipa	95mm
Reach	402mm
Stack	592mm

Variables según la talla (S)

Longitud del tubo del sillín	430mm
Longitud tubo superior	600mm
Distancia entre ejes	1158mm
Longitud pipa	115mm
Reach	422mm
Stack	606mm

Variables según la talla (M)

Longitud del tubo del sillín	430mm
Longitud tubo superior	629mm
Distancia entre ejes	1188mm
Longitud pipa	125mm
Reach	448mm
Stack	645mm

Variables según la talla (L)

Longitud del tubo del sillín	460mm
Longitud tubo superior	648mm
Distancia entre ejes	1207mm
Longitud pipa	135mm
Reach	468mm
Stack	627mm

Variables según la talla (XL)

Longitud del tubo del sillín	500mm
Longitud tubo superior	668mm
Distancia entre ejes	1240mm
Longitud pipa	155mm
Reach	487mm
Stack	643mm

Commençal Meta V4.2



Tamaño de rueda
27.5'

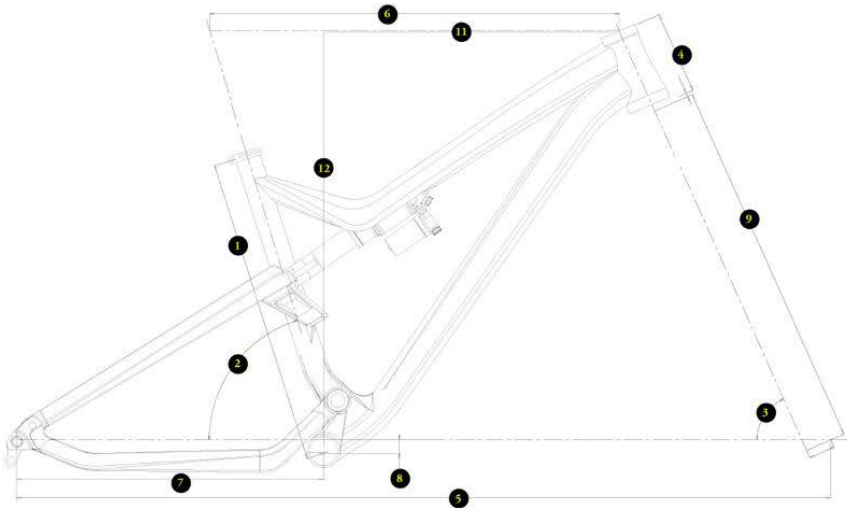
Recorrido
170/160

Materiales del cuadro
Aluminio

P.V.P
A partir de 2.200€

Tabla de geometrías

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TALLA	LONGITUD TUBO DE SILLÍN	ÁNGULO DEL TUBO DE SILLÍN	ÁNGULO DE DIRECCIÓN	ALTURA DE TUBO DE DIRECCIÓN	DISTANCIA ENTRE EJES	LONGITUD DEL TUBO SUPERIOR	LONGITUD DE VAINAS	ALTURA DE CAJA DE PEDALIER	ALTURA DE HORQUILLA	ALTURA DEL ENTREPIERNA	PROYECCIÓN HORIZONTAL BB/TT	PROYECCIÓN VERTICAL BB/TT
S	400,0	74,0	65,5	110,0	1156,0	570,0	437,0	-12,0	552,0	705,0	403,0	602,0
M	440,0	74,0	65,5	115,0	1180,0	593,0	437,0	-12,0	552,0	715,0	425,0	608,0
L	490,0	74,0	65,5	120,0	1205,0	618,0	437,0	-12,0	552,0	743,0	448,0	612,0
XL	520,0	74,0	65,5	125,0	1231,0	643,0	437,0	-12,0	552,0	750,0	471,0	616,0



Invariables

Ángulo del tubo del sillín	74°
Ángulo de dirección	65'5°
Longitud de vainas	437mm
Altura de caja de pedalier	342mm

Variables según la talla (S)

Longitud del tubo del sillín	400mm
Longitud tubo superior	570mm
Distancia entre ejes	1156mm
Longitud pipa	110mm
Reach	403mm
Stack	602mm

Variables según la talla (M)

Longitud del tubo del sillín	440mm
Longitud tubo superior	593mm
Distancia entre ejes	1180mm
Longitud pipa	115mm
Reach	425mm
Stack	608mm

Variables según la talla (L)

Longitud del tubo del sillín	490mm
Longitud tubo superior	618mm
Distancia entre ejes	1205mm
Longitud pipa	120mm
Reach	448mm
Stack	612mm

Variables según la talla (XL)

Longitud del tubo del sillín	520mm
Longitud tubo superior	643mm
Distancia entre ejes	1231mm
Longitud pipa	125mm
Reach	471mm
Stack	616mm

Devinci Spartan



Tamaño de rueda

27.5'

Recorrido

160/160

Materiales del cuadro

Aluminio

Carbono

P.V.P

A partir de 3.759€

Tabla de geometrías

LO

	ST	SA	HA	TT1	TT2	REACH	CS	WB	BBH	SOH	STACK	HT
	mm	deg	deg	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
S	410	72.4	65.8	587	560	395	432	1140	337	727	607	105
M	445	72.4	65.8	607	580	413	432	1161	337	734	612	115
L	475	72.4	65.8	627	601	432	432	1182	337	749	617	125
XL	510	72.4	65.8	647	621	449	432	1203	337	764	626	135

HI

	ST	SA	HA	TT1	TT2	REACH	CS	WB	BBH	SOH	STACK	HT
	mm	deg	deg	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
S	410	73.0	66.4	585	558	401	430	1138	344	730	603	105
M	445	73.0	66.4	605	578	419	430	1159	344	737	608	115
L	475	73.0	66.4	625	599	438	430	1180	344	752	613	125
XL	510	73	66.4	645	619	455	430	1201	344	766	622	135

Invariables

Ángulo del tubo del sillín	73°
Ángulo de dirección	66'4°
Longitud de vainas	430mm
Altura de caja de pedalier	344mm

Variables según la talla (S)

Longitud del tubo del sillín	410mm
Longitud tubo superior	585mm
Distancia entre ejes	1138mm
Longitud pipa	105mm
Reach	401mm
Stack	603mm

Variables según la talla (M)

Longitud del tubo del sillín	445mm
Longitud tubo superior	605mm
Distancia entre ejes	1159mm
Longitud pipa	115mm
Reach	419mm
Stack	608mm

Variables según la talla (L)

Longitud del tubo del sillín	475mm
Longitud tubo superior	625mm
Distancia entre ejes	1180mm
Longitud pipa	120mm
Reach	438mm
Stack	613mm

Variables según la talla (XL)

Longitud del tubo del sillín	510mm
Longitud tubo superior	645mm
Distancia entre ejes	1201mm
Longitud pipa	125mm
Reach	455mm
Stack	622mm

Giant Reign



Tamaño de rueda

27.5'

Recorrido

160/160

Materiales del cuadro

Aluminio

Carbono

P.V.P

A partir de 2.600€

Tabla de geometrías

Size	Ángulo tubo dirección	Ángulo tubo sillín	Tubo superior	Reach	Tubo de dirección	Stack	Vainas	Distancia entre ejes	Altura al tubo horizontal
S	65.0°	73.0°	58.4 cm	40.9 cm	9.4 cm	57.7 cm	43.4 cm	115.8 cm	71.6 cm
M	65.0°	73.0°	62.0 cm	44.4 cm	9.4 cm	57.7 cm	43.4 cm	119.1 cm	71.4 cm
L	65.0°	73.0°	64.0 cm	45.8 cm	11.4 cm	59.5 cm	43.4 cm	121.7 cm	73.2 cm
XL	65.0°	73.0°	66.5 cm	48.0 cm	12.4 cm	60.4 cm	43.4 cm	124.2 cm	73.9 cm

Invariables

Ángulo del tubo del sillín	73°
Ángulo de dirección	65°
Longitud de vainas	434mm
Altura de caja de pedalier	340mm

Variables según la talla (S)

Longitud del tubo del sillín	410mm
Longitud tubo superior	584mm
Distancia entre ejes	1158mm
Longitud pipa	94mm
Reach	409mm
Stack	577mm

Variables según la talla (M)

Longitud del tubo del sillín	445mm
Longitud tubo superior	620mm
Distancia entre ejes	1191mm
Longitud pipa	94mm
Reach	444mm
Stack	577mm

Variables según la talla (L)

Longitud del tubo del sillín	475mm
Longitud tubo superior	640mm
Distancia entre ejes	1217mm
Longitud pipa	114mm
Reach	458mm
Stack	595mm

Variables según la talla (XL)

Longitud del tubo del sillín	510mm
Longitud tubo superior	665mm
Distancia entre ejes	1242mm
Longitud pipa	124mm
Reach	480mm
Stack	604mm

Kona Process



Tamaño de rueda

27.5'

Recorrido

160/162

Materiales del cuadro

Aluminio

P.V.P

A partir de 3.327€

GEOMETRY

Tabla de geometrías

GEOMETRY				Tabla de geometrías		mm	inches
	SIZE	S	M	L	XL		
1	ST LENGTH	405	410	460	485		
2	TT LENGTH	585	614	642	679		
3	REACH	425	450	475	510		
4	STACK	581	590	600	604		
5	STANDOVER	700	705	705	705		
6	HT ANGLE	65.5	65.5	65.5	65.5		
7	HT LENGTH	105	115	125	130		
8	ST ANGLE	75	75	75	75		
9	CS LENGTH	426	426	426	426		
10	BB DROP	10	10	10	10		
11	BB HEIGHT	348	348	348	348		
12	WHEELBASE	1157	1186	1215	1253		
13	FRONT CENTER	732	761	790	827		
14	FORK LENGTH	539	539	539	539		
15	FORK OFFSET	42	42	42	42		

Invariables

Ángulo del tubo del sillín	75°
Ángulo de dirección	65'5°
Longitud de vainas	426mm
Altura de caja de pedalier	348mm

Variables según la talla (S)

Longitud del tubo del sillín	405mm
Longitud tubo superior	585mm
Distancia entre ejes	1157mm
Longitud pipa	105mm
Reach	425mm
Stack	581mm

Variables según la talla (M)

Longitud del tubo del sillín	410mm
Longitud tubo superior	614mm
Distancia entre ejes	1186mm
Longitud pipa	115mm
Reach	450mm
Stack	590mm

Variables según la talla (L)

Longitud del tubo del sillín	460mm
Longitud tubo superior	642mm
Distancia entre ejes	1215mm
Longitud pipa	125mm
Reach	475mm
Stack	600mm

Variables según la talla (XL)

Longitud del tubo del sillín	485mm
Longitud tubo superior	679mm
Distancia entre ejes	1253mm
Longitud pipa	130mm
Reach	510mm
Stack	604mm

Mondraker Dune



Tamaño de rueda
27.5'

Recorrido
160/160

Materiales del cuadro
Aluminio
Carbono

P.V.P
A partir de 2.999€

Tabla de geometrías

	FRAME SIZE	S	M	L	XL
A	Longitud tubo sillín	380mm	420mm	470mm	510mm
B	Longitud tubo superior	610mm	630mm	655mm	673mm
C	Caída eje pedalier	-5mm	-5mm	-5mm	-5mm
D	Altura eje pedalier	347mm	347mm	347mm	347mm
E	Longitud vainas	430mm	430mm	430mm	430mm
F	Ángulo tubo sillín real	70°	70°	70°	70°
G	Ángulo tubo sillín efectivo	75°	75°	75°	75°
H	Ángulo dirección	66.5°	66.5°	66.5°	66.5°
I	Fork Offset	44mm	44mm	44mm	44mm
J	Distancia entre ejes	1193mm	1213mm	1238mm	1260mm
K	Longitud pipa	110mm	110mm	120mm	130mm
L	Reach	452mm	472mm	493mm	508mm
M	Stack	593mm	593mm	603mm	610mm

Invariables

Ángulo del tubo del sillín	75°
Ángulo de dirección	66'5°
Longitud de vainas	430mm
Altura de caja de pedalier	347mm

Variables según la talla (S)

Longitud del tubo del sillín	380mm
Longitud tubo superior	610mm
Distancia entre ejes	1193mm
Longitud pipa	110mm
Reach	452mm
Stack	593mm

Variables según la talla (M)

Longitud del tubo del sillín	420mm
Longitud tubo superior	630mm
Distancia entre ejes	1213mm
Longitud pipa	110mm
Reach	472mm
Stack	593mm

Variables según la talla (L)

Longitud del tubo del sillín	470mm
Longitud tubo superior	655mm
Distancia entre ejes	1238mm
Longitud pipa	120mm
Reach	493mm
Stack	603mm

Variables según la talla (XL)

Longitud del tubo del sillín	510mm
Longitud tubo superior	673mm
Distancia entre ejes	1260mm
Longitud pipa	130mm
Reach	508mm
Stack	610mm

Nukeproof Mega 275



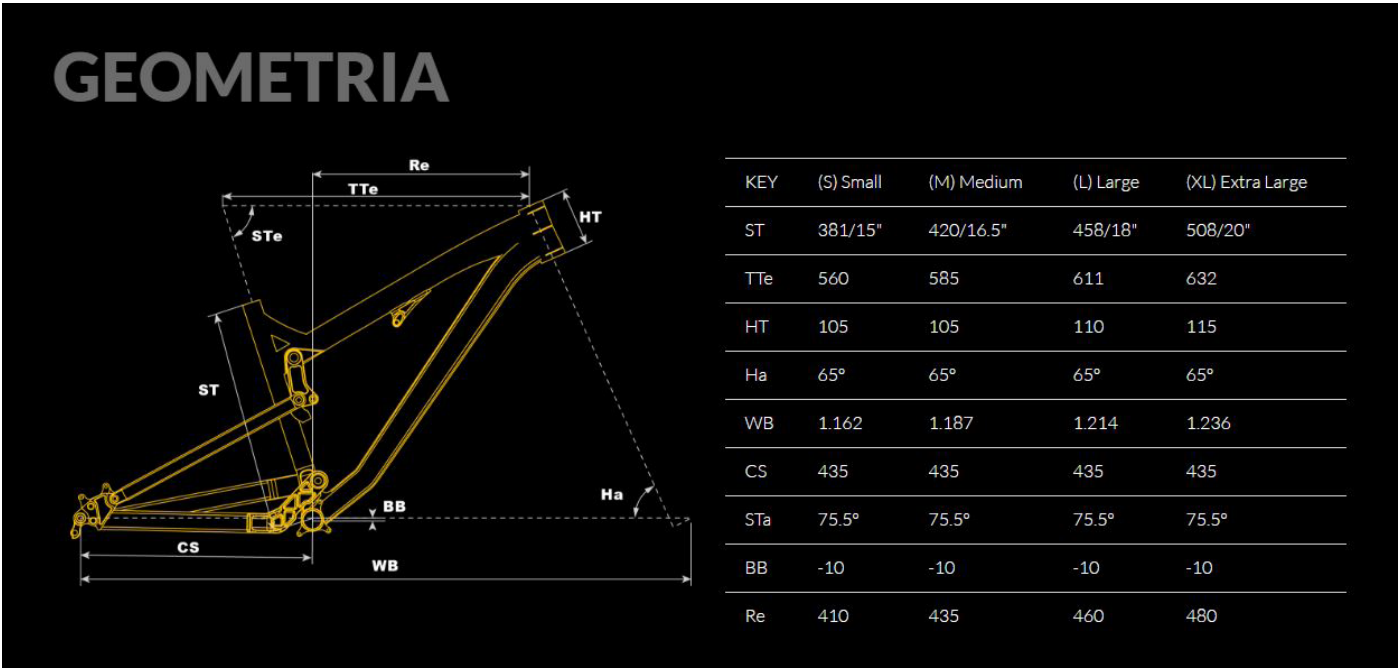
Tamaño de rueda
27.5'

Recorrido
160/160

Materiales del cuadro
Aluminio

P.V.P
A partir de 2.300€

Tabla de geometrías



Invariables

Ángulo del tubo del sillín	75'5°
Ángulo de dirección	65°
Longitud de vainas	435mm
Altura de caja de pedalier	342mm

Variables según la talla (S)

Longitud del tubo del sillín	381mm
Longitud tubo superior	560mm
Distancia entre ejes	1162mm
Longitud pipa	105mm
Reach	410mm
Stack	581mm

Variables según la talla (M)

Longitud del tubo del sillín	420mm
Longitud tubo superior	585mm
Distancia entre ejes	1187mm
Longitud pipa	105mm
Reach	435mm
Stack	590mm

Variables según la talla (L)

Longitud del tubo del sillín	458mm
Longitud tubo superior	611mm
Distancia entre ejes	1214mm
Longitud pipa	110mm
Reach	460mm
Stack	600mm

Variables según la talla (XL)

Longitud del tubo del sillín	508mm
Longitud tubo superior	632mm
Distancia entre ejes	1236mm
Longitud pipa	115mm
Reach	480mm
Stack	604mm

Pivot Firebird



Tamaño de rueda
27.5'

Recorrido
160/170

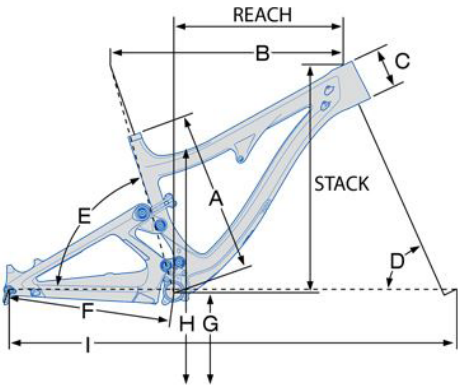
Materiales del cuadro
Carbono

P.V.P
A partir de 6.500€

Tabla de geometrías



Geometry Chart



	S	M	L	XL
A Seat Tube Length (C-T)	39.37	42.55	45.72	49.53
B Top Tube Length	59.36	61.57	63.80	66.09
C Head Tube Length	10.01	11.00	11.99	13.00
D Head Tube Angle	65°	65°	65°	65°
E Seat Tube Angle	74°	74°	74°	74°
F Chain Stay Length	43.00	43.00	43.00	43.00
G Bottom Bracket Height	34.92	34.92	34.92	34.92
H Standover Height	70.79	71.70	71.70	72.29
I Wheelbase	117.50	120.42	122.86	125.27
Stack	58.60	59.51	60.40	61.29
Reach	42.01	44.50	46.51	48.49

Values in centimeters IN

Invariables

Ángulo del tubo del sillín	74°
Ángulo de dirección	65°
Longitud de vainas	430mm
Altura de caja de pedalier	349'2mm

Variables según la talla (S)

Longitud del tubo del sillín	393'7mm
Longitud tubo superior	593'6mm
Distancia entre ejes	1175mm
Longitud pipa	100'1mm
Reach	420'1mm
Stack	586mm

Variables según la talla (M)

Longitud del tubo del sillín	425'5mm
Longitud tubo superior	615'7mm
Distancia entre ejes	1204'2mm
Longitud pipa	110mm
Reach	445mm
Stack	595'1mm

Variables según la talla (L)

Longitud del tubo del sillín	457'2mm
Longitud tubo superior	638mm
Distancia entre ejes	1228'6mm
Longitud pipa	119'9mm
Reach	465'1mm
Stack	604mm

Variables según la talla (XL)

Longitud del tubo del sillín	495'3mm
Longitud tubo superior	660'9mm
Distancia entre ejes	1252'7mm
Longitud pipa	130mm
Reach	484'9mm
Stack	612'9mm

Santacruz Nomad



Tamaño de rueda
27.5'

Recorrido
160/165

Materiales del cuadro
Carbono

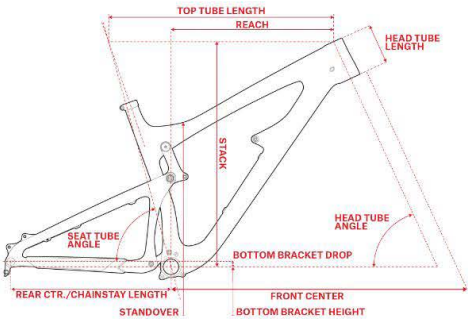
P.V.P
A partir de 4.385€

Tabla de geometrías

Geometría

All measurements reflect installation of a fork with a 554.1mm axle-to-crown height.

	S	M	L	XL
Alcanzar	392.1mm	415mm	437.8mm	460.7mm
Apilar	591mm	600mm	609.1mm	618.1mm
Ángulo del tubo de dirección	65°	65°	65°	65°
Longitud del tubo de dirección	393.7mm	419.1mm	457.2mm	495.3mm
Altura eje del pedalier al suelo (BB Height)	340mm	340mm	340mm	340mm
Distancia entre ejes	1142.7mm	1169.8mm	1195.4mm	1223.9mm
Longitud de vaina	433.1mm	433.1mm	433.1mm	433.1mm
Longitud del tubo de dirección	90mm	100mm	110mm	120mm
Longitud del tubo superior	558.8mm	584.2mm	609.6mm	635mm
Ángulo del tubo de dirección	74.2°	74.2°	74.2°	74.2°
Altura conducción más levantada	726.5mm	725mm	731.9mm	742.6mm



MM/KG IN/LBS

Invariables

Ángulo del tubo del sillín	74'2°
Ángulo de dirección	65°
Longitud de vainas	433'1mm
Altura de caja de pedalier	340mm

Variables según la talla (S)

Longitud del tubo del sillín	393'7mm
Longitud tubo superior	558'8mm
Distancia entre ejes	1142'7mm
Longitud pipa	90mm
Reach	392'1mm
Stack	591mm

Variables según la talla (M)

Longitud del tubo del sillín	419'1mm
Longitud tubo superior	584'2mm
Distancia entre ejes	1169'8mm
Longitud pipa	100mm
Reach	415mm
Stack	584'2mm

Variables según la talla (L)

Longitud del tubo del sillín	457'2mm
Longitud tubo superior	609'6mm
Distancia entre ejes	1195'4mm
Longitud pipa	110mm
Reach	437'8mm
Stack	609'1mm

Variables según la talla (XL)

Longitud del tubo del sillín	495'3mm
Longitud tubo superior	635mm
Distancia entre ejes	1223'9mm
Longitud pipa	120mm
Reach	460'7mm
Stack	618'1mm

Scott Genius LT 700



Tamaño de rueda

27.5'

Recorrido

160/160

Materiales del cuadro

Aluminio

Carbono

P.V.P

A partir de 2.899€

Tabla de geometrías

	S	S	M	M	L	L
	LOW BB Setting	HIGH BB Setting	LOW BB Setting	HIGH BB Setting	LOW BB Setting	HIGH BB Setting
A HEAD TUBE ANGLE	65.8 °	66.3 °	65.8 °	66.3 °	65.8 °	66.3 °
B HEAD TUBE LENGTH	100.0 MM	100.0 MM	110.0 MM	110.0 MM	120.0 MM	120.0 MM
C TOP TUBE HORIZONTAL	570.0 MM	570.0 MM	600.0 MM	600.0 MM	625.0 MM	625.0 MM
D STANDOVER HEIGHT	815.0 MM	818.0 MM	820.0 MM	823.0 MM	832.0 MM	835.0 MM
E BB OFFSET	-20.0 MM	-20.0 MM	-20.0 MM	-20.0 MM	-20.0 MM	-20.0 MM
F BB HEIGHT	345.0 MM	345.0 MM	345.0 MM	345.0 MM	345.0 MM	345.0 MM
G WHEEL BASE	1,161.0 MM	1,160.0 MM	1,192.0 MM	1,191.0 MM	1,219.0 MM	1,218.0 MM
H BB CENTER TO TOP TUBE CENTER	335.0 MM	335.0 MM	335.0 MM	335.0 MM	350.0 MM	350.0 MM
I BB CENTER TO TOP OF SEATTUBE	415.0 MM	415.0 MM	440.0 MM	440.0 MM	475.0 MM	475.0 MM
J SEAT ANGLE	74.0 °	74.5 °	74.0 °	74.5 °	74.0 °	74.5 °
K CHAINSTAY	448.0 MM	448.0 MM	448.0 MM	448.0 MM	448.0 MM	448.0 MM
L REACH	390.0 MM	394.0 MM	417.0 MM	421.0 MM	439.0 MM	443.0 MM
M STACK	608.0 MM	605.0 MM	618.0 MM	615.0 MM	627.0 MM	624.0 MM
N STEM LENGTH	40.0 MM	40.0 MM	50.0 MM	50.0 MM	60.0 MM	60.0 MM

Invariables

Ángulo del tubo del sillín	74'5°
Ángulo de dirección	65'8°
Longitud de vainas	448mm
Altura de caja de pedalier	345mm

Variables según la talla (S)

Longitud del tubo del sillín	415mm
Longitud tubo superior	570mm
Distancia entre ejes	1160mm
Longitud pipa	100mm
Reach	394mm
Stack	605mm

Variables según la talla (M)

Longitud del tubo del sillín	440mm
Longitud tubo superior	600mm
Distancia entre ejes	1191mm
Longitud pipa	110mm
Reach	421mm
Stack	615mm

Variables según la talla (L)

Longitud del tubo del sillín	475mm
Longitud tubo superior	625mm
Distancia entre ejes	1218mm
Longitud pipa	120mm
Reach	443mm
Stack	624mm

Specialized Enduro



Tamaño de rueda
27.5'

Recorrido
170/165

Materiales del cuadro
Aluminio
Carbono

P.V.P
A partir de 3.200€

Tabla de geometrías

	S	M	L	XL
STACK	585mm	590mm	604mm	613mm
REACH	410mm	430mm	450mm	470mm
LONGITUD DE PIPA	95mm	100mm	115mm	125mm
ÁNGULO DE PIPA	65.5°	65.5°	65.5°	65.5°
B-B HEIGHT (650X2.3)	345mm	345mm	345mm	345mm
B-B HEIGHT (650X2.6)	350mm	350mm	350mm	350mm
CAÍDA DE PEDALIER	10.5mm	10.5mm	10.5mm	10.5mm
AVANCE HORQUILLA	106mm	106mm	106mm	106mm
LONGITUD DE HORQUILLA (TOTAL)	559mm	559mm	559mm	559mm
AVANCE/RETROCESO HORQUILLA	51mm	51mm	51mm	51mm
DELANTE-CENTRO	728mm	750mm	776mm	801mm
LONGITUD DE VAINA	425mm	425mm	425mm	425mm
DISTANCIA ENTRE EJES	1153mm	1175mm	1201mm	1225mm
LONGITUD TUBO SUPERIOR, (HORIZONTAL)	551mm	576mm	604mm	632mm
ALTURA TUBO SUPERIOR BICI	781mm	771mm	782mm	796mm
LONGITUD TUBO SILLÍN	396mm	430mm	467mm	521mm
ÁNGULO TUBO SILLÍN	76.5°	76°	76°	75°

Invariables

Ángulo del tubo del sillín	76'5°
Ángulo de dirección	65'5°
Longitud de vainas	425mm
Altura de caja de pedalier	345 mm

Variables según la talla (S)

Longitud del tubo del sillín	396mm
Longitud tubo superior	551mm
Distancia entre ejes	1153mm
Longitud pipa	95mm
Reach	410mm
Stack	585mm

Variables según la talla (M)

Longitud del tubo del sillín	430mm
Longitud tubo superior	576mm
Distancia entre ejes	1175mm
Longitud pipa	100mm
Reach	430mm
Stack	590mm

Variables según la talla (L)

Longitud del tubo del sillín	467mm
Longitud tubo superior	604mm
Distancia entre ejes	1201mm
Longitud pipa	115mm
Reach	450mm
Stack	604mm

Variables según la talla (XL)

Longitud del tubo del sillín	521mm
Longitud tubo superior	632mm
Distancia entre ejes	1225mm
Longitud pipa	125mm
Reach	470mm
Stack	613mm

Trek Remedy



Tamaño de rueda

27.5'

Recorrido

150/150

Materiales del cuadro

Aluminio

Carbono

P.V.P

A partir de 2.500€

Tabla de geometrías

Todas las medidas se proporcionan

Número de talla del cuadro	15.5 in	17.5 in	18.5 in	19.5 in	21.5 in
Talla real del cuadro	15.5 in	16.5 in	17.5 in	18.5 in	20.5 in
Posición de geometría	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
Dimensiones de la rueda	27,5"	27,5"	27,5"	27,5"	27,5"
A Tubo del sillín	39.4	41.9	44.5	47.0	52.1
B Ángulo del tubo del sillín	68.2°	68.1°	68.1°	68.1°	68.1°
Ángulo efectivo del tubo del sillín	74.6°	74.5°	74.5°	74.5°	74.5°
C Longitud del tubo de dirección	10.0	10.0	10.5	11.0	12.5
D Ángulo de la dirección	66.6°	66.5°	66.5°	66.5°	66.5°
E Tubo superior efectivo	54.7	57.7	59.6	61.1	64.1
F Altura del eje de pedalier	34.3	34.3	34.3	34.3	34.3
G Altura del eje de pedalier	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
H Longitud de la vaina	43.3	43.3	43.3	43.3	43.3
I Retroceso	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3
J Trail	9.8	9.9	9.9	9.9	9.9
K Distancia entre ejes	113.1	116.1	118.0	119.6	122.6
L Standover	75.8	75.2	75.0	74.6	75.2
M Alcance del cuadro	40.3	43.3	44.9	46.3	48.7
N Altura del cuadro	58.4	58.4	58.8	59.3	60.7
Altura total del cuadro	60.4	60.3	60.3	60.3	61.2

Invariables

Ángulo del tubo del sillín	74'2°
Ángulo de dirección	68'1°
Longitud de vainas	433mm
Altura de caja de pedalier	343mm

Variables según la talla (XS)

Longitud del tubo del sillín	394mm
Longitud tubo superior	547mm
Distancia entre ejes	1131mm
Longitud pipa	100mm
Reach	403mm
Stack	584mm

Variables según la talla (S)

Longitud del tubo del sillín	419mm
Longitud tubo superior	577mm
Distancia entre ejes	1161mm
Longitud pipa	10mm
Reach	433mm
Stack	584mm

Variables según la talla (M)

Longitud del tubo del sillín	445mm
Longitud tubo superior	596mm
Distancia entre ejes	1180mm
Longitud pipa	105mm
Reach	415mm
Stack	588mm

Variables según la talla (L)

Longitud del tubo del sillín	470mm
Longitud tubo superior	611mm
Distancia entre ejes	1196mm
Longitud pipa	110mm
Reach	463mm
Stack	593mm

Variables según la talla (XL)

Longitud del tubo del sillín	521mm
Longitud tubo superior	641mm
Distancia entre ejes	1226mm
Longitud pipa	125mm
Reach	487mm
Stack	612mm

Yeti SB6



Tamaño de rueda

27.5'

Recorrido

160/152

Materiales del cuadro

Carbono

P.V.P

A partir de 4.800€

Tabla de geometrías

#	180MM FORK	XS	SM	MD	LG	XL
A	SEAT TUBE LENGTH	381	419	445	483	521
B	TOPTUBE LENGTH	554	580	606	632	658
C	HEADTUBE ANGLE °	65.5	65.5	65.5	65.5	65.5
D	EFF. SEAT TUBE ANGLE °	73.5	73.4	73.3	73.2	73.2
E	CHAINSTAY LENGTH	442	442	442	442	442
F	WHEELBASE	1134	1161	1188	1215	1243
G	ESTIMATED BB HEIGHT	345	345	345	345	345
H	STANDOVER	754	757	759	759	759
I	HEADTUBE LENGTH	94	110	121	138	160
J	AXLE TO CROWN	549	549	549	549	549
K	OFFSET	44	44	44	44	44
L	STACK	575	590	600	615	635
M	REACH	384	404	426	447	466
N	FRONT CENTER	692	719	746	773	801

Invariables

Ángulo del tubo del sillín	73°5'
Ángulo de dirección	65°5'
Longitud de vainas	442mm
Altura de caja de pedalier	345mm

Variables según la talla (XS)

Longitud del tubo del sillín	381mm
Longitud tubo superior	554mm
Distancia entre ejes	1134mm
Longitud pipa	94mm
Reach	384mm
Stack	575mm

Variables según la talla (S)

Longitud del tubo del sillín	419mm
Longitud tubo superior	580mm
Distancia entre ejes	1161mm
Longitud pipa	110mm
Reach	404mm
Stack	590mm

Variables según la talla (M)

Longitud del tubo del sillín	445mm
Longitud tubo superior	606mm
Distancia entre ejes	1188mm
Longitud pipa	121mm
Reach	426mm
Stack	600mm

Variables según la talla (L)

Longitud del tubo del sillín	483mm
Longitud tubo superior	632mm
Distancia entre ejes	1215mm
Longitud pipa	138mm
Reach	447mm
Stack	615mm

Variables según la talla (XL)

Longitud del tubo del sillín	521mm
Longitud tubo superior	658mm
Distancia entre ejes	1243mm
Longitud pipa	160mm
Reach	466mm
Stack	635mm

YT Capra

**Tamaño de rueda**

27.5'

Recorrido

170/165

Materiales del cuadro

Aluminio

Carbono

P.V.P

A partir de 2.200€

Tabla de geometrías

Sizes	S	M	L	XL
A Tootube length	557 mm	582 mm	608 mm	626 mm
B Reach	398 mm	420 mm	443 mm	458 mm
C Stack	588 mm	597 mm	606 mm	615 mm
D Seattube length	400 mm	450 mm	480 mm	510 mm
E Chainstay length	430 mm	430 mm	430 mm	430 mm
F Headtube angle	65 °	65 °	65 °	65 °
G Seattube angle (eff.)	74,8 °	74,8 °	74,8 °	74,8 °
H BB Drop	4 mm	4 mm	4 mm	4 mm
I Wheelbase	1149 mm	1176 mm	1203 mm	1220 mm
J Headtube length	100 mm	110 mm	120 mm	130 mm

Invariables

Ángulo del tubo del sillín	74'8°
Ángulo de dirección	65°
Longitud de vainas	430mm
Altura de caja de pedalier	342mm

Variables según la talla (S)

Longitud del tubo del sillín	398mm
Longitud tubo superior	557mm
Distancia entre ejes	1149mm
Longitud pipa	100mm
Reach	398mm
Stack	588mm

Variables según la talla (M)

Longitud del tubo del sillín	450mm
Longitud tubo superior	582mm
Distancia entre ejes	1176mm
Longitud pipa	110mm
Reach	420mm
Stack	582mm

Variables según la talla (L)

Longitud del tubo del sillín	480mm
Longitud tubo superior	609mm
Distancia entre ejes	1203mm
Longitud pipa	120mm
Reach	443mm
Stack	608mm

Variables según la talla (XL)

Longitud del tubo del sillín	510mm
Longitud tubo superior	626mm
Distancia entre ejes	1220mm
Longitud pipa	130mm
Reach	458mm
Stack	626mm

Fase 2

Diseño del cuadro

- Linkages existentes
 - Pivote virtual
 - Monopivote
 - Monopivote articulado
 - Horst Link
 - Amortiguador flotante
 - Active Braking Point
- Diseño de los conceptos

Linkages existentes

En este apartado de los anexos se estudiarán los distintos sistemas de suspensiones que hay en el mercado, así como las marcas más destacables para cada sector. Se han enumerado los linkages existentes que representan la mayoría de sistemas usados en la actualidad ya que hay sistemas que son únicos y exclusivos de una marca determinada.

Pivote virtual

Este sistema se caracteriza por tener un efecto mínimo en la pedalada y la frenada combinado con una buena sensibilidad de suspensión.

Esto se consigue gracias a una estructura triangular rígida (compuesta por las vainas y los tirantes) que se conecta al triángulo delantero a través de dos bieletas. No hay un pivote fijo en el cuadro sino que el basculante cambia en función de la compresión del amortiguador. La idea principal del sistema consiste en equilibrar el movimiento de la suspensión al pedalear con un movimiento de misma fuerza e intensidad pero de sentido contrario (inspirado en la tercera ley de Newton). De modo que en una bajada en la que no se pedalea, el amortiguador se ablanda, mientras que en una subida endurece para una mayor comodidad de pedaleo.



Esquema del funcionamiento del pivote virtual.

La mayor desventaja de este sistema es que requiere una serie de rodamientos y bieletas, que requieren un mayor mantenimiento para evitar que salgan holguras. Además este sistema puede llegar a hacer que aparezca el fenómeno llamado pedal kickback, que consiste en una rotación en sentido inverso al pedaleo durante la compresión del amortiguador.

La marca Santacruz en el año 2009, revolucionó el mercado con el sistema patentado VPP (Virtual Pivot Point), el primer sistema de punto pivotante virtual. Poco tiempo después, tras ser comprobada la eficacia del sistema, otras marcas comenzaron a desarrollar sus propios sistemas de pivote virtual, como por ejemplo el sistema Maestro de Giant o el Dw-Link de Pivot, entre otros.



Cuadro de Santacruz Nomad como diagrama de compresión.

Monopivote

Es el sistema más simple que existe. El basculante pivota alrededor de una única articulación conectada directamente al amortiguador y este al cuadro, conforme se va agotando el recorrido del amortiguador más blanda se vuelve la suspensión.

El sistema al ser tan sencillo, requiere pocos juegos de rodamientos, otorgándole una ligereza destacable. El pivote se encuentra en la parte inferior de la bicicleta, cercana al eje de pedalier para tener un comportamiento equilibrado, siendo muy sensible a las imperfecciones del terreno.



Esquema del funcionamiento del monopivote.

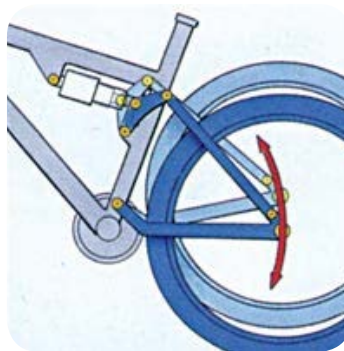


Orange Alpine 160.

Pero este sistema presenta un inconveniente a la hora de pedalear, ya que se producen fuertes tirones de la cadena durante el pedaleo y también a la hora de frenar, el recorrido se ve afectado perdiendo un porcentaje del mismo.

Monopivote articulado

Es un desarrollo funcional del monopivote, ya que incorpora una bieleta que une los tirantes traseros con el amortiguador de manera que puede variarse la progresividad a lo largo del recorrido. El sistema sigue girando sobre un único pivote. Con este sistema se consigue un pedaleo neutral que se debe gracias a la progresividad proporcionada por las bieletas.



Esquema del funcionamiento del monopivote articulado.

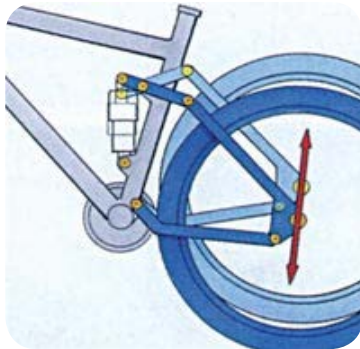
Los inconvenientes son los mismos que con el monopivote, tirones en la cadena y pérdida del recorrido con la frenada.



Scott Genius LT700.

Horst Link

El basculante tiene varias articulaciones. La clave del sistema es el pivote ubicado en la vaina, por delante de la puntera, denominado Horst Link. Éste “rompe” la vaina y por tanto ya no existe un brazo rígido entre el pivote principal y eje de la rueda trasera, otorgando movilidad e independencia a la rueda trasera.



Esquema del funcionamiento del monopivote articulado.



Specialized Enduro

Tiene un comportamiento muy progresivo, endureciendo la suspensión a medida que se comprime. Uno de sus grandes inconvenientes es que se producen una mayor fricción y holguras al haber más articulaciones, cosa que requiere un mayor mantenimiento.

Amortiguador flotante

El amortiguador no se fija al cuadro por ningún extremo, este bascula entre dos bieletas, independizando la suspensión del triángulo principal, a diferencia de los sistemas tradicionales donde el amortiguador va anclado al triángulo delantero y a un basculante. Con este nuevo sistema la energía que puede absorber el ciclista es mucho menor que en un sistema convencional, ya que en este caso el amortiguador recibe esa energía por los dos extremos, minimizando el impacto para el cuerpo.



Esquema del funcionamiento del pivote virtual.

Entre las principales ventajas destacan su gran sensibilidad, la independencia del “leverage ratio” (relación entre el recorrido de la rueda trasera y la compresión del amortiguador, del que hablaremos en el capítulo siguiente).

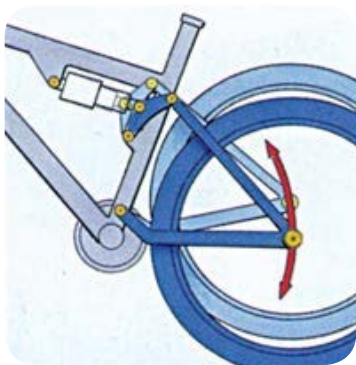
Como principal desventaja, al tener una gran cantidad de puntos de giro, el conjunto puede llegar a pesar más y también requerirá un mayor mantenimiento.



Mondraker Dune.

Active Braking Point

La articulación trasera se sitúa concéntrica al eje de la rueda trasera. Se trata por tanto de un tipo de monopivote articulado dado que no hay articulación entre el eje de la rueda trasera al pivote principal. Un pivote concéntrico que combina con muchos diseños de suspensión.



Esquema del funcionamiento del Active Braking Point.



Trek Remedy.

La ventaja de este sistema es que la interacción de la pedalada y la frenada apenas afecta a la suspensión trasera, evitando perder el control en determinadas situaciones.

Diseño de los conceptos

Para el diseño del cuadro, partía de los puntos que quería diseñar dos piezas independientes: el triángulo delantero y el trasero.

Primero hay que hacer una aclaración con lo que son los triángulos delanteros y traseros. Todas las bicicletas de doble suspensión constan de un triángulo delantero, que puede ser considerado como la estructura principal del cuadro, independientemente del material en el que esté fabricado.

Sin embargo no todas las bicicletas constan de un triángulo trasero como pieza independiente. Ya que algunas marcas no han dispuesto su geometría con esta pieza, la parte posterior que une el sistema de suspensión con el triángulo principal, se realiza mediante uniones con rodamientos para permitir el giro. Estas piezas son las vainas y las punteras superiores.



Triángulo trasero (Santacruz Nomad)

Según la filosofía de la empresa, pueden construirse cuadros de combinación de materiales, el aluminio y el carbono, para realizar diferentes componentes. Es frecuente encontrar marcas cuyos triángulos delanteros están fabricados en carbono y constan de un triángulo trasero hecho en aluminio y también hay casos de triángulo delantero de aluminio y partes del basculante trasero en carbono. Giant es un ejemplo de empresa que usa combinación de carbono para el triángulo delantero y aluminio para el trasero. Obviamente hay empresas que fabrican todos los componentes en un mismo material.



En la imagen izquierda puede observarse el ejemplo de la Giant Reign Advanced, cuyo triángulo delantero está fabricado en carbono, distinguiéndose por la falta de soldaduras y ser tener transiciones suaves entre las distintas partes. Por el contrario el triángulo trasero está fabricado en aluminio, viéndose la soldadura de la vaina superior con la puntera de unión del basculante del amortiguador.

Cómo se podía ver en la fotografía el basculante en carbono, de una Santacruz Nomad, es una única pieza, no tiene soldaduras ni más puntos de unión para mantener estructuralmente la pieza.



Linkage YT Capra

Sin embargo el basculante en carbono de la YT Capra, está formado por dos piezas, la vaina inferior, que está fabricada en aluminio y soldada al extremo encontramos una soldadura del punto de rotación del conjunto del basculante. En este caso concreto la vaina superior está fabricada en carbono para aligerar el conjunto pero normalmente en los cuadros de aluminio encontramos el mismo sistema que con las vainas, tubos de aluminio que llevan soldados en los extremos las partes donde irán situados los rodamientos y las bieletas en caso de tenerlas.

En los primeros bocetos realizados encontramos el segundo sistema de triángulo trasero, dos piezas unidas mediante un punto de giro, permitiendo así la basculación del eje trasero de la rueda, pero dado que la idea primera era hacer triángulo trasero como pieza sólida, en los bocetos finales se ve reflejado que es una única pieza.

Respecto al triángulo delantero la principal característica desde el punto de vista estético quería que fuese la asimetría, de manera que permitiera innovar respecto a los sistemas tradicionales de simetría. En las partes futuras del trabajo de modelado y estudio de tanto de tensiones como desplazamientos gracias a SW, observaremos el comportamiento de las partes asimétricas del triángulo delantero. El modelo de la asimetría es una idea que en los brazos de suspensión de las motos de alta gama lleva unos años y funciona muy bien.

También se buscaba un centro bajo de gravedad para darle mayor estabilidad a altas velocidades, por lo que el amortiguador tendría que ir en una posición cercana al eje de pedalier. Además para una mayor comodidad de ajustes del sistema de suspensión en combinación con el amortiguador, en el cuadro se dispondrían tres posiciones en las que anclar el ojo superior del amortiguador, precomprimiendo así el amortiguador en función del uso que tuviera que hacerse del recorrido.

En las siguientes páginas se describirán los distintos bocetos argumentándolos de forma lógica, explicando como sería el comportamiento teórico de estos. En los modelos se ha intentado mantener la asimetría en la zona del amortiguador ya que es una zona a la que hay que tener acceso para cambiar las configuraciones del amortiguador para variar su funcionamiento o simplemente para hacer una limpieza.

Se desarrollaron tres conceptos, los cuales se explicarán en las páginas siguientes y se elegirá uno en función del comportamiento teórico en combinación con el atractivo visual. La elección justificada también dependerá de la sencillez de desarrollo ya que para máquinas o vehículos que están sometidos a muchos impactos y fuerzas un sistema complicado deriva en mayores problemas de mantenimiento así como de limpieza y montaje, por lo que la complejidad del diseño será un factor a tener en cuenta. Por consiguiente los factores más relevantes con los que se van a diseñar los conceptos son:

- Asimetría
- Sencillez del sistema
- Bajo centro de gravedad
- Accesibilidad al amortiguador
- Mantenimiento
- Comportamiento manejable y rápido en curva
- Estabilidad a alta velocidad
- Seguridad percibida por el usuario

Fase 3

Análisis funcional de la geometría

- Conceptos básicos
 - Medidas según la geometría
 - Leverage Ratio
 - Agotamiento del recorrido del amortiguador antes que el del cuadro
- Bloques de SolidWorks
- Evolución funcional y formal
 - Concepto 3_1
 - Concepto 3_2
 - Concepto 3_3

Conceptos básicos

En los anexos de la fase tercera, se va a describir los distintos conceptos que permiten comprender y limitar el estudio de la geometría del cuadro, para tener un comportamiento adecuado y seguro. Los distintos términos se explicarán con gráficas para tener una mayor comprensión de los sistemas. También se explicará el sistema usado para el estudio de la geometría y por último se estudiarán los distintos conceptos que se crearon hasta llegar al definitivo.

• **Medidas según la geometría:** es la base de la que se debe partir, ya que así se acota el diseño del cuadro. Cómo habíamos explicado en la Fase 1, el diseño de este cuadro está especificado como una talla XL, ya que es la medida que según el mercado usaría personalmente.

Geometría invariable a la talla

• A	Ángulo del tubo del sillín	74°
• B	Ángulo de dirección	65°
• C	Longitud de vainas	430mm
• D	Altura de caja de pedalier	345mm

Variables según la talla (XL)

• E	Longitud del tubo del sillín	510mm
• F	Longitud tubo superior	630mm
• G	Caída de eje de pedalier	5mm
• H	Distancia entre ejes	1240mm
• I	Longitud pipa	130mm
• J	Reach	505mm
• K	Stack	610mm

• **Leverage ratio:** se define como la relación entre el recorrido del cuadro y el recorrido del amortiguador.

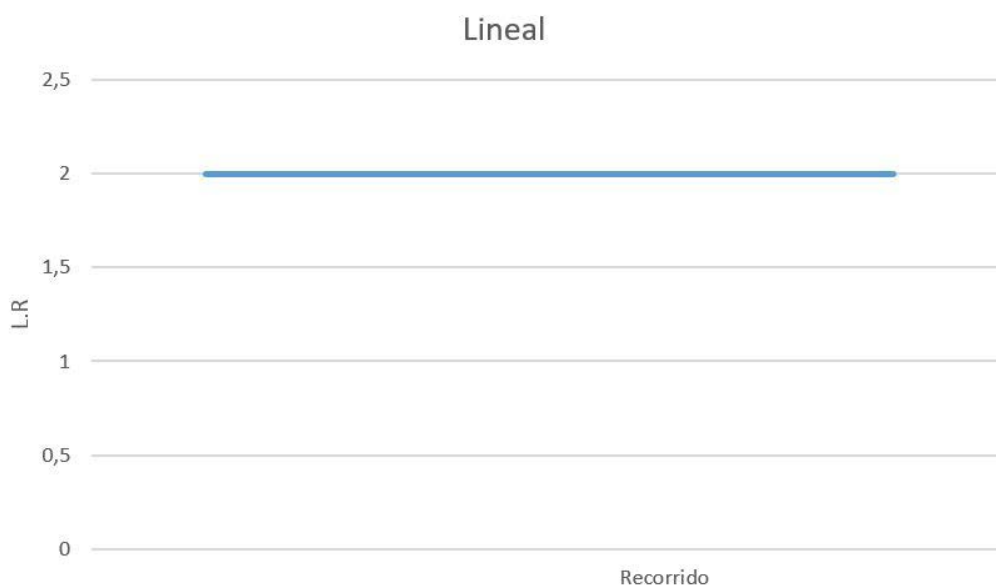
Por ejemplo, la YT Capra 2017 consta de 165mm de recorrido de cuadro y de 63 de amortiguador, lo que nos da un resultado de:

$$\text{Leverage ratio} = \frac{\text{Recorrido del cuadro}}{\text{Recorrido del amortiguador}}$$

En sí, la idea es sencilla de entender pero hay que especificar el tipo de comportamiento que tiene el sistema. Puede ser lineal o variable, y dentro de variable puede ser regresivo o progresivo.

$$L.R (YT Capra 2017) = \frac{165}{63} = 2.619$$

El sistema lineal consiste en que mantiene invariable el L.R de manera que el esfuerzo para comprimir la suspensión será siempre el mismo.



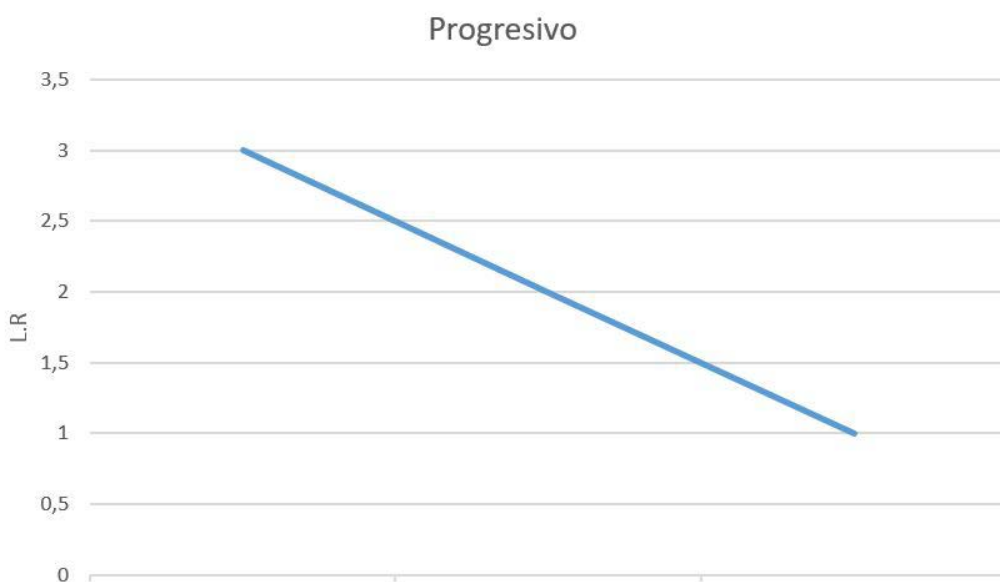
Gráfica de L.R lineal, con un valor constante de 2.

Sin embargo, en los casos que encontramos variabilidad el L.R va cambiando conforme el recorrido del cuadro va aumentando. En el primer caso, el regresivo, el L.R va menos a más, es decir ascendente. Esto significa que el esfuerzo que hay que hacer al principio del es mucho mayor que el que hay que hacer al final. Dicho de otro modo, es dura al principio y blanda al final del recorrido del amortiguador. No es un modelo muy adecuado ya que en el tramo final es cuando se tiene que evitar llegar al tope.



Gráfica de L.R regresivo, con valor variable de 1 a 3.

Sin embargo, los modelos progresivos tienen el efecto contrario, es fácil comprimirlos en los primeros centímetros del recorrido y conforme se va aumentando, se va endureciendo la suspensión. De esta manera, la suspensión es muy sensible en los pequeños baches ya que con poco movimiento el amortiguador actúa, pero para grandes impactos es más duro, permitiendo una mayor resistencia del amortiguador. Tomemos como ejemplo el cuadro de la YT Capra mencionada anteriormente, está diseñada con el sistema progresivo. Significa que en la primera parte si la rueda puede subir 30mm en la suspensión trasera podemos encontrar una compresión de 10mm, lo que supondría un L.R de 3, mientras que en los mm finales del recorrido de amortiguador encontramos una proporción de 12mm aproximadamente, que redondeando sale un L.R de 1.



Gráfica de L.R progresivo, descendente de 3 a 1.

Podemos clasificar el sistema según la diferencia del L.R al comienzo del recorrido y el L.R al final.

Tipo	Regresivo	Lineal	Progresivo	Superprogresivo
Diferencia	< -0.5	-0.5 a +0.5	+0.5 a +1	>+1

• **Agotamiento del recorrido del amortiguador antes que el del cuadro:** esta restricción impide que el cuadro sufra daños severos, manteniendo seguro al rider. La descripción más acertada es la siguiente: en un caso extremo de compresión máxima, por ejemplo un salto grande y largo o un drop en el que las suspensiones llegan al tope, que la rueda trasera no toque el cuadro sino que se agote antes el recorrido del amortiguador haciendo tope natural, evitando un grave accidente. Además también es más barato reemplazar un amortiguador roto que comprar un cuadro nuevo por un mal diseño en los casos extremos. Por eso a la hora de hacer la geometría con bloques se ha de tener en cuenta la rueda con la cubierta incluida.

Bloques de SolidWorks

Para llevar a cabo esta fase, la herramienta usada será SolidWorks, mediante su apartado de Bloques, con el que se crearán las distintas partes del cuadro, ya que el método de los bloques permite:

- Crear croquis de diseño mediante un mínimo de cotas y relaciones.
- Congelar un subconjunto de entidades de un croquis para manipular una sola entidad.
- Gestionar croquis complejos.
- Editar todas las instancias de un bloque simultáneamente.
- Visualización y diseño de dispositivos mecánicos.

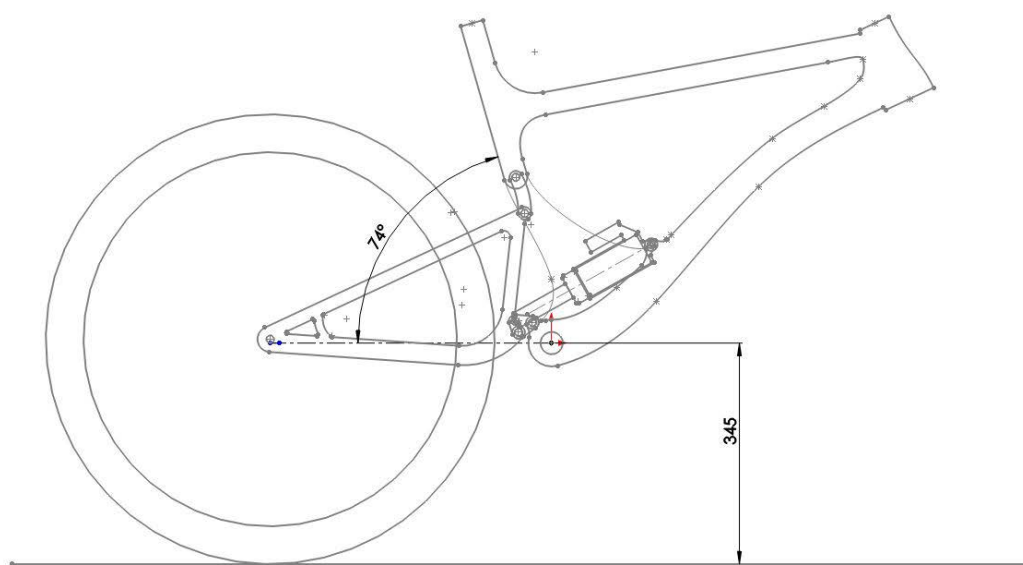
De este modo se podrá comprobar el funcionamiento del cuadro, ya que permite mover los elementos, restringiéndolos con las cotas máximas y mínimas del modelo, y dejando fijos ciertos elementos para una mayor comprensión del movimiento y comportamiento del Leverage Ratio de los distintos conceptos.

Evolución funcional y formal

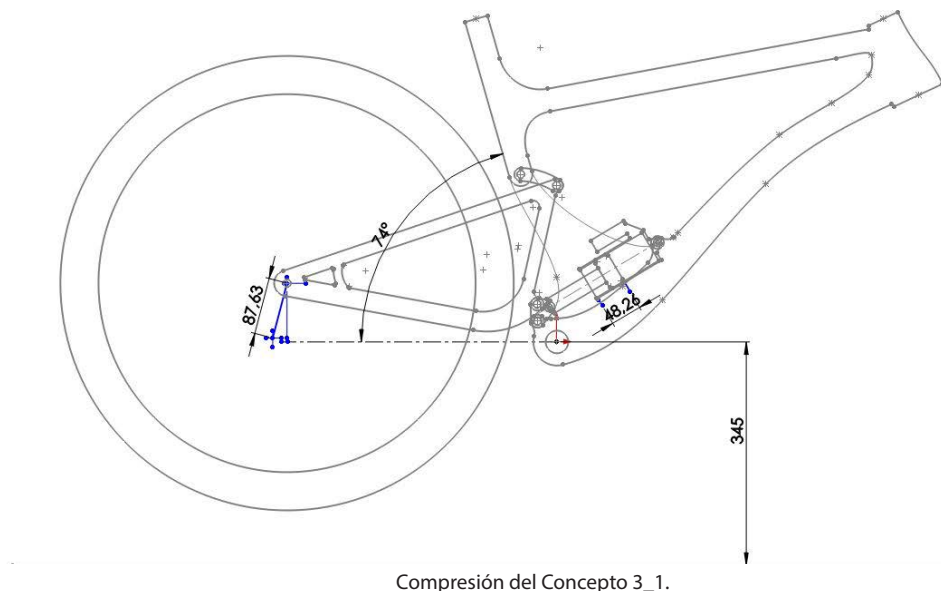
Concepto 3_1

Ya que los otros conceptos fueron descartados por falta de interés tanto formal como funcional, se decidió como previamente habíamos comentado, desarrollar el tercer concepto dado que era el más interesante.

La primera versión del concepto a estudiar en bloques, es el que tiene el basculante superior en la parte baja de la tija del sillín. Lo primero que se hizo fue dibujar los diferentes bocetos de las partes individuales, configurándolos como bloques individuales y juntándolos posteriormente.



Una vez creados y ensamblados los bloques del primer concepto, se procedió a la restricción de los mismos. Esto se hizo mediante el ángulo del sillín a 74° respecto del suelo, que este fue fijado a 345mm desde el centro del eje de pedalier.



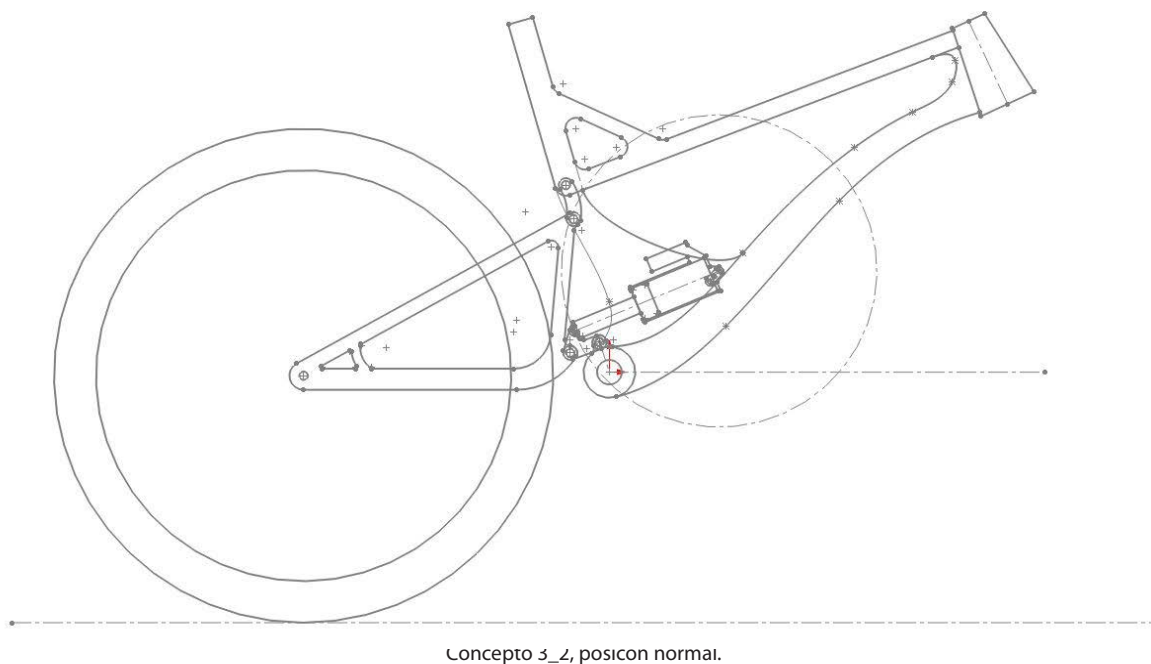
En esta primera conceptualización podemos ver el funcionamiento del sistema y encontramos:

$$\text{Leverage Ratio (Concepto 3_1)} = \frac{87.63}{48.26} = 1.81$$

Esto quiere decir que el sistema es muy progresivo y dado que es una característica que buscamos el proceso siguiente es refinar el diseño del cuadro hasta que concuerde con las características de la modalidad indicada. Esto se debe a que la compresión del amortiguador debe ser de 63mm, por definición del fabricante, para este caso concreto un *Rock Shox Monarch +*, según se ha comprobado en modelos de otras marcas.

Concepto 3_2

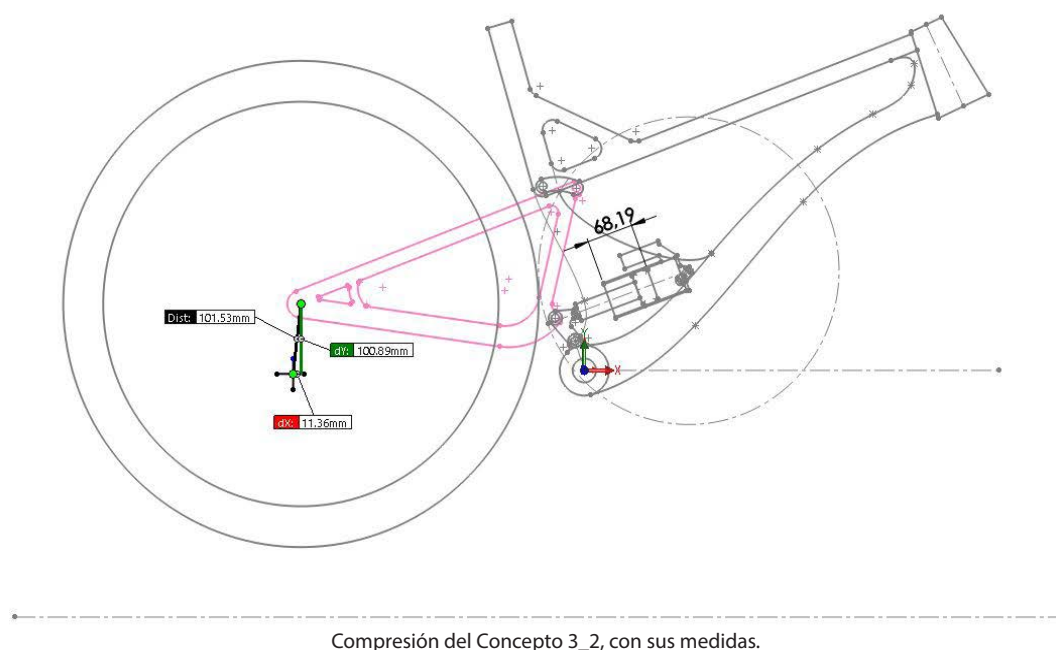
El segundo modelo del tercer concepto, podemos observar que es diferente al primero, en cuanto a la configuración del T.D. En el nuevo triángulo vemos que el ángulo (slope) es mucho más bajo que en el primer caso. Esto se debe a que en el boceto al no tener las referencias de los otros cuadros se hizo así y posteriormente en una reunión con el tutor se dijo de bajarlo más hasta ser similar al resto de diseños existentes en el mercado.



También vemos que entre los dos T.D, los ojos superiores del amortiguador tampoco encajan quedando la parte inferior del amortiguador al descubierto. En los siguientes desarrollos de bloques se arreglará, refinando el sistema, así como el recorrido del cuadro.

En este modelado bidimensional también observamos que el pivote virtual, ha cambiado su forma, para adoptar una más compacta y que ocupe menos, y como se puede percibir en la figura inferior el funcionamiento es bueno pero nos da una compresión de amortiguador de 68.19mm lo que no encaja con el amortiguador elegido. Se ha de destacar que en la posición de compresión, la bieleta superior limita el movimiento del T.T, lo que provoca un impacto entre el T.D, la bieleta superior y el T.T. El objetivo del estudio de la geometría por bloques es ver como se comportaría el sistema en las situaciones más desfavorables pero en un caso, en el que tres componentes del cuadro chocan entre sí, no puede ser plausible.

Respecto a los recorridos del cuadro, verticalmente se desplaza 100mm y en el horizontal 11mm, lo que en módulo da el valor de 101,53mm, que para la categoría en la que se quiere desarrollar el trabajo, se queda muy por debajo del valor medio.



A pesar de todo el ratio del segundo concepto es de 1.48, mucho menor que el anterior, pero en este caso se debe a que el recorrido del amortiguador es mayor que el estándar y el recorrido del cuadro mucho menor que los modelos del mercado.

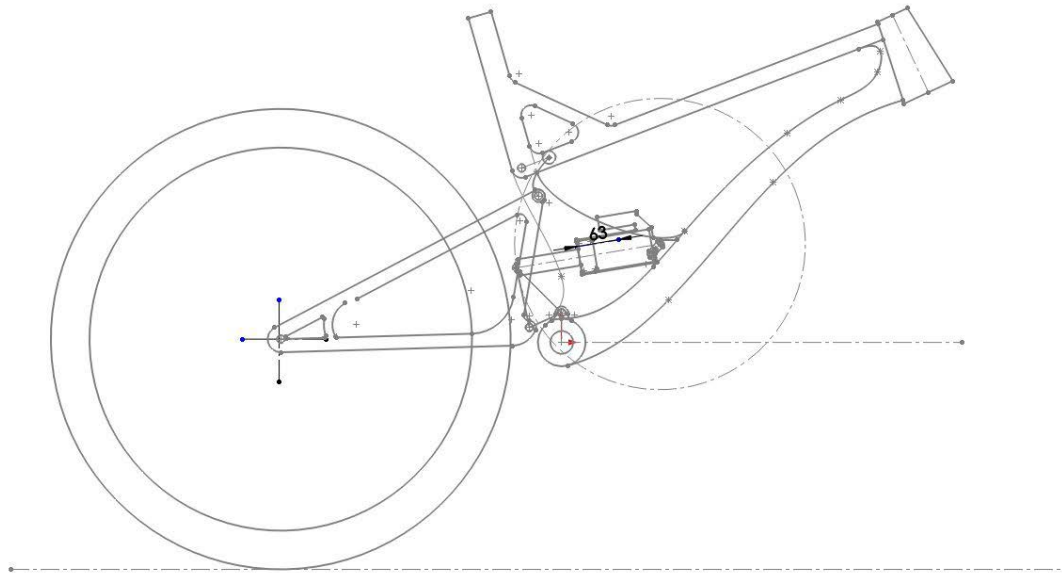
$$\text{Leverage Ratio (Concepto 3_2)} = \frac{101.53}{68.19} = 1.48$$

Concepto 3_3

Ya que con los conceptos anteriores no se conseguía un L.R adecuado, de modo que se decidió cambiar el anclaje y la forma de la bieleta superior.

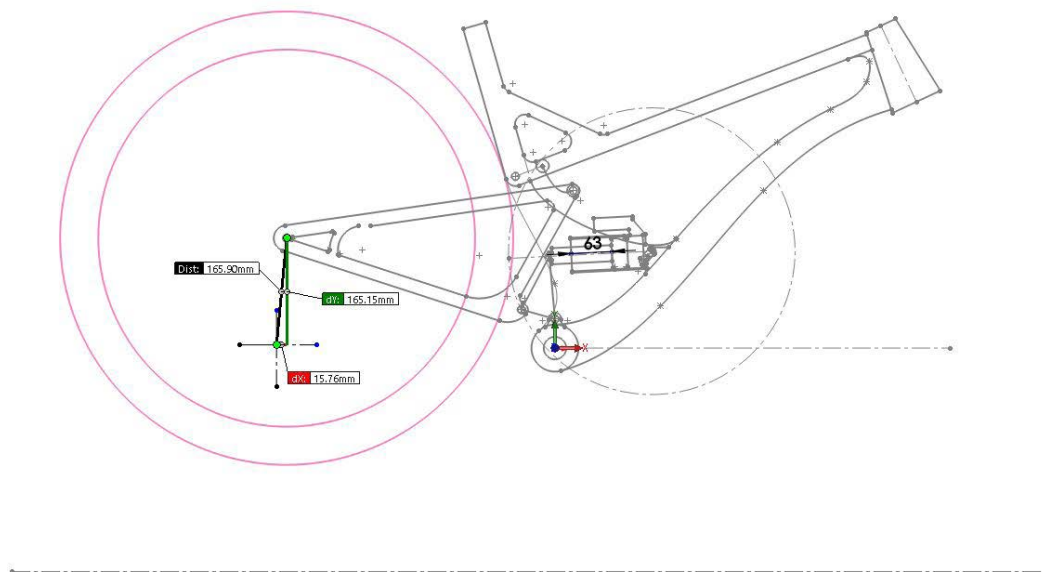
La nueva posición del anclaje es más centrado que en los casos anteriores, ahora no está situado en la tija del sillín teniendo así un mayor recorrido del T.T, que junto a una nueva forma de la bieleta superior, hace que sea más sencillo la compresión del amortiguador.

El tamaño del pivote virtual es mayor que en los otros casos para tener una mayor facilidad de compresión, y que junto a la nueva posición y tamaño de la bieleta superior modifican el comportamiento del cuadro. A continuación se puede comprobar el modelo 3_3 en su posición de extensión.



Concepto 3_3, posición normal.

En el tercer diseño, el ratio entre recorrido de la rueda trasera con el del amortiguador es óptimo. Con un recorrido final de rueda de 165mm, que es una medida que se encuentra en la modalidad de enduro y analizando la situación crítica, se observa que la rueda roza el cuadro como límite del agotamiento del amortiguador antes que el del cuadro.



Concepto 3_2, posición de compresión.

En cuanto al L.R, haciendo el cociente entre recorridos, se obtiene un valor de 2.63 progresivo, lo que significaca que este concepto ya sería apto dado que técnicamente funciona y cumple con los requisitos deseados. Pero no obstante, se reparó en que la geometría estudiada durante estos casos, no es la adecuada. El error se encuentra en la parte delantera del cuadro, en la pipa de dirección, que normalmente está situada más alta del fin de la tija, error que no afecta al funcionamiento como se ha demostrado en el concepto final.

$$Leverage Ratio (Concepto 3_3) = \frac{165.9}{63} = 2.63$$

Respecto al diseño, se sigue manteniendo el triángulo superior a modo de unión entre el tubo superior y la tija, aspecto que será cambiado en el modelo final, debido a que así el modelo final será más ligero.

Fase 4

Materiales, procesos de fabricación y diseño CAD

- Fibra de carbono
 - Métodos de fabricación/unión
 - Monocasco
 - Racores y tubos
 - Racores y monocasco
 - Tubos con fibra
- Desarrollo del modelado en CAD
 - Triángulo delantero
 - Pipa de dirección
 - Tubo inferior
 - Sujección amortiguador
 - Sujección del guía cadenas
 - Eje de pedalier
 - Unión curvada tija-eje de pedalier
 - Tija
 - Tubo superior
 - Unión tubo inferior-superior
 - Triángulo trasero
 - Puntera superior
 - Vaina curvada de unión entre punteras superior e inferior
 - Vaina de unión entre punteras superior e inferior
 - Punteras inferiores
 - Vaina inferior
 - Puntera trasera derecha
 - Puntera trasera izquierda
 - Vaina de unión entre punteras traseras y superiores
 - Pivote virtual
 - Bieleta superior

Fibra de carbono

Métodos de fabricación/unión

En el sector de la fabricación de cuadros o componentes de carbono hay distintas formas de diseñar las piezas dependiendo del método de unión o creación del cuadro o los componentes. A continuación se listan los distintos métodos que hay en el mercado.

• Monocasco

Es utilizado para crear grandes piezas de poca complejidad formal, ofreciendo una gran rigidez, disminuyendo los puntos de fatiga. El modo de crear estas partes se consigue gracias a unos moldes en los que se introduce una gran cantidad de carbono para prevenir una mayor uniformidad en el interior del cuadro. Los moldes del sistema monocasco suelen suponer una inversión económica importante ya que tienen que ser diseñados de acuerdo a las especificaciones del cliente con unas tolerancias muy específicas.



Triángulo delantero monocasco de una Mondraker Summun Carbon

• Racores y tubos

Consiste en usar apéndices de unión, llamados racores, en las zonas más proclives a sufrir fatigas y que siendo acoplados con los tubos de carbono se consigue un solapamiento, en donde la unión consigue una mayor resistencia y por consecuencia, peso. Trek es una empresa especializada en este método de fabricación.



Triángulo delantero separado de una Trek Session 9.9.

• Racores y monocasco

Este método como indica el nombre, consiste en combinar la rigidez del monocasco, con la resistencia a fatiga de los refuerzos de los racores de carbono. Con este sistema se obtienen una rigidez máxima junto con unos pesos mínimos. La desventaja de este método es el uso de dos moldes distintos separando entre los racores y el triángulo principal, sumando dos procesos industriales de elevado coste. Giant es un ejemplo de marca que utiliza este sistema para sus cuadros de carbono.



Triángulo delantero de una Giant Glory Advanced.

• Tubos con fibra

Los fabricantes más destacables en el sector del enduro que usan este método son Scott y Lapierre. El método consiste en realizar los elementos estructurales del cuadro, como los tubos, cajas, dirección, tirantes, etc y prensar el cuadro para distribuir la resina por las celdas del tejido, siendo el resultado final similar al del monocasco. Para que las fibras queden comprimidas se usa unas vejigas internas que permiten comprimir el carbono contra el molde exterior y posteriormente deshinchándose para poder ser extraídas. Este método es el más costoso pero tiene la gran ventaja de optimizar el peso del cuadro.

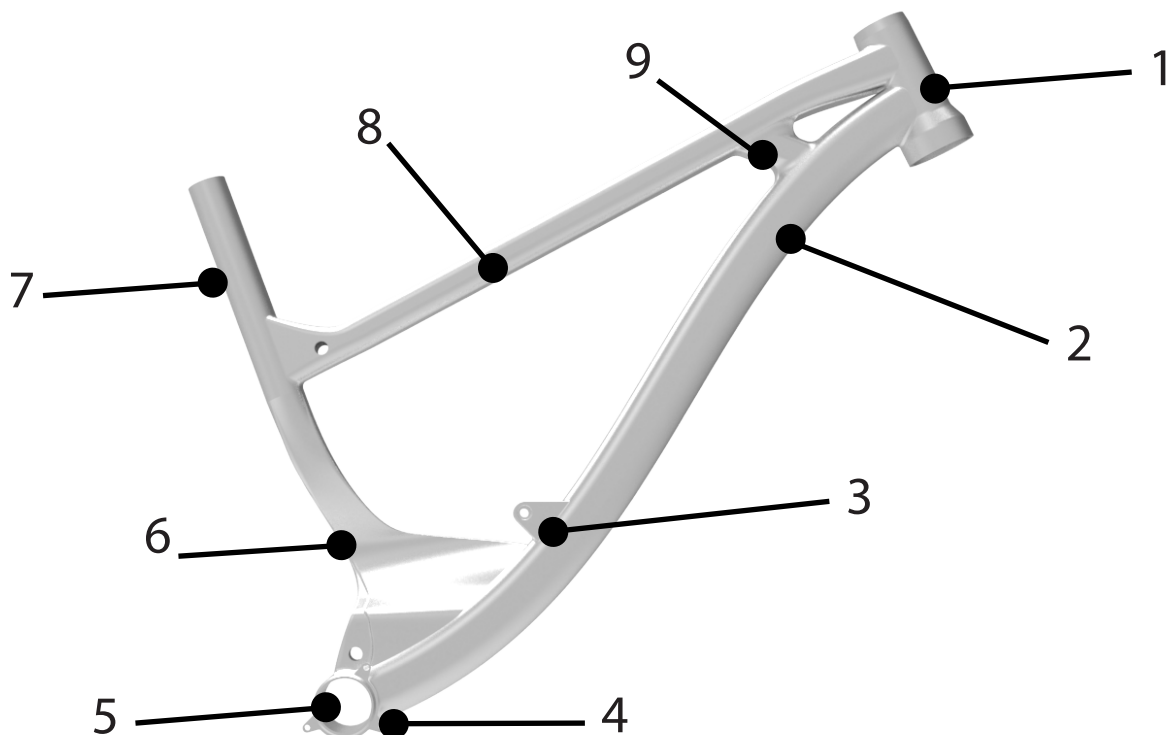


Cuadro completo de una Scott LT 700.

Desarrollo del modelado en CAD

• Triángulo delantero

El triángulo delantero es la parte principal del cuadro, está compuesto de 8 piezas, fabricadas en aluminio 6061. Se distinguen nueve partes, unidas mediante soldadura de 5mm en las juntas de tubos.



Vista lateral del triángulo delantero.

1 **Pipa de dirección:** 3 mm de grosor, configuración tapered 1-1/8'.

2 **Tubo inferior:** 3mm de grosor de pared, perfil cuadrado con redondeo en las esquinas.

3 **Sujección amortiguador:** dos perfiles de 8mm de espesor, uno roscado para atornillar el eje pasante del ojo del amortiguador.

4 **Sujección del guía-cadenas:** 10mm anchura, 3 tornillos M5

5 **Eje de pedalier:** 68mm longitud, disposición press-fit.

6 **Unión curvada tija-eje pedalier:** hidroformado, 3 mm de grosor, sección variable.

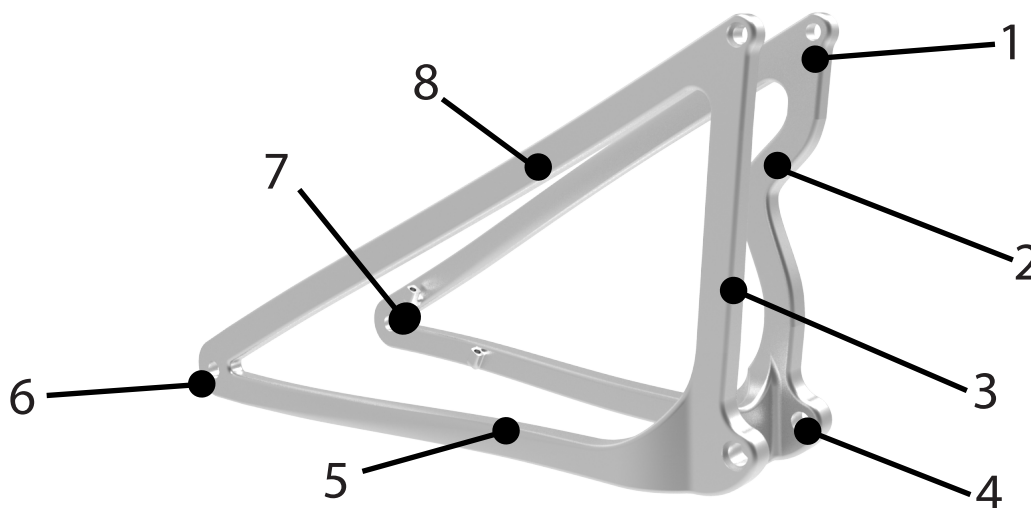
7 **Tija:** Ø35mm, 3mm de grosor de pared.

8 **Tubo superior:** sección variable, 3mm de grosor, manufacturado para permitir el eje pasante del basculante superior.

9 **Unión tubo inferior-superior:** disipador de tensiones, perfil cuadrado con bordes redondeados, 2mm de espesor de pared.

• Triángulo trasero

Formado por 11 piezas, es el ensamblaje al que se une la rueda trasera y a su vez conectándose al triángulo delantero por las bieletas.



Vista de los componentes del triángulo trasero.

1 **Puntera superior** (x2): unión con la bieleta superior, roscado para una unión firme, 3mm de espesor.

2 **Vaina curvada de unión entre punteras superior e inferior:** 3mm de espesor, perfil rectangular con redondeo de 3mm, pieza asimétrica.

3 **Vaina de unión entre punteras superior e inferior:** 3mm de espesor, perfil rectangular con redondeo de 3mm.

4 **Punteras inferiores:** unión con el pivote virtual, 3mm de espesor, salientes para rodamientos, 10mm de espacio entre la parte interior y el neumático.

5 **Vaina inferior:** 3mm de espesor, sección rectangular con las esquinas redondeadas, sigue una spline para ampliar la anchura las vainas.

6 **Puntera trasera derecha:** con extrusión interior para poder anclar la patilla donde se atornilla el desviador trasero, el taladro tiene rosca para atornillar el eje pasante de 142x12.

7 **Puntera trasera izquierda:** rosca de profundidad 8mm para encajar la cabeza del eje pasante.

8 **Vaina de unión entre punteras traseras y superiores(x2):** 3mm de espesor, perfil rectangular con redondeo 3mm en las esquinas.



En la imagen superior, puede observarse la asimetría del perfil izquierdo del triángulo trasero. Esto se debe a que en posición de compresión, si la unión entre las punteras fuese recta como la del lado derecho, chocaría contra la parte curva distintiva del modelo. Actualmente existen modelos que constan de asimetría en el triángulo trasero, en el que desaparece la unión de la puntera superior con la inferior de anclaje al cuadro. Esta forma está presente en modelos como la Propain Rage Carbon (arriba) o la nueva Santacruz Nomad 2018 (abajo). Ambas estructuras están fabricadas en carbono, debido a sus mejores propiedades mecánicas que el aluminio como se había explicado con anterioridad. Ambos modelos constan con la asimetría en el lado derecho.



• Pivote virtual

El material elegido para esta pieza es la fibra de carbono, pero en el modelado no se ha asignado aún para una mejor comprensión en el modelo. Se puede observar los 3 taladros, los dos inferiores con espacio para los rodamientos y el superior para anclar el ojo del bástago del amortiguador.

Se puede observar el refuerzo en la parte inferior ya que serán a través de esos taladros mediante los que se unirán el triángulo delantero con el trasero. Por el contrario en otras zonas se ha eliminado material para aligerar la pieza y hacer que el conjunto pese menos.



Vista isométrica del pivote virtual.



Vista lateral y frontal del pivote virtual.

• Bieleta superior

Es la pieza, fabricada en carbono que une el triángulo trasero con el tubo superior del cuadro, fabricada en carbono reduce el grado de libertad del triángulo trasero. Los taladros permiten alojar a los rodamientos que permiten el giro, cuando es empujado para absorber un impacto.

Se puede observar la forma de H para optimizar el peso de la pieza y además tener función de tope en caso de recorrido extremo. Desde una perspectiva lateral se observa que tiene una forma redondeada, lo que permite facilitar el giro, además visualmente es más atractivo que uno que sea recto. Además puede interpretarse como que la curvatura, dice hacia que lado debe montarse en caso de ser desmontado para reparaciones o chequeos.



Perspectiva isométrica de la bieleta superior.



Vista frontal de la bieleta superior.

Fase 5

Estudio y análisis del triángulo delantero

- Modo de trabajo de SolidWorks Simulation
 - Modelado
 - Selección del material
 - Conexión entre las piezas
 - Condiciones de apoyo
 - Cargas
 - Mallado
 - Correr el caso
 - Resultados

Modo de trabajo de SolidWorks Simulation

SolidWorks Simulation es una herramienta de validación de diseño incorporada en SolidWorks que permite simular el comportamiento de piezas y ensamblajes mediante la aplicación del método de elementos finitos (MEF). Su uso permite estudiar un comportamiento específico, elegido por el usuario, de una pieza o ensamblaje en unas condiciones determinadas sin llegar a desarrollar un prototipo del producto para su testeo.

Los pasos que han de seguirse para obtener los resultados de un análisis son:

1. Modelado

El primer paso para llevar a acabo un estudio por elementos finitos, consiste en la creación del modelo, sea pieza o ensamblaje. Habrá que tener en cuenta ciertos aspectos del diseño de la pieza ya que pueden llegar a surgir problemas de mallado, si por ejemplo hay dos superficies que no están conectadas o no existe una transición suave entre dos piezas, entre otros.

Una vez diseñado el modelo, hay que definir el tipo de simulación que desea estudiarse. Se selecciona la tipología del estudio, listando los análisis de la versión estudiantil hay:

- 1.- Análisis estático.
- 2.- Térmico.
- 3.- Estudio de frecuencia.
- 4.- Pandeo.
- 5.- Caída.
- 6.- Fatiga.
- 7.- Diseño de recipiente a presión.
- 8.- Estudio de diseño.
- 9.- Submodelado.
- 10.- No lineal.
- 11.- Dinámica lineal.

Para los ensayos realizados para la norma UNE-EN 14766, los análisis más usados fueron los análisis estático, caída y de fatiga.

2. Selección del material

Asignar el material de la pieza o piezas, es el segundo paso. SolidWorks dispone de una base de datos con la definición de las propiedades más importantes de un gran número de materiales, desde metales hasta composites. En función del material seleccionado, los resultados del análisis varían y en función del tipo de análisis deseado habrá que conocer unas determinadas propiedades.

3. Conexiones entre las piezas

Configura la condición de contacto predeterminada para todas las áreas que comparten los componentes seleccionados, entre sí o con otros componentes para indicar la forma en la que se produce la interacción entre los contornos de cada una de ellas. Las piezas pueden estar en contacto directamente mediante caras o componentes, o indirectamente gracias a pernos, resortes, pasadores,....

Los dos valores que pueden configurarse para el tipo de contactos son:

- Sin penetración: las caras en contacto pueden separarse al aplicar las cargas pero no pueden penetrar una en otra.
- Unión rígida: simulan durante el estudio la soldadura entre componentes.

4. Condiciones de apoyo

Permite restringir el movimiento de la pieza o ensamblaje, utilizando como geometría de referencia un plano, eje, arista o cara, evitando el desplazamiento o giro del modelo. Por medio de esta opción, se pueden prescribir restricciones sobre vértices, aristas, caras y ejes, estando totalmente definidas buscando la mejor simulación de las condiciones reales en las que se encontraría.

Las sujeciones se dividen según la tipología:

- Estándar:

- Geometría fija
 - Rodillo/Control deslizante.
 - Bisagra fija.
- Avanzadas
- Simetría circular.
 - Utilizar geometría de referencia.
 - Sobre caras planas.
 - Sobre caras cilíndricas.
 - Sobre caras esféricas.

5. Cargas

Permiten distintas configuraciones en función de la tipología del resultado que se quiere obtener, se distinguen entre:

- **Presión:** pudiéndose elegir como valor constante o variable, pudiéndose aplicar en la dirección normal a la cara o en una dirección específica.
- **Fuerza:** distinguiendo entre fuerzas, momentos o torsiones, las áreas de aplicación son puntos de referencia, líneas, caras, planos, ejes,....Se puede seleccionar la dirección de aplicación de la fuerza, normal, paralela, con cierto ángulo, así como la magnitud y las unidades.
- **Gravedad:** la aplicación de la aceleración lineal de la gravedad en el eje y dirección deseado para una mejor adaptación al estudio.
- **Centrífuga:** aplicación de una velocidad o aceleración angular sobre una pieza o ensamblaje.
- **Cargas y restricciones remotas:** aplicación de una fuerza o condición de apoyo a una distancia establecida por el usuario para simplificar el modelo.
- **Cargas en rodamientos:** aplicación de las fuerzas sobre las caras cilíndricas o aristas de un rodamiento.

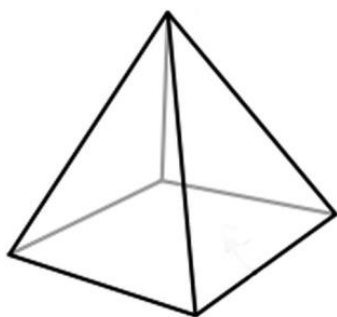
6. Mallado

El mallado la operación cuyo objetivo es dividir el modelo en porciones más pequeñas llamadas elementos que se unen unos con otros mediante nodos. De este modo, el MEF (Método por Elementos Finitos) resuelve ecuaciones sobre cada uno de los nodos del modelo mallado y extiende la solución de forma aproximada y mediante interpolación, al resto de puntos.

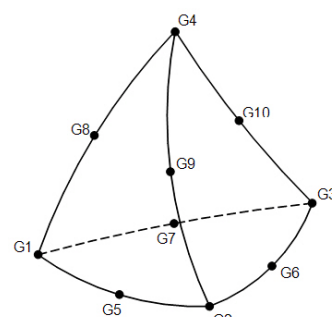
El tamaño medio de la malla, la distancia entre nodos y puntos, depende de las dimensiones y forma geométrica del modelo, pudiendo ser elegido por el usuario o automáticamente por el estudio.

Los elementos de mallado generados durante el proceso pueden ser de tres tipos:

- **Sólidos 3D:** son tetraedros, y a la vez se distinguen entre lineales y parabólicos, que define si la línea que une los nodos es recta o tiene curvatura. Se aplican para modelos de gran tamaño.

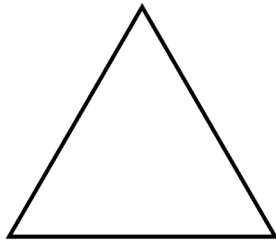


Tetraedro lineal.

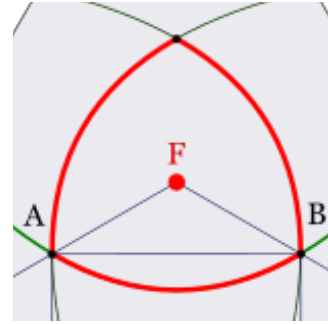


Tetraedro parabólico.

- **Sólidos 2D:** la forma más destacada para las dos dimensiones son los triángulos equiláteros, tanto lineales como parabólicos. Son usados para elementos de espesores reducidos.



Triángulo equilátero lineal.



Triángulo equilátero parabólico.

- **Sólidos 1D:** se emplean para miembros estructurales, son líneas, la versión más simple del modelo.

Una vez conocidos como se clasifican los elementos del mallado, se han de estudiar las distintas características que definen al mallado.

- **Densidad de malla:** existen dos tipos de densidades, aunque es un valor que es ajustable.
 - Gruesa: suele ser aplicada durante las primeras etapas del diseño para hacer comprobaciones generales del modelo. El tiempo del cálculo es rápido.
 - Fina: se usa para obtener unos resultados más precisos, la mayor desventaja que presenta es el tiempo de cálculo, ya que al ser un estudio muy detallado tiene que hacer muchos cálculos lo que se traduce en un gran tiempo de trabajo.
- **Parámetros de mallado**
 - Malla estándar: aplicable para la mayoría de casos permite fijar el tamaño medio de elementos y la tolerancia de los mismos. Permite la opción de *Transición automática* que permite tener un control de malla más detallado y preciso en operaciones críticas como pueden ser las curvas de las operaciones de redondeo y taladros.
 - Malla basada en curvatura: conveniente para los modelos que tienen pequeños radios de curvatura. Permite una mayor libertad de ajustes de los parámetros del mallado, como el número mínimo de elementos en un círculo o el cociente de crecimiento del tamaño del elemento.
- **Control de malla:** es una opción que permite definir una densidad de malla distinta en la zona deseada, como vértices, aristas, caras y componentes, para así tener más información del modelo dependiendo de su geometría.

Definidos todos los apartados y ajustes que intervienen en el proceso de mallado, el programa tiene que realizar los distintos cálculos y esto lo lleva a cabo, gracias a los métodos de cálculo, capaces de realizar varias iteraciones hasta conseguir los resultados finales con un nivel de error predeterminado. Son dos los métodos adaptativos que usa SolidWorks.

Para comprender los métodos adaptativos primero hay que definir las iteraciones que es la operación clave que realiza SolidWorks. Consiste en calcular un bucle en el que se resuelven las tensiones, calculando la media de la tensión en todos los nodos y se compone con las tensiones calculadas en cada nodo.

- **Método H:** la malla inicial se subdivide en elementos más pequeños en las zonas donde existe un mayor riesgo de error como cambios de sección, zonas de mayor deformación, etc. Realiza la media del valor de las tensiones en todos los nodos de la malla y los compara con el valor de tensión en un nodo. En caso de error, si el porcentaje es superior al definido, el mallado debe ser refinado para evitar el error.

Es el método que suele ser usado.

- **Método P:** es un método iterativo en el que no se crean elementos adicionales sino que aumenta el orden polinomial de las caras de ciertos elementos en función del error existente. Para este método hay que indicar al programa en qué base se calcula el error, el error máximo permitido, el orden polinomial máximo y mínimo y el número de iteraciones a realizar.

7. Correr el caso

Una vez definidos todos los parámetros y condiciones del estudio se procede a ejecutar el caso en el que se realizan todas las interacciones sobre los nodos con los métodos descritos anteriormente. Previamente de la ejecución del caso, la pieza o ensamblaje ha de ser mallado para que así pueda realizar correctamente las operaciones.

8. Resultados

Solidworks muestra una vez resuelto el problema, los resultados a través de trazados, como representaciones gráficas de los resultados obtenidos en cada uno de los puntos de cálculos. El programa dispone de unos resultados por defecto, ya que suelen ser los más utilizados. Estos resultados son:

- Tensiones: representa el valor de distintas componentes de tensiones sobre el modelo.
- Desplazamientos: muestra los valores de los desplazamientos desde el mínimo hasta el máximo.
- Deformaciones unitarias: es la proporción de cambio en longitud con respecto a la longitud original.

Estos resultados pueden ser ajustados según el criterio deseado, pudiendo cambiar tanto unidades de medida, escala de la forma en que deforma, escala de la leyenda para poder visualizar unos valores determinados, visualizar la malla sobre los resultados, etc.

Además SolidWorks permite crear nuevos trazados para un mayor detalle de los resultados que pueden llegar a obtenerse, como es el caso del factor de seguridad, un resultado indispensable para todos los productos sometidos a ciertas fuerzas.

Fase 6

Prototipado

- Motivos del prototipado
- Impresora usada
- Software utilizado
 - AutoDesk NetFabb
 - Ultimaker Cura 2.5.0

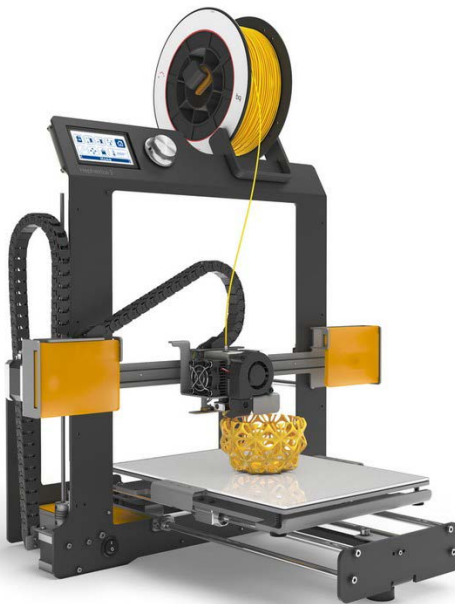
Motivos del prototipado

Una vez realizados los distintos ensayos para comprobar que el cuadro resistía los ensayos de la norma, se comprobó que no había que cambiar la forma del triángulo delantero. De este modo, se pensó que un prototipado a escala real para ver la forma final del concepto, ya que es una nueva forma que adapta la bicicleta según su función, ya que como se sabe en el mundo la bicicleta la función determina una serie de parámetros (geometría) pero no define su forma final.

Debido a que hay muchas maneras de mostrar las formas y tamaños de un concepto, se eligió trabajar con el método de impresión 3D mediante hilo caliente gracias, a que es un sistema económico de conseguir el prototipo con las mismas medidas diseñadas en el modelado por ordenador. Es un método relativamente barato, si se compara con los otros tipos de impresión 3D, de polvo o líquido, ya que la bobina de PLA puede conseguirse en tiendas a un precio bajo.

Impresora usada

El hardware empleado para la impresión del modelo es la BQ Ephestos 2, proporcionada por la Escuela de Ingeniería y Arquitectura de Zaragoza. Una impresora de hilo caliente que mediante datos GCode es capaz de representar los modelos creados de una manera fiable y rápida.



BQ Ephestos II.

Software utilizado

Para el proceso de impresión, el modelo tiene que ser preparado para adaptarlo al fichero legible por la impresora, así como separar el triángulo delantero en distintas partes ya que hay pocas impresoras que fuesen capaces de imprimir a escala 1:1 un producto de tales dimensiones. Posteriormente con otro programa se prepara la posición de las distintas partes para optimizar el proceso de impresión costando el mínimo tiempo posible junto con la menor cantidad de PLA usada.

- **AutoDesk NetFabb:** el primer programa usado para despiezar el cuadro en distintas partes de un tamaño adecuado para que quepa en la superficie de impresión de la impresora, cuya dimensión es de un DIN-A4. Para ello se exportará la pieza que se desea imprimir a en formato STL a la escala real para dividir el triángulo delantero en diez partes independientes para posteriormente unir las y conseguir el prototipo a escala real y poder comprobar así sus formas y detalles.

• **Ultimaker Cura 2.5.0:** una vez dividido el triángulo delantero en las distintas partes y guardadas en archivos STL, se procede a usar el programa que permite definir todos los parámetros relativos a la impresora 3D. Con estos ajustes permite cambiar la forma de imprimir las piezas, afectando al tiempo de impresión, calidad, soportes, etc. Dado que en el proyecto hay piezas de una dimensión reducida, debido a la división de algunos componentes se pueden llegar a imprimir en la misma sesión de impresión, reduciendo el tiempo total de impresión. Es el caso de las tres partes del tubo superior e inferior.

BQ Hephestos 2

Material: **PLA 2.0**

Perfil: **Normal Quality - 0.2mm**

Configuración de im... Recomendado Personalizado

Calidad

Altura de capa: 0.2 mm

Perímetro

Grosor de la pared: 1 mm

Grosor superior/inferior: 1.2 mm

Relleno

Densidad de relleno: 20 %

Material

Temperatura de impresión: 210 °C

Diámetro: 1.75 mm

Flujo: 100 %

Habilitar la retracción: ☒

Velocidad

Velocidad de impresión: 75 mm/s

Velocidad de desplazamiento: 120 mm/s

Refrigeración

Activar refrigeración de impresión: ☒

Soporte

Habilitar el soporte: ☒

Colocación del soporte: En todos sitios

Adherencia de la placa de impresión

Tipo adherencia de...placa de impresión: Balsa

Cámara de aire de la balsa: 0.3 mm

Superposición de las capas iniciales en Z: 0.15 mm

Capas superiores de la balsa: 2

Extrusión doble

Modos especiales

En la imagen en el margen inferior derecho de la página se observa el perfil de la pipa de dirección, como resultado de los parámetros iniciales, con resultados negativos. En la parte inferior derecha de la pieza, es perceptible la acumulación de material, sin una manera clara, esto se debió a que la base tan pequeña, produjo que se convase ante el peso de la pieza provocando la mala impresión de la pieza.

Los parámetros de la impresora (BQ Epehestos 2), definen el material, en el caso del prototipado del proyecto PLA de 1.75mm de diámetro. Para la calidad se recomendó usar la altura de capa de 2 mm para una mayor calidad.

La velocidad de impresión también afectan a la forma en el resultado final de la impresión ya que a menor velocidad, mayor calidad.

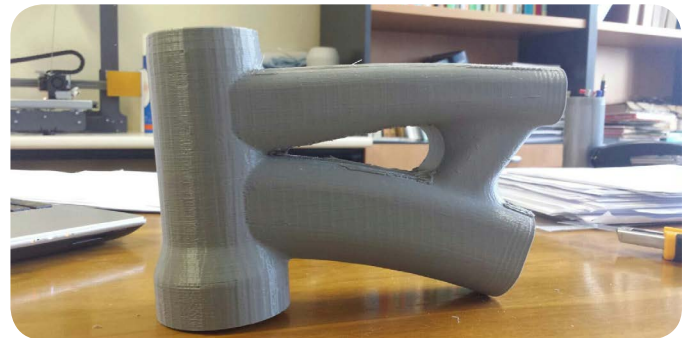
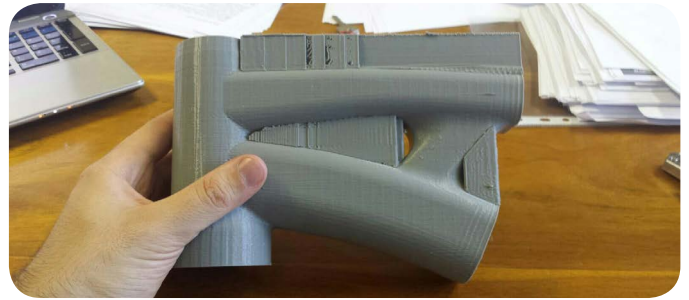
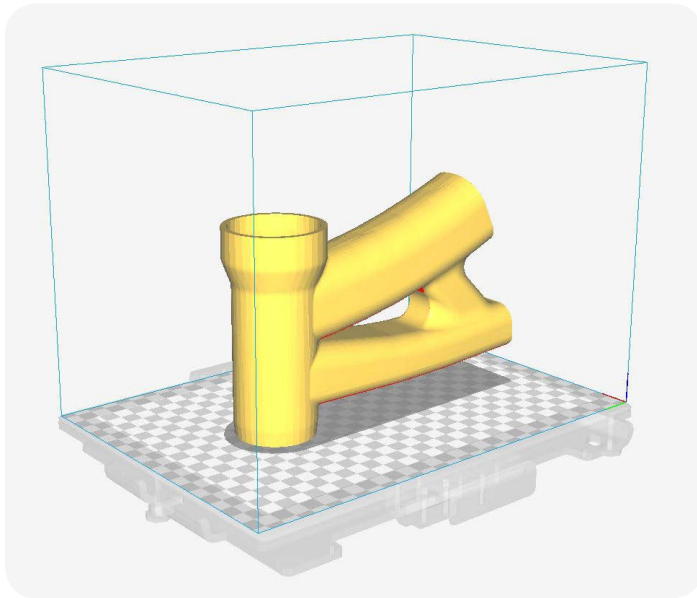
Tras una primera impresión para ver el comportamiento de la impresora, se vió que la balsa por defecto del programa no era lo suficientemente pesada ni estable para mantener en su sitio la pieza a imprimir y en cierto momento, empujaba la pieza y el material no se depositaba en su sitio, sino que desperdiciaba material.

Ya que se vió que el problema era la balsa, se cambiaron las propiedades del mismo, dejando una capa inicial sobre la que asentar la pieza de 1mm aproximadamente. Otro problema que se detectó fue que la velocidad de impresión, al ser demasiado lenta, provocaba que se secase muy rápidamente y a veces se produjeran solidificaciones de material en forma de imperfecciones en la base o zonas de la pieza que no interesaba tener, de modo que se aumentó la velocidad de desplazamiento de 100 a 120mm/s, y se redujo la de impresión desde 100 a 75mm/s para tener una mayor calidad superficial. Gracias a estos cambios, las piezas se imprimieron correctamente.

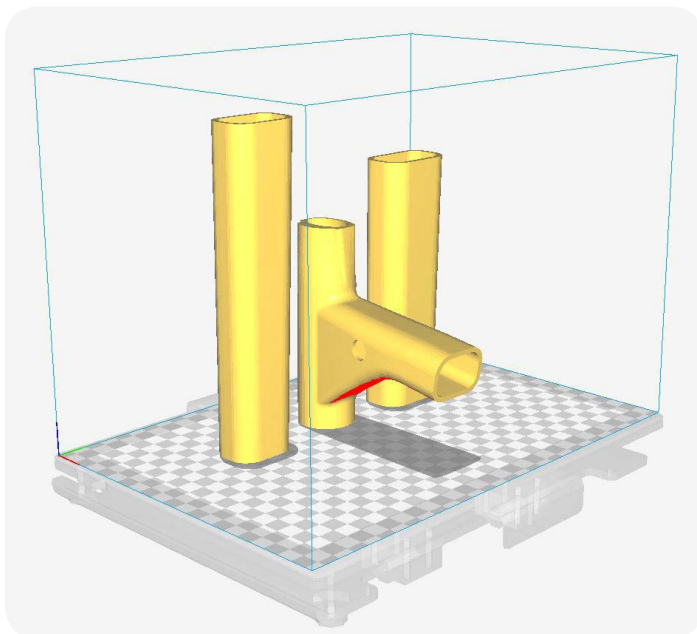
A continuación se describen las distintas sesiones de impresión que se realizaron, siendo en algunas piezas individuales y en otras, varias piezas para un menor coste de tiempo.



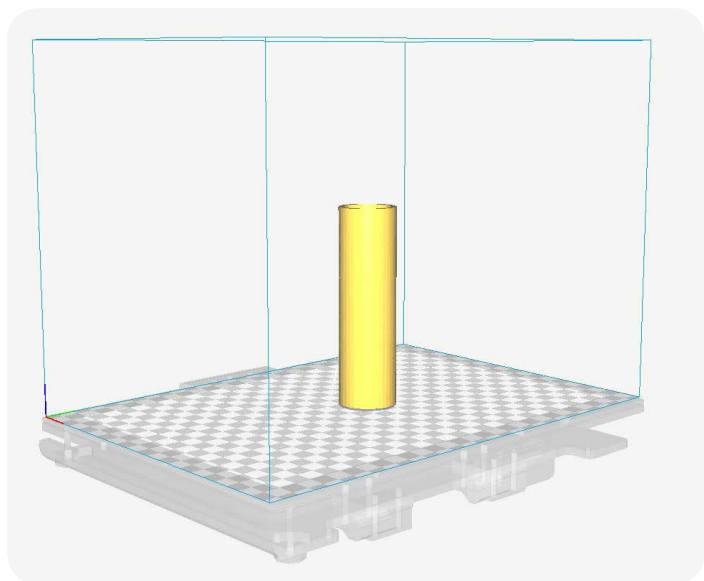
1.- **Pipa de dirección:** fue la primera pieza en ser impresa, con los valores descritos anteriormente, con un tiempo de impresión de 24h17'. La posición de impresión se impuso la postura que menos tiempo costase, apoyado sobre la cara superior de la pipa de dirección, formando los soportes solamente en el tubo superior. Como puede verse en la primera fotografía.



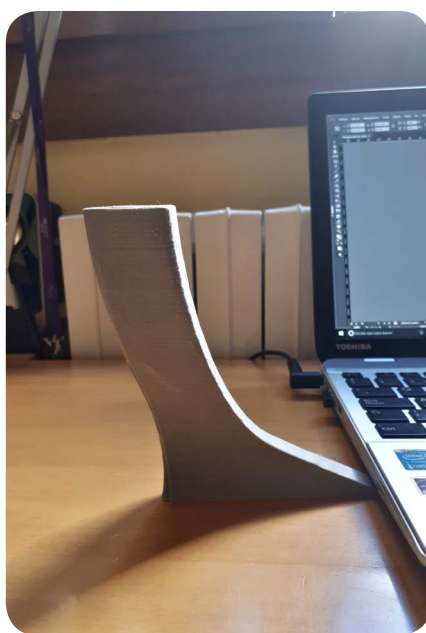
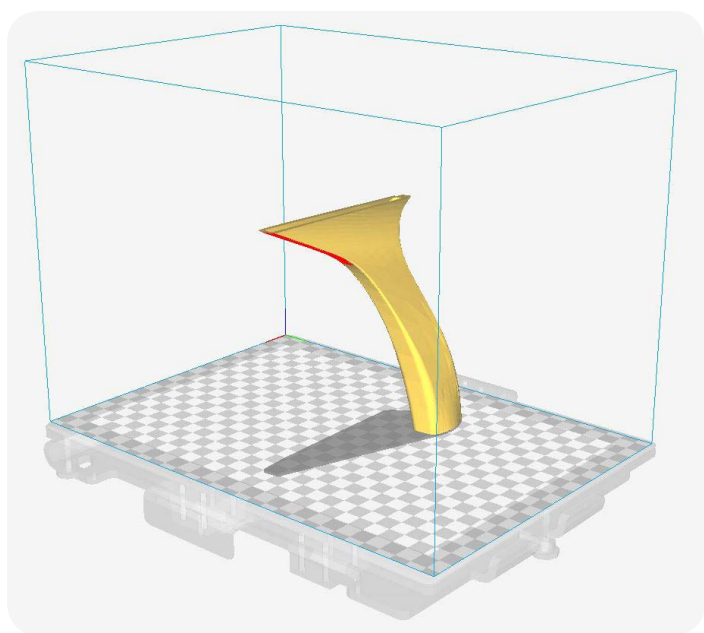
2.- **Tubo superior:** la segunda sesión de impresión fue la del tubo superior, dividido en tres partes para que cupiesen en el espacio de impresión. En la pieza de unión del tubo superior con la tija, se realizaron soportes automáticos para poder construir la pieza de la manera más rápida para que tuviese menos base que construir al apoyar la pieza. El tiempo de impresión fue de 17 horas aproximadamente.



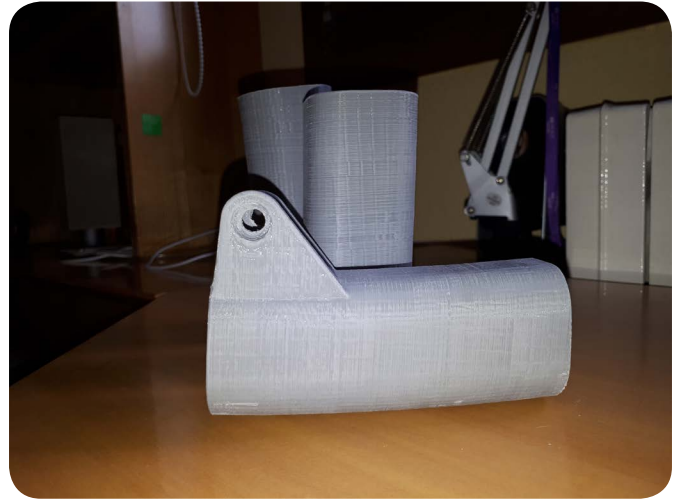
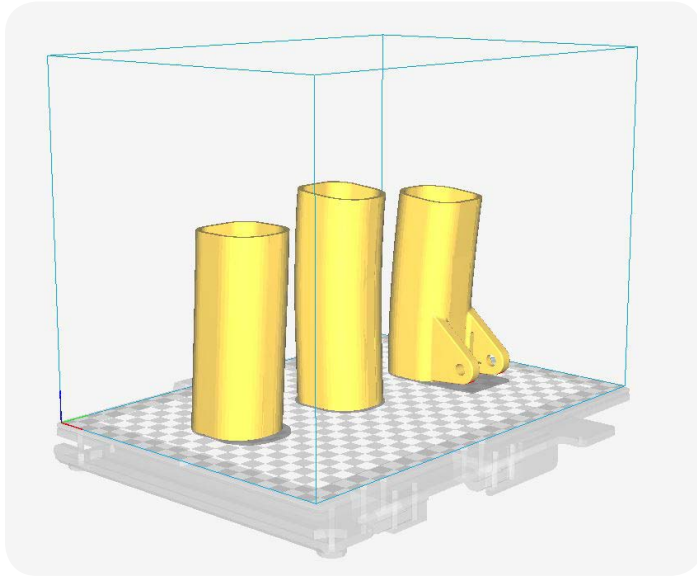
3.- **Tija:** esta sencilla pieza se realizó en un tiempo de 2 horas y 28 minutos, debido a su forma cilíndrica sencilla de construir y sin soportes extra.



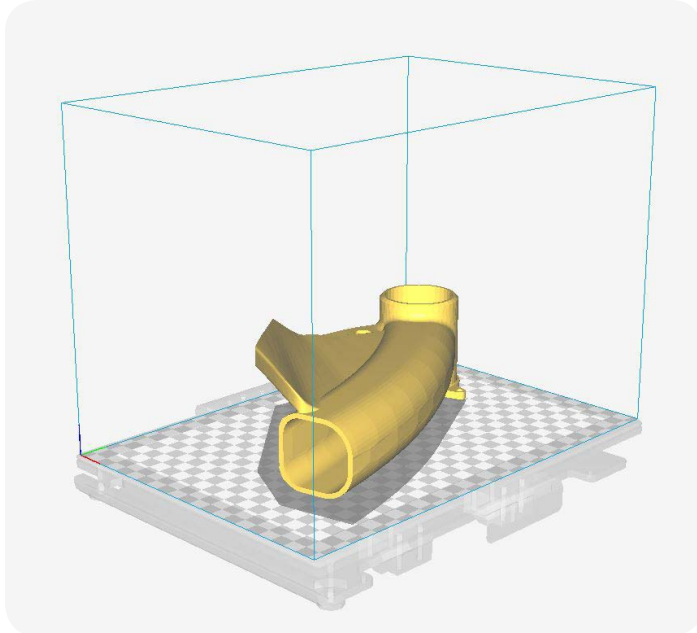
4.- **Asimétrica 1:** con un tiempo de impresión de unas 5 horas, consta de un soporte sobre la cual se apoya la parte asimétrica de la pieza para una mayor facilidad de construcción. Apoyando la pieza sobre la cara del plano de corte de Netfabb, se consigue que la pieza tenga una cara plana, y optimizando la impresión gracias a la pieza de soporte que evita que caiga la pieza por su propio peso al ser impresa.



5.- **Tubo inferior:** con un tiempo de impresión de 16 horas, el tubo superior quedó impreso, dividido en tres partes, para posteriormente hacer el montaje del tubo y unirlo al resto del cuadro.



6.- **Asimétrica 2:** la pieza final se tuvo que dividir en dos partes para una mayor comodidad de impresión, la pieza de la caja de pedalier, tubo un tiempo de impresión de 12 horas, mientras que la pieza de unión del tubo inferior con la pieza asimétrica le costó once horas. Ambas piezas están impresas con el mismo material usado con las piezas anteriores, pero con otra impresora 3D debido a problemas técnicos derivados del calor. La calidad superficial es un poco inferior que con el modelo de la universidad pero tras los procesos de preparación tendrán todas las piezas el mismo acabado final.



Presupuesto

- Piezas a fabricar
- Piezas comerciales
- Mano de obra
- Presupuesto de ejecución material

Piezas a fabricar

Código plano	Plano	Descripción	Unidades	Cantidad	Precio ud.	Importe
1.01	1.01	Pipa de dirección	ud.	1	10	10
1.02	1.01	Tubo superior	ud.	1	38	38
1.03	1.01	Tubo inferior	ud.	1	48.9	48.9
1.04	1.01	Tija	ud.	1	5	5
1.05	1.01	Pieza curva	ud.	1	98.1	98.1
1.06	1.01	Caja de pedalier	ud.	1	15	15
2.01	1.02	Puntera superior izquierda	ud.	1	12	12
2.02	1.02	Puntera superior derecha	ud.	1	12	12
2.03	1.02	Puntera trasera izquierda	ud.	1	18.5	18.5
2.04	1.02	Puntera trasera derecha	ud.	1	15	15
2.05	1.02	Vaina inferior	ud.	2	20	40
2.06	1.02	Puente unión vainas	ud.	1	29.87	29.87
2.07	1.02	Vaina recta	ud.	1	14.65	14.65
2.08	1.02	Vaina curva	ud.	1	25.8	25.8
2.09	1.03	Pivote virtual	ud.	1	154.2	154.2
2.10	1.03	Pivote superior	ud.	1	126.75	126.75
2.11	1.03	Adaptador amortiguador	ud.	4	0.8	3.2
2.12	1.03	Tapón pivote	ud.	4	2.6	10.4
Total piezas a fabricar						687.37E

Piezas comerciales

Código plano	Plano	Descripción	Unidades	Cantidad	Precio ud.	Importe
7	1.00	Rodamiento pivote ISO 15ABB-399-10	ud.	8	3.5	28
8	1.00	Perno basculante superior ISO 2338 M12x36	ud.	1	5.4	5.4
9	1.00	Perno amortiguador DIN 912 M12x40	ud.	2	6	12
10	1.00	Tornillo perno amortiguador DIN 912 M8x12	ud.	2	2.4	4.8
12	1.00	Perno unión pivote virtual triángulo	ud.	1	3.2	3.2
13	1.00	Tornillo exterior pivote superior	ud.	2	1.9	3.8
14	1.00	Tornillo interior pivote superior	ud.	2	1.5	3
15	1.00	Tornillo exterior pivote virtual	ud.	2	2	4
16	1.00	Tornillo interior pivote virtual	ud.	2	1.8	3.6
Total piezas comerciales						67.8E

Mano de obra

Código plano	Plano	Descripción	Unidades	Cantidad	Precio ud.	Importe
100	1.00	Black widow 165	h	5	25	125
Total mano de obra						125E

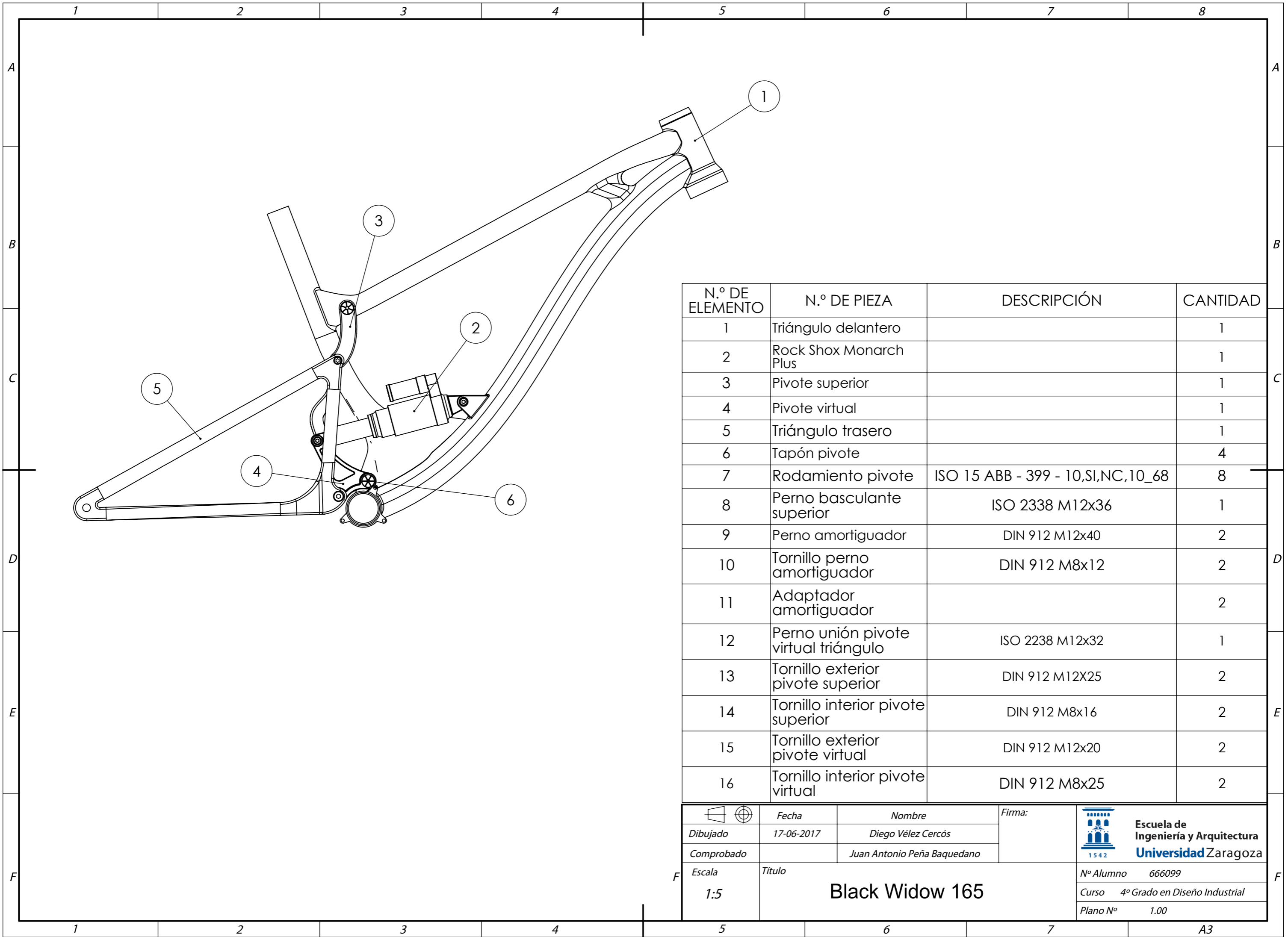
Presupuesto de ejecución material

Capítulo	Importe
1. Piezas a fabricar	687.37
2. Piezas comerciales	67.8
3. Mano de obra	125
Total Presupuesto de ejecución material:	880.17



El alcance de este proyecto es la fabricación de 1500 unidades de cuadro Black widow 165 de modo que:

$$880.17 \times 1'500 = 1'320'255\text{€}$$

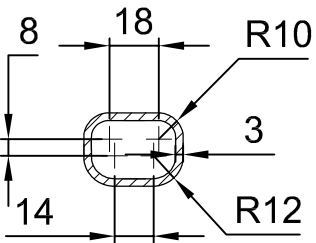
El total del presupuesto de ejecución material de 1.5000 unidades de cuadro Black Widow 165 asciende a UN MILLÓN TRESCIENTOS VEINTE MIL DOSCIENTOS CINCUENTA Y CINCO EUROS (1'320'255€).



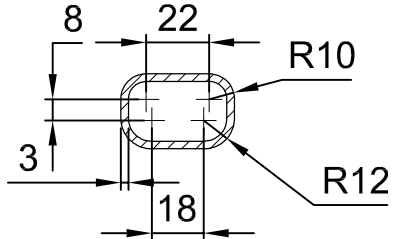
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Triángulo delantero		1
2	Rock Shox Monarch Plus		1
3	Pivote superior		1
4	Pivote virtual		1
5	Triángulo trasero		1
6	Tapón pivote		4
7	Rodamiento pivote	ISO 15 ABB - 399 - 10,SI,NC,10_68	8
8	Perno basculante superior	ISO 2338 M12x36	1
9	Perno amortiguador	DIN 912 M12x40	2
10	Tornillo perno amortiguador	DIN 912 M8x12	2
11	Adaptador amortiguador		2
12	Perno unión pivote virtual triángulo	ISO 2238 M12x32	1
13	Tornillo exterior pivote superior	DIN 912 M12X25	2
14	Tornillo interior pivote superior	DIN 912 M8x16	2
15	Tornillo exterior pivote virtual	DIN 912 M12x20	2
16	Tornillo interior pivote virtual	DIN 912 M8x25	2

	Fecha	Nombre	Firma:	 <div>Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza</div>
Dibujado	17-06-2017	Diego Vélez Cercós		
Comprobado		Juan Antonio Peña Baquedano		
Escala 1:5	Título Black Widow 165			Nº Alumno 666099
				Curso 4º Grado en Diseño Industrial
				Plano Nº 1.00

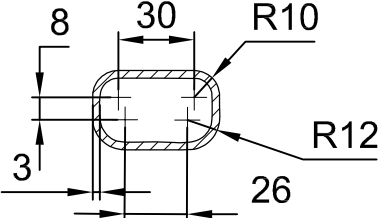
SECCIÓN A-A
ESCALA 1:3



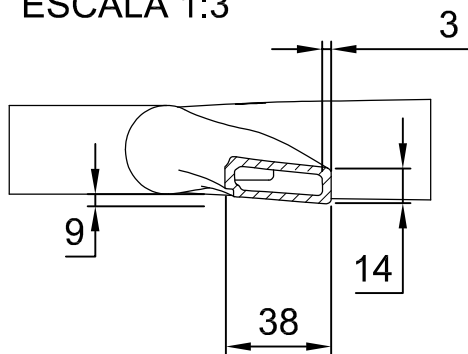
SECCIÓN B-B
ESCALA 1:3



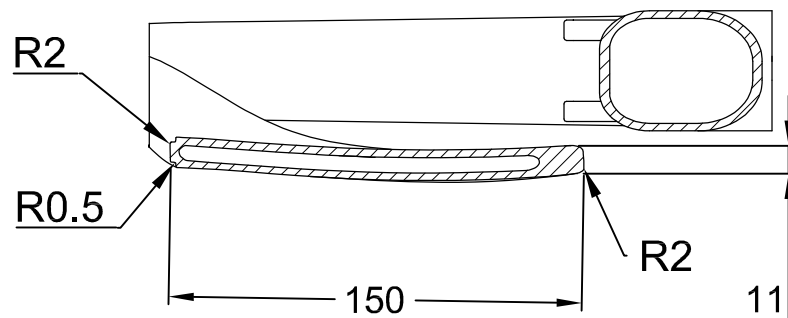
SECCIÓN C-C
ESCALA 1:3



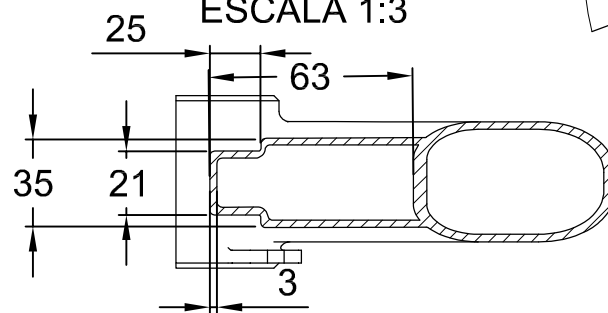
SECCIÓN G-G
ESCALA 1:3



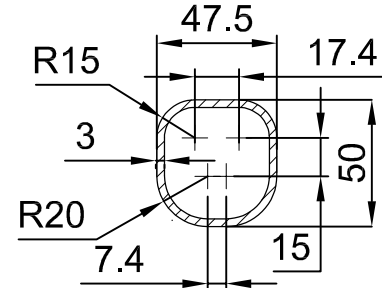
SECCIÓN F-F
ESCALA 1:3



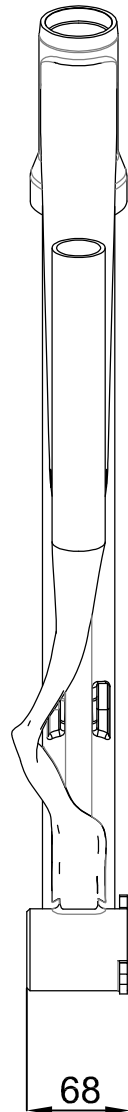
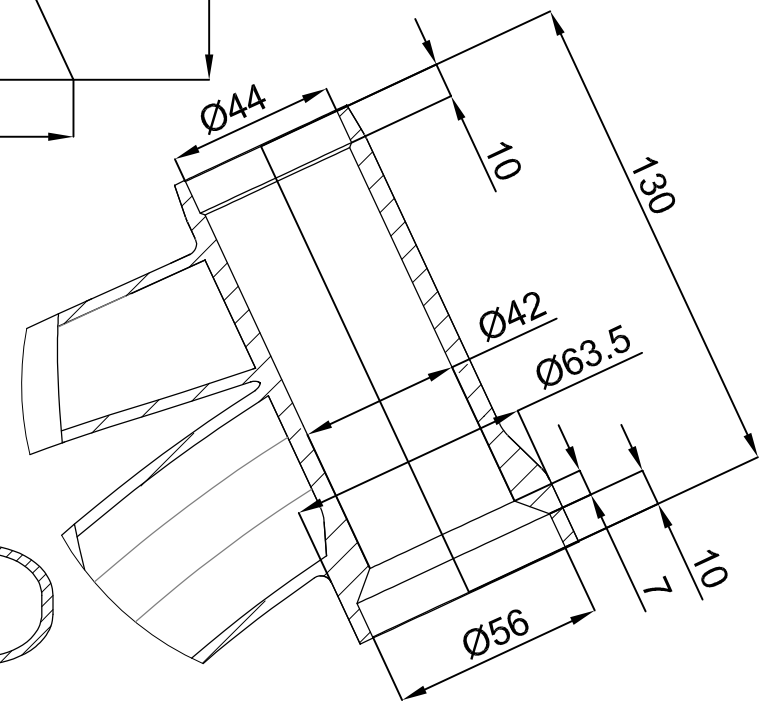
SECCIÓN E-E
ESCALA 1:3

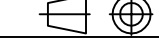



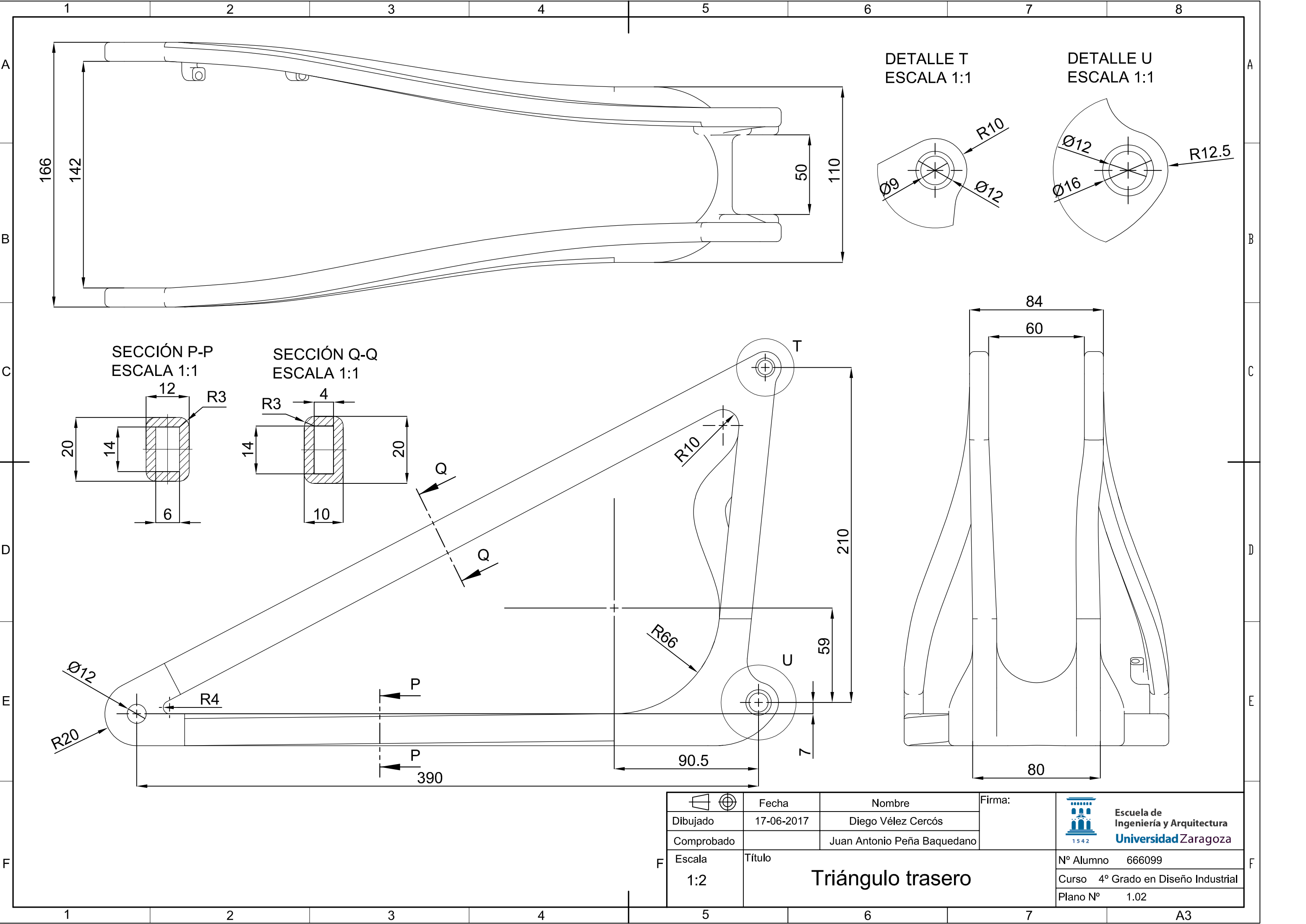
SECCIÓN D-D
ESCALA 1:3

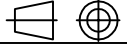



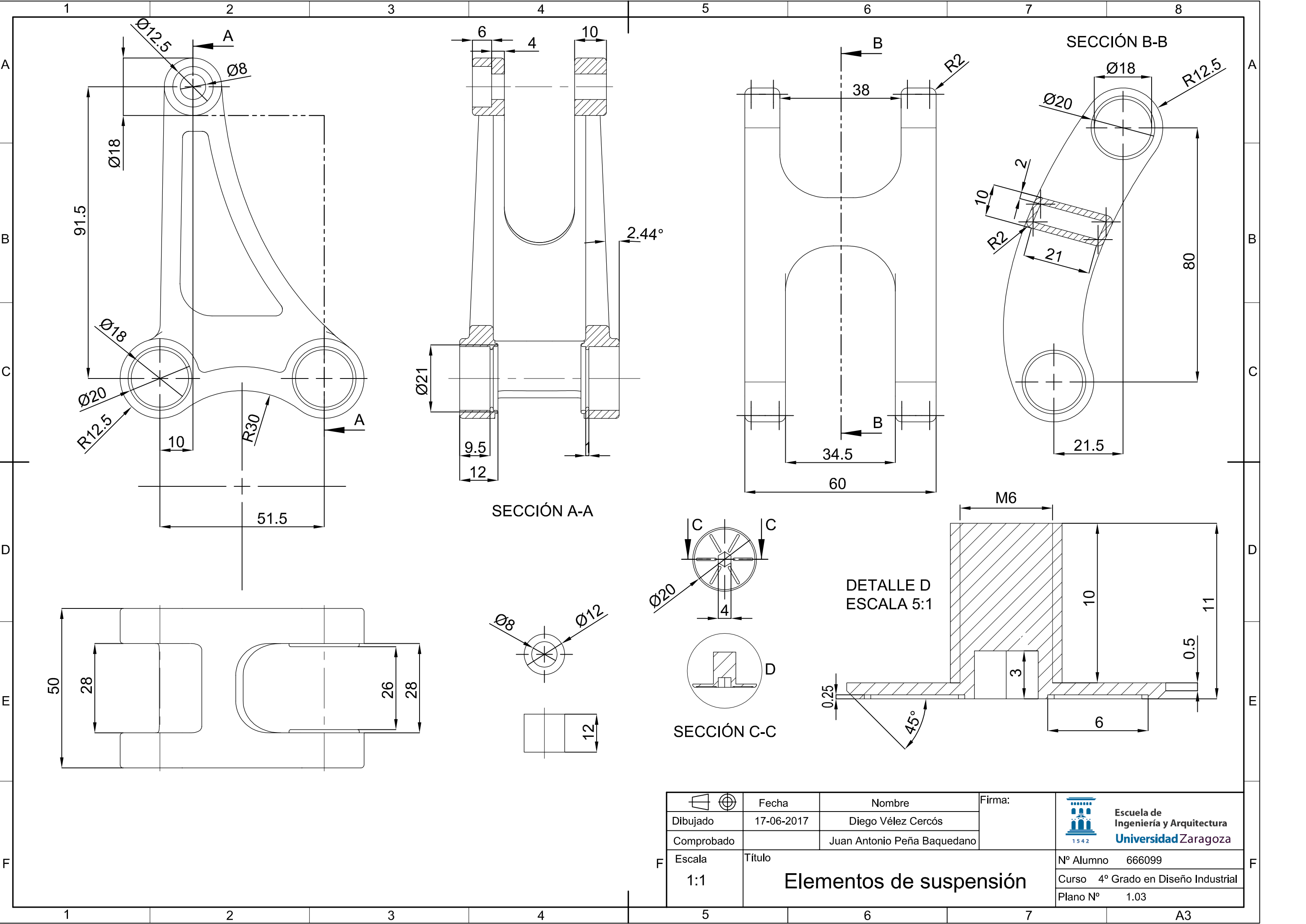
DETALLE H
ESCALA 1:2






	Fecha	Nombre	Firma:	
	Dibujado	17-06-2017	Diego Vélez Cercós	
	Comprobado		Juan Antonio Peña Baquedano	
Escala 1:5	Título			Nº Alumno 666099
	Triángulo delantero			Curso 4º Grado en Diseño Industrial
				Plano Nº 1.01



F		Fecha	Nombre	Firma:	 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza
	Dibujado	17-06-2017	Diego Vélez Cercós		
	Comprobado		Juan Antonio Peña Baquedano		
	Escala	Título			Nº Alumno 666099
	1:2	Triángulo trasero			Curso 4º Grado en Diseño Industrial
					Plano Nº 1.02



 	Fecha	Nombre	Firma:	 <div>Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza</div>
Dibujado	17-06-2017	Diego Vélez Cercós		
Comprobado		Juan Antonio Peña Baquedano		
Escala 1:1	Título Elementos de suspensión			Nº Alumno 666099
				Curso 4º Grado en Diseño Industrial
				Plano Nº 1.03