



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

TREBALL FI DE GRAU

Grau en Enginyeria Mecànica

**OPTIMITZACIÓ DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓ D'UNA
MOTOCICLETA ELÈCTRICA DE COMPETICIÓ**



Memòria i Annexos

Autor: Roderic Vidal Doménech
Director: Francisco Quintilla Blanco
Convocatòria: Setembre 2019

1. Resum

En aquest projecte, l'autor presenta el procés de càlcul i validació del disseny del tren posterior d'una motocicleta de competició 100% elèctrica. El principal objectiu és obtenir un conjunt de sistema de suspensió posterior i braç basculant que aportí al prototip de motocicleta un comportament òptim, assegurant la integritat estructural del vehicle, deixant l'espai necessari per a altres components de la motocicleta i minimitzant el pes.

Per a assolir aquests objectius es tenen en compte les situacions de conducció de la motocicleta que poden afectar al sistema, però, en aquest cas no es disposen de dades reals sobre una motocicleta de característiques similars que es puguin aprofitar, per tant, es calcularan de manera teòrica aprofitant la informació i les eines enginyerils que es tenen a l'abast per aconseguir unes dades el més pròximes possibles a la realitat.

Un cop establertes les situacions de treball clau, el gruix del projecte passa per, en primer lloc, aconseguir una geometria de suspensió que presenti unes corbes de rigidesa dintre d'uns intervals acceptables i amb certa progressivitat, que es traduirà en un bon comportament de la motocicleta en pista i, en segon lloc, aconseguir una estructura de braç basculant que sigui capaç de suportar aquestes situacions sense veure's compromès i presenti uns valors de rigidesa concrets.

Per finalitzar es validaran els dissenys obtinguts mitjançant el mètode d'elements finits (CAE) simulant les situacions tant estàtiques com dinàmiques així com també l'estudi dels modes de freqüència naturals de l'estructura.

2. Resumen

En este proyecto, el autor presenta el proceso de cálculo y validación del diseño del tren trasero de una motocicleta de competición 100% eléctrica. El principal objetivo es obtener un conjunto de sistema de suspensión trasera y brazo basculante que aporte al prototipo de motocicleta un comportamiento óptimo, asegurando la integridad estructural del vehículo, dejando el espacio necesario para otros componentes de la motocicleta y minimizando el peso.

Para alcanzar estos objetivos se tienen en cuenta las situaciones de conducción de la motocicleta que pueden afectar al sistema, pero, en este caso no se disponen de datos reales sobre una motocicleta de características similares que se puedan aprovechar, por tanto, se calcularán de manera teórica aprovechando la información y las herramientas ingenieriles que se tienen al alcance para conseguir unos datos lo más próximas posibles a la realidad.

Una vez establecidas las situaciones de trabajo clave, el grueso del proyecto pasa por, en primer lugar, conseguir una geometría de suspensión que presente unas curvas de rigidez dentro de unos intervalos aceptables y con cierta progresividad, que se traducirá en un buen comportamiento de la motocicleta en pista y, en segundo lugar, conseguir una estructura de brazo basculante que sea capaz de soportar estas situaciones sin verse comprometido y presente unos valores de rigidez concretos.

Para finalizar se validarán los diseños obtenidos mediante el método de elementos finitos (CAE) simulando las situaciones tanto estáticas como dinámicas, así como también el estudio de los modos de frecuencia naturales de la estructura.

3. Abstract

In this project, the author presents the process of calculating and validating the design of the rear train of a 100% electric competition motorcycle. The main goal is to obtain a set of rear suspension system and swinging arm that gives the motorcycle prototype optimal performance, ensuring the structural integrity of the vehicle, leaving the necessary space for other components of the motorcycle and minimizing weight.

To achieve these objectives, the driving situations of the motorcycle that may affect the system are taken into account, but in this case no real data are available on a motorcycle with similar characteristics that can be used, therefore, they will be calculated from theoretically taking advantage of the information and engineering tools available to obtain data as close as possible to reality.

Once the key work situations have been established, the bulk of the project involves, in the first place, achieving a suspension geometry that presents stiffness curves within acceptable intervals and with a certain progressiveness, which will translate into a good behavior of the motorcycle on the track and, secondly, to achieve a swinging arm structure that is able to withstand these situations without being compromised and has specific values of rigidity.

Finally, the designs obtained using the finite element method (CAE) will be validated by simulating both static and dynamic situations as well as the study of the natural frequency modes of the structure.



4. Agraïments

Aquest treball és una petita part del gran projecte que és l'associació de la EEBE ePowered Racing. Vull agrair a tots els meus companys de l'equip l'ajut i el suport que m'han donat durant els darrers 3 anys, tant a nivell de coneixements com personal, i m'agradaria fer-los saber que aquest projecte que he tingut la sort de viure al seu costat ha estat una de les millors experiències de la meva vida.

També vull agrair als antics membres de l'associació el temps que han invertit en traspasar-nos tot el que van aprendre durant la seva estada a l'equip i el suport que ens han donat per a que el projecte es pogués fer realitat.

Per acabar, no puc passar per alt tot el sacrifici que ha fet la meva família per a que jo hagi pogut cursar aquests estudis i formar part d'aquest projecte en el que tantes hores he invertit , per aquest motiu sempre els estaré agraït.



5. Glossari

Paràmetres cinemàtics i dinàmics

C	Punt instantani de gir de la motocicleta
R_{cr}	Radi de la trajectòria de la roda posterior
V	Velocitat
δ	Angle de direcció
μ	Angle de capcineig
Ω	Velocitat angular de gir respecte el centre de gir instantani

Paràmetres de la motocicleta

CdG	Centre de gravetat
A	Àrea frontal de la motocicleta
a	Trail
a_n	Trail normal
b	Distància de l'eix de la roda posterior al CdG
h	Altura de la superfície del terra al CdG
C_D	Coeficient aerodinàmic de drag
d	Distància de l'eix de direcció al eix de la roda davantera
o	Distància de l'eix de la direcció al centre de la suspensió davantera
m	Massa conjunt moto pilot
p	Distància entre eixos
ε	Angle de llançament
φ	Angle de inclinació del xassís
β	Angle de inclinació roda davantera
f_w	Coeficient de resistència al rodolament
R	Radi exterior del pneumàtic
ω	Velocitat angular de la roda.

Forces i moments

N_f	Força normal roda davantera
N_r	Força normal roda posterior
F_{sf}	Força lateral roda davantera
F_{sr}	Força lateral roda posterior
F_D	Força aerodinàmica
F_w	Força de resistència al rodolament
F_p	Força de resistència a vèncer un pendent
F_f	Força de frenada
S	Força de tracció





Índex

El següent índex es genera i s'actualitza automàticament amb l'opció "actualitzar campos" que surt quan es prem el botó dret del ratolí a sobre d'ell. Feu que l'índex s'iniciï en una pàgina imparell.

1. RESUM	I
2. RESUMEN	II
3. ABSTRACT	III
4. AGRAÏMENTS	V
5. GLOSSARI	VII
1. INTRODUCCIÓ	1
1.1. Origen del projecte: Associació ePowered Racing.....	1
1.2. Motivació	2
1.3. Requeriments previs.....	2
1.4. Objectius del treball.....	3
1.5. Abast del treball.....	3
1.6. Motostudent.....	4
1.6.1. La Competició.....	4
1.6.2. Organització de la competició	5
2. ANÀLISI D'ALTERNATIVES	8
2.1. Mecanismes de suspensió.....	8
2.1.1. Sistema rígid.....	8
2.1.2. Sistema Plunger	9
2.1.3. Sistema tradicional.....	9
2.1.4. Sistema mono-amortidor	10
2.1.5. Sistema amb bieletes.....	11
2.2. Braç Basculant.....	12
2.2.1. Basculant clàssic.....	12
2.2.2. Basculant tubular	13
2.2.3. Basculant de secció variable	14
2.2.4. Basculant de fibra de carboni	15
2.2.5. Basculant mono braç	16
2.3. Solució escollida.....	17

3.	GEOMETRIA I CONDICIONS INICIALS	19
3.1.	Principals paràmetres geomètrics de la motocicleta	19
3.1.1.	Distància entre eixos (p)	20
3.1.2.	Angle de llançament (c)	20
3.1.3.	Offset de direcció	21
3.1.4.	Trail (T)	21
3.1.5.	Centre de Gravetat (CdG)	22
3.1.6.	Angle de transferència de pesos (f)	23
3.2.	Reglament tècnic de la competició	25
3.2.1.	Secció A / Article 4: Fabricació de la motocicleta	26
3.2.2.	Secció B / Article 1 : Requisits tècnics del prototip i restriccions	26
3.2.3.	Secció B / Article 2: Requisits generals de disseny	27
3.2.4.	Secció B / Article 3: Xassis (estructura)	29
3.2.5.	Secció B / Article 7: Sistema de suspensió	30
3.2.6.	Secció B / Article 9: Llantes i pneumàtics	31
3.2.7.	Secció E Verificacions prèvies / Article 3: Verificacions estàtiques	32
3.3.	Especificacions dels components estandarditzats	33
3.3.1.	Motor	33
3.3.2.	Pneumàtics	34
3.3.3.	Sistema de fre	34
3.4.	Paràmetres geomètrics ePRO2	36
4.	DESENVOLUPAMENT DEL SISTEMA DE SUSPENSÍO	38
4.1.	Definició de sol·licitacions	39
4.1.1.	Màxima acceleració	39
4.1.2.	Frenada màxima roda posterior	41
4.1.3.	Corba al límit de fricció	41
4.2.	Estudi d'estabilitat i freqüències naturals	42
4.3.	Anàlisi del tren posterior i la transferència de càrrega (squat)	44
4.4.	Definició de geometria i corbes de comportament	48
5.	DISSENY DEL BRAÇ BASCULANT	54
5.1.	Evolució del disseny	55
5.2.	Estudi de rigidesa i tensió	56
6.	ACOBLAMENT CAD EPRO2	59
7.	ANÀLISI DE L'IMPACTE AMBIENTAL	61

8. CONCLUSIONS	63
9. PRESSUPOST I/O ANÀLISI ECONÒMICA	65
10. BIBLIOGRAFIA	67
11. ANNEX A	69

1. Introducció

1.1. Origen del projecte: Associació ePowered Racing

L'origen d'aquest projecte es dona a l'associació de l'EEBE ePowered Racing, la qual té com a finalitat participar a la competició Motostudent elèctric dissenyant i fabricant un prototip de motocicleta 100% elèctric equivalent a la cilindrada de 250 cc.

Aquesta associació està formada per un grup d'entre 20 i 25 estudiants de la EEBE d'enginyeria mecànica, elèctrica i electrònica que, amb el seu esforç i dedicació, apliquen els respectius coneixements apresos durant els seus estudis per fer realitat el propòsit de tot l'equip i formar part de la setmana de competició que es viu al circuit de Motorland Aragó, on es fica a prova el prototip dissenyat i fabricat en diferents àmbits, com va tenir lloc aquest passat mes de juny on l'equip ePowered Racing va aconseguir el 9è lloc a la classificació general.

Aquesta organització situa els seus orígens l'any 2015 a l'antiga EUETIB, on un petit grup d'estudiants inicia aquest repte amb l'objectiu de participar a la IV edició de Motostudent. Després del difícil procés que és la captació de membres i recursos per a una associació d'aquest tipus, els integrants decideixen no participar a la IV edició degut a la falta de temps i és dos anys després, a la V edició de Motostudent celebrada l'any 2018, on l'equip ePowered Racing participa per primer cop, amb el prototip EPR01, aconseguint el 6è millor lloc a la classificació general entre 27 equips provinents de diferents països de tot el món.

Posteriorment, després de 3 anys de renovació tant de membres de l'equip com d'objectius i ganes de superar-se, i totes les dificultats que ha presentat l'any 2020, al mes de juny del 2021 l'equip participa a la VI edició de Motostudent amb el prototip EPR02, on s'aconsegueix la 9a posició d'entre 47 equips participants, tot un èxit que es sent com una victòria.

1.2. Motivació

La motivació d'aquest treball neix uns mesos després de finalitzar la V edició de Mostudent, on es planteja renovar els responsables de cada departament dintre de l'associació i a l'autor d'aquest treball, un cop consolidat dintre de l'equip, queda com a responsable del sistema que es presenta en aquest treball.

Cal destacar que una de les motivacions extra d'aquest treball és que no es tracta d'un treball únicament teòric, ja que la seva finalitat no es queda només en el disseny sinó que ha de passar per totes les etapes de prototipatge, des del plantejament inicial, passant per l'anàlisi de necessitats i càlculs fins a la fabricació i validació mitjançant la prova en test.

Per acabar, també s'ha de tenir en compte que l'objecte de treball d'aquest projecte forma part de l'estructura de la motocicleta i aquest fet implica que carrega no només amb tot el treball de més de 3 anys de tots els companys de l'associació, sinó amb la integritat física del pilot que pugui pilotar el prototip i tots els que l'envolten, per aquest motiu també es compta amb aquesta responsabilitat que és un motiu més per treballar de la millor manera possible i donar el 100%.

1.3. Requeriments previs

A l'hora de dissenyar un sistema des de zero partint d'una situació en la que no coneixes els requisits concrets que ha de complir, t'adones que la necessitat principal és la pròpia motivació i les ganes de treballar de la millor manera possible. D'aquesta manera poc a poc aconsegueixes veure la manera de relacionar tots els coneixements assolits al llarg del grau que són fonamentals, i com, complementant-los amb tota la informació concreta relacionada amb el camp que estàs treballant, en aquest cas el món de la enginyeria dintre del motociclisme, els pots aplicar per acabar convertint en realitat el projecte que et proposes.

1.4. Objectius del treball

Els objectius d'aquest projecte són conjunts amb els que té l'equip ePowered Racing, ja que en certa manera, l'èxit d'un pot dependre de l'altre i viceversa. Aquests objectius són els següents:

- Assolir una bona relació entre els membres de l'equip per a poder aconseguir un bon disseny tant a nivell de suspensió i basculant com de prototip e general.
- Aprendre de manera autònoma tot el necessari sobre la dinàmica de la motocicleta i la influència que té sobre aquesta el sistema de braç basculant i suspensió
- Ampliar la experiència pròpia en eines de disseny (CAD) i aprendre des de zero a utilitzar el software Siemens NX fins el punt de ser capaç de realitzar tot el disseny.
- Dissenyar un sistema de suspensió i braç basculant que aportí estabilitat i un bon comportament dinàmic al prototip EPR02 i que sigui possible de fabricar amb els recursos de l'associació ePowered Racing i els seus patrocinadors
- Aconseguir un model de braç basculant eficaç i suficientment senzill com per a poder simular els esforços que pateix mitjançant el mètode d'elements finits.
- Ampliar els coneixements sobre el mètode dels elements finits (FEM) i el software NX NASTRAN.
- Aconseguir un treball prou complet, clar i entenedor per a que serveixi com a font d'informació a futurs membres de l'equip i així transmetre els coneixements assolits.
- Obtenir els millors resultats possibles en la VI edició de Motostudent Electric

1.5. Abast del treball

La finalitat del treball és exposar el procés de disseny del tren posterior del prototip EPR02 que s'ha pogut fabricar amb èxit i ha competit a la VI edició de Motostudent.

El sistema plantejat es pot dividir en dues parts, en primer lloc el sistema de suspensió i posteriorment com a estructura el braç basculant, encara que els dos treballen conjuntament i es pot considerar que el basculat forma part de la relació de palanques del sistema de suspensió.

D'aquest sistema general s'ha realitzat el disseny amb eines CAD i també la reproducció del seu comportament amb un treball conjunt entre el software de disseny i el software de office Excel, utilitzat per a realitzar els càlculs necessaris. Posteriorment, referint-nos sobre tot a l'estructura del braç basculant i també a algunes peces del sistema de suspensió, s'ha realitzat un estudi CAE amb les situacions més restrictives tant estàtiques com dinàmiques que pot sofrir el prototip per validar a fiabilitat del sistema dissenyat i, finalment, també s'han preparat alguns programes CAM per a la fabricació en CNC d'algunes peces del propi basculant així com tots els plànols i documents necessaris per a dur a terme amb èxit la fabricació de tot el tren posterior plantejat.

1.6. Motostudent

1.6.1. La Competició

Motostudent és una competició entre equips universitaris de tot el món formats per estudiants d'enginyeria, que tenen l'objectiu d'aprofitar els coneixements adquirits amb els seus estudis per completar un projecte on han de dissenyar, desenvolupar i construir un prototip de motocicleta que es fica a prova al circuit de Motorland Aragó un cop cada dos anys.

La competició es pot dividir en dos categories diferenciades que competeixen de manera separada:

- **Motostudent Petrol:** La unitat de potència es tracta d'un motor de combustió interna de 250cc similar al utilitzat a la categoria moto3 del campionat del món de motociclisme.
- **Motostudent Electric:** En aquest cas el sistema de propulsió és totalment elèctric, amb una potència aproximadament equivalent al motor de combustió de la categoria Petrol.

Un dels aspectes més importants d'aquesta competició és que no només es valora el treball de disseny i de fabricació del prototip, sinó que també hi ha una part molt important que tracta sobre la preparació d'un projecte industrial relacionat amb el món del motociclisme. En el cas de la VI edició de Motostudent ha consistit en la gestió d'un equip de competició fictici per a una copa celebrada en diferents circuits al llarg de tot l'any, on s'han de planificar tots els aspectes com per exemple l'econòmic, gestió de recursos, transport, objectius a complir i "timings" que s'han de respectar per poder complir-los. D'aquesta manera els participants no només aprenen la part dedicada a l'enginyeria



sinó que també han d'aconseguir gestionar el que al cap i a la fi és un negoci, de la millor manera possible.

1.6.2. Organització de la competició

L'organització de la competició pel que fa a la puntuació s'organitza en dos grans grups, el primer que fa referència a tota la part teòrica en la que l'equip presenta els diferents projectes que ha preparat i, el segon, on s'avalua el prototip fabricat mitjançant proves tant estàtiques com dinàmiques per comprovar la seva fiabilitat i el seu rendiment.

- MS1:** En aquesta primera part s'avalua el projecte des d'un punt de vista industrial, valorant el treball fet en relació al seu potencial com a negoci, ja que es valoren aspectes com el cost, el disseny, el potencial industrial, la innovació i la capacitat de l'equip per presentar-lo de la manera més completa possible en un temps limitat.
- MS2:** Aquesta segona part es centra en el prototip i, després de passar certes verificacions tant estàtiques com dinàmiques que determinen si la motocicleta és apta o no per competir, es fica a prova juntament amb els prototips dels altres equips amb proves dinàmiques com per exemple velocitat punta, frenada, acceleració, maniobrabilitat, etc.

A les següents taules trobem el repartiment de puntuacions de les dues parts de la competició:

Award	Part	MS1 Deliveries	MotoStudent Pitch	MS1 Finals	TOTAL	
Best MS1 Project	A	50	20	20	240	
	B	75				
	C	75				
	D	100	10	10		120
	E	100	30	10		140
TOTAL		400	60	40	500	

Sesión	Prueba	Puntuación
Round 1 / Round 2	Test 1: Brake Test	60
	Test 2: Gymkhana	100
	Test 3: Acceleration	60
Free Practice 1	Test 4: V _{max} in speed trap	30
Free Practice 2	Test 5: Regularity	30
Warm Up	-	-
Qualifying	Test 6: Pole Position	40
Pre-Final*	-	-
Race	Test 7: Best Race Lap	30
	Test 8: Race Result	150
Total		500

Taula 1: Puntuació de l'apartat MS1 (Font: ePowered Racing) **Taula 2:** Puntuació de l'apartat MS2 (Font: ePowered Racing)





2. Anàlisi d'alternatives

En aquest capítol s'analitzaran els diferents sistemes de suspensió i els tipus de braç basculant que s'han utilitzat al llarg de la història i com han anat evolucionant al llarg dels anys, per a valorar les opcions de les que es disposa per al prototip i decidir en funció dels avantatges, inconvenients i recursos dels que es disposa.

2.1. Mecanismes de suspensió

2.1.1. Sistema rígid

Encara que actualment s'han normalitzat les motocicletes amb sistemes de suspensió i la història i la evolució de la tècnica han demostrat que aporten un millor comportament a la conducció, antigament hi havia marques reconegudes que prescindien de la utilització d'aquests sistemes. Es tractava de motocicletes molt senzilles que es fabricaven a principis del segle XIX i que actualment s'han convertit en autèntiques icones.



Il·lustració 1: Indian single 1915 suspensió rígida (Font: Google imatges)

2.1.2. Sistema Plunger

Va ser el primer sistema que es va utilitzar de manera estesa per diferents fabricants a mitjans del segle XIX aproximadament. El sistema consistia en subjectar l'eix de la roda posterior mitjançant dues molles verticals, una a la part superior i l'altra a la inferior, de manera que absorbissin el moviment tant en compressió com en extensió respectivament. Aquest sistema tenia les seves limitacions ja que la utilització d'aquestes molles impedia que es pogués utilitzar una estructura amb triangulació a la part inferior i generava un sistema poc rígid que en algunes ocasions sofria trencament per fatiga.



Il·lustració 2: Motocicleta amb sistema Plunger (Font: Google imatges)

2.1.3. Sistema tradicional

En aquest cas trobem la utilització de braç basculant, que és un dels mecanismes més generalitzats en el món del motociclisme i ha demostrat ser la millor opció en els diferents tipus de motocicleta que existeixen i les diferents disciplines per a les que estan preparades. Com el seu nom indica, es tracta d'un braç que pivota respecte un punt fix al xassís i subjecta la roda per l'altre extrem, habitualment utilitzant un parell de molles fixes a l'altura de l'eix de roda que van a buscar el sub-xassis de la motocicleta. Amb aquest sistema s'aconsegueix que les molles absorbeixin directament el pes que recau en la part posterior de la motocicleta i s'estableix una constant efectiva del sistema iguala la de les molles, ja que el recorregut vertical del braç basculant i la compressió de les molles és la mateixa.

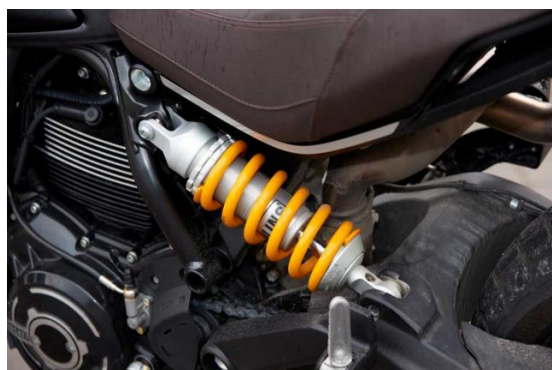


Il·lustració 3: Braç basculant amb suspensió tradicional (Font: Google imatges)

2.1.4. Sistema mono-amortidor

A diferència dels casos anteriors, aquest ja és un sistema que es segueix utilitzant actualment de manera molt estesa i que podem trobar en motocicletes sobre tot del tipus off-road o també motocicletes comercials normalment de baixa cilindrada. En aquest cas, a diferència del sistema tradicional, trobem un sol amortidor que treballa en una posició inclinada i habitualment un braç basculant que presenta una triangulació superior amb la fixació de l'amortidor bastant més avançada que en el cas tradicional.

D'aquesta manera, la constant efectiva de la molla és diferent a la del sistema en general ja que trobem una diferència de compressió entre la roda posterior i l'amortidor, la qual cosa permet utilitzar uns amortidors molt més petits i sofisticats que a part de treballar amb la molla d'acer també incorporen un sistema hidràulic regulable per variar el comportament.

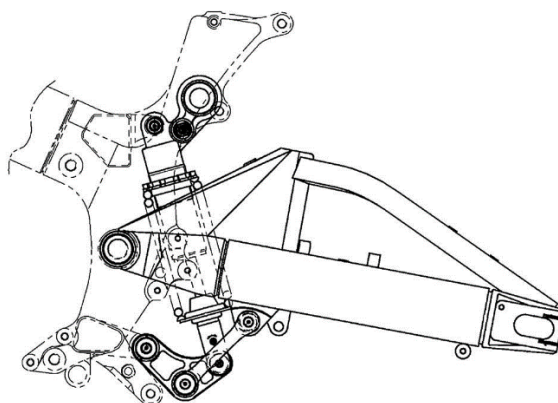


Il·lustració 4: Sistema mono-amortidor desplaçat a l'esquerra (Font: Google imatges)

2.1.5. Sistema amb bieletes

Aquest últim cas es pot considerar una evolució del sistema mono-amortidor, i en la actualitat és el més utilitzat en les motocicletes més complexes i de competició. Consisteix en una variant que introdueix un nou element anomenat biela que actua com a balancí entre l'amortidor i el braç basculant, d'aquesta manera es aconsegueix variar la constant efectiva de l'amortidor al llarg del recorregut de compressió de la roda posterior.

Un altre dels avantatges que aporta és que es pot variar el comportament de la suspensió amb només canviar la geometria d'aquesta biela, la qual cosa és relativament senzill, i permet adaptar el comportament de la motocicleta a diferents condicions o diferents entorns oferint un gran avantatge sobre tot en situacions de competició.



Il·lustració 5: Esquema del sistema de suspensió amb bieletes (Font: Google imatges)

Pel que fa a la evolució d'aquest sistema, al llarg dels últims 50 anys molts dels fabricants han anat dissenyant diferents variants del mateix canviant la geometria i la posició de la biela o modificant els punts de fixació dels diferents elements en funció de l'espai disponible a la motocicleta, el comportament desitjat o les patents que s'han anat tancant al llarg dels anys, però totes aquestes versions tenien l'objectiu comú de controlar la constant efectiva de l'amortidor respecte la compressió de la roda posterior, que és una clau per obtenir el bon comportament de la motocicleta pel que fa a la suspensió.

2.2. Braç Basculant

El braç basculant de la motocicleta és la part principal del tren posterior i és l'element que s'encarrega de transmetre tot el moviment que es genera a la roda, gràcies al sistema de transmissió, cap al conjunt de la motocicleta.

Igual que la resta de sistemes, al llarg dels anys aquest element també ha anat evolucionant gràcies a la millora de la tècnica i s'han implementat diverses geometries, materials i mètodes de fabricació que han aconseguit unes estructures més lleugeres i també més resistents, necessàries degut a l'augment de cilindrada i rendiment que han aconseguit les motocicletes al llarg dels últims anys.

2.2.1. Basculant clàssic

Després dels sistemes de suspensió rígids van començar a aparèixer els primers braços basculants per a poder implementar sistemes de suspensió més innovadors. La base d'aquests basculants eren diferents perfils normalment d'alumini, amb forma rectangular per aconseguir una bona resistència a flexió, que feien la funció de braços i tubs a la zona central que servien com a eix per definir una forma de U, tot unit amb soldadura. Aquest tipus de basculant era el més generalitzat i aquesta geometria encara s'utilitza molt avui en dia, sobre tot en motocicletes senzilles o de baixa cilindrada



Il·lustració 6: Basculant clàssic amb perfils d'alumini (Font: Google imatges)

Posteriorment, a mesura que la cilindrada i per tant la potència de les motocicletes va anar augmentant, els braços basculants van evolucionar per resistir els esforços als que eren sotmesos i aquests perfils es van ampliar per aconseguir triangulacions que oferissin una major rigidesa vertical i torsional.



Il·lustració 7: Basculant amb perfil i triangulació superior (Font: Google imatges)

2.2.2. Basculant tubular

Es tracta d'una estructura normalment d'acer formada totalment per diferents tubs i peces fabricades per mecanitzat on es fixen els allotjaments de l'eix de roda i l'eix de basculant, tot unit mitjançant soldadura. Aquest tipus de basculant és poc habitual en l'actualitat ja que la majoria han evolucionat a estructures de perfils rectangulars i altres materials que ofereixen menys pes i millors prestacions però encara es poden veure en alguns prototips de motocicleta fabricats per particulars o en motocicletes relativament antigues.



Il·lustració 8: Basculant tubular d'acer (Font: Google imatges)

2.2.3. Basculant de secció variable

A diferència del tipus de basculant que s'ha anomenat anteriorment com a disseny clàssic, els basculants de secció variable no utilitzen tubs ni elements normalitzats com perfils i per tant la seva fabricació és considerablement més complicada.

En aquest cas trobem una estructura en la que dintre de la mateixa hi ha zones amb diferents seccions, d'aquesta manera s'aconsegueix que dintre del mateix basculant hi hagi diferents rigideses en funció de la secció i es pugui obtenir un comportament bastant específic de la flexió del mateix.

Per a aconseguir un disseny òptim d'aquest tipus de basculant es requereixen estudis de rigideses i comportament davant dels esforços que sofrirà en les seves situacions de treball, per aquest motiu aquest tipus de basculant només es fabrica per a motocicletes d'alta cilindrada o de competició que tenen com a objectiu buscar el màxim rendiment i disposen del finançament suficient per realitzar aquests estudis.



Il·lustració 9: Basculant d'alumini de secció variable (Font: Google imatges)

Un dels principals inconvenients d'aquest tipus de basculant és que, en la majoria de casos, les diferents parts que el componen s'han de dissenyar i fabricar expressament ja sigui per fosa, mecanitzat, forja, estampació, etc. I això fa que la seva producció tingui un cost encara més elevat. Tanmateix, el fet d'utilitzar parts no normalitzades i dissenyades expressament fa que es puguin implementar geometries generals molt més complexes i d'aquesta manera utilitzar sistemes de suspensió més sofisticats, reduir pes o adaptar la geometria a altres elements de la motocicleta aconseguint un disseny general més compacte.

2.2.4. Basculant de fibra de carboni

Aquesta alternativa és la més innovadora dels últims anys, tant que només s'ha implementat al nivell més alt de competició com és MotoGP i d'una manera bastant tímida. Aquesta opció consisteix en un braç amb forma convencional però utilitzant el material compost de fibra de carboni anomenat "composite" amb un nucli normalment de "foam" i certes unions mitjançant adhesiu estructural a peces mecanitzades d'alumini, per a que facin la funció de les zones de fixació habituals com solen ser l'eix de basculant i de roda o la fixació de la suspensió posterior.

Aquesta combinació aconsegueix obtenir una peça final d'un pes molt més reduït que els seus competidors d'alumini però alguns dels inconvenients principals pels quals aquest tipus de basculant només s'utilitza en alta competició són:

- Alt cost de fabricació, ja que es tracta d'un procés complicat que es porta a terme de manera bastant artesana i amb materials considerablement cars.
- Dificultat per comprovar l'estat de la peça després de sofrir un accident o impacte.
- Dificultat per aconseguir les rigideses necessàries sobre tot en flexió lateral , la qual cosa fa que en alguns casos s'utilitzi una ànima d'alumini com a base per a l'estructura i es recobreixi amb fibra per compensar les rigideses que es perden al reduir la quantitat de material base.



Il·lustració 10: Basculant de fibra de carboni de l'equip Ducati MotoGP (Font: Google imatges)

2.2.5. Basculant mono braç

En tots els casos anteriors la forma de l'estructura segueix sent en U i la roda es trobava subjectada per les dues bandes mitjançant un eix recolzat a la part posterior del basculant com era originàriament, però en aquest cas, la zona de l'eix de basculant pot estar subjectada per un o dos punts de fixació i la roda només queda envoltada i fixada per un dels dos costats, plantejant una figura asimètrica.



Il·lustració 11: Basculant amb estructura mono braç (Font: Google imatges)

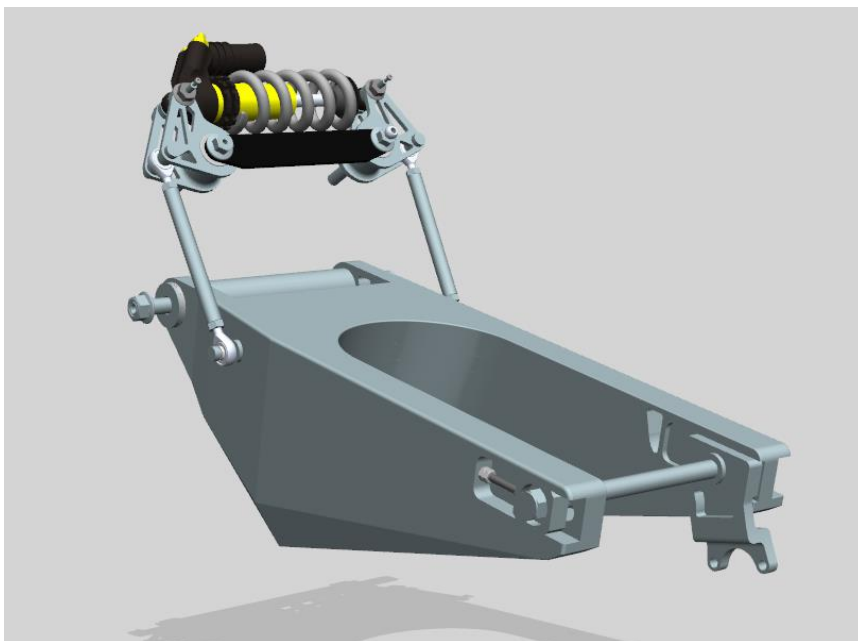
Aquest tipus de basculant es troba en les diferents opcions que hem vist anteriorment com poden ser estructures tubulars, amb perfils estàndards o de secció variable i presenta l'avantatge de que al

eliminar un dels dos braços de l'estructura es redueix considerablement el pes. També hi ha diversos inconvenients que s'han de solucionar de manera efectiva o el resultat pot ser catastròfic, com per exemple la dificultat d'aconseguir una bona rigidesa a torsió, la complicació del sistema d'eix de roda amb la corona o el disc de fre i finalment garantir una bona alineació de la roda posterior amb l'eix transversal de la motocicleta.

2.3. Solució escollida

Després d'analitzar totes les opcions presentades anteriorment així com els recursos dels que disposava l'equip tant per a realitzar el disseny i l'estudi de l'estructura i el sistema de suspensió com per a fabricar-los, s'ha decidit que, en el cas del basculant es buscarà una estructura de tipus doble braç amb secció variable i per al sistema de suspensió s'implementarà un sistema de bieletes que permeti aconseguir un bon comportament de la motocicleta sense sacrificar l'espai.

Pel que fa al basculant, s'ha escollit fabricar el gruix de la estructura amb xapa d'alumini tallada per tall a l'aigua (CNC), doblegada i amb nervis interiors en els punts clau per aconseguir la rigidesa desitjada en els punts necessaris i d'aquesta manera aconseguir una estructura buida per l'interior que presentarà un pes reduït. D'aquesta manera també s'aconsegueix reduir el cost de la fabricació ja que el procés de tall i pegat de la xapa és molt més econòmic que altres processos i en aquest cas només s'utilitza el mecanitzat mitjançant arrencament de ferritges (amb màquines de control numèric CNC) per a fabricar la part davantera de fixació a xassís i les taloneres de la zona de roda que són les zones del basculant que necessiten una millor precisió per a que les fixacions encaixin perfectament. Tots aquests elements finalment s'uneixen mitjançant soldadura i aquest és un dels motius perls quals s'escull alumini 6082 T6, que ofereix una gran resistència i permet tant el mecanitzat com una bona soldabilitat.



Il·lustració 12: Conjunt tren posterior EPR02 (Font: ePowered Racing)

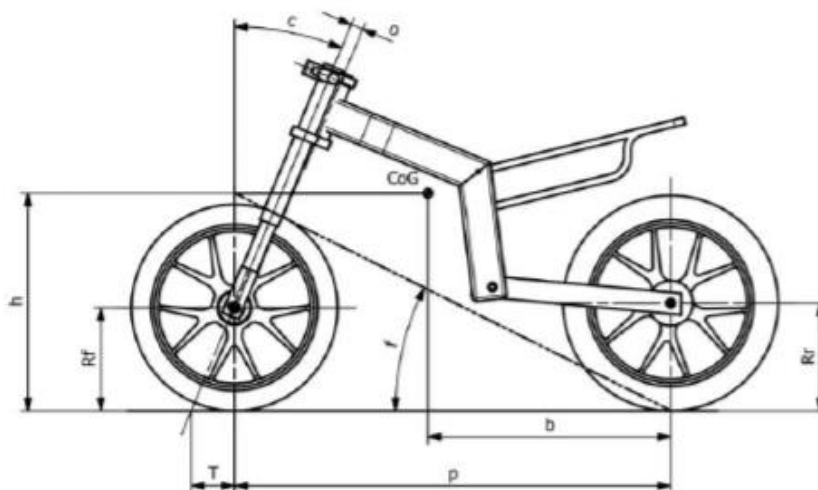
3. Geometria i condicions inicials

A continuació en aquesta part es tractaran tots els elements i dades que s'han hagut de tenir en compte per a realitzar el disseny del tren posterior, començant per la explicació dels paràmetres generals de la motocicleta i tenint en compte les restriccions per normativa que aplica la mateixa competició Motostudent, fins arribar a la geometria de la ePR02 que va acordar l'equip ePowered Racing abans de que cadascun dels departaments comencessin els seus respectius dissenys.

3.1. Principals paràmetres geomètrics de la motocicleta

A l'hora de dissenyar una motocicleta cal tenir en compte que la seva geometria general serà la que definirà el seu comportament, per aquest motiu, a l'inici de l'any 2019 quan es va iniciar el disseny del prototip ePR02 el departament mecànic de l'equip ePowered Racing es va reunir per acordar unes dimensions de la motocicleta, basant-se en els paràmetres de les motocicletes de competició de velocitat que tenien unes característiques de pes i rendiment similars al prototip que es volia fabricar i que estaven aconseguint els millors resultats en les seves respectives competicions.

A la figura que trobem continuació s'exposen els principals paràmetres que conformen la geometria de la motocicleta:



Il·lustració 13: Esquema dels paràmetres bàsics de la geometria de la motocicleta (Font: ePowered Racing)

Símbol	Paràmetre
P	Distància entre eixos
b	Distància entre l'eix posterior i es CdG
h	Alçada entre el terra i CdG
R _f	Radi roda davantera
R _r	Radi roda posterior
c	Angle de llançament
o	Offset de la direcció
T	Trail
f	Angle de transferència de masses

Taula 3: Paràmetres bàsics de la geometria de la motocicleta

3.1.1. Distància entre eixos (p)

És la distància que hi ha entre els eixos de les dues rodes en la direcció perpendicular als mateixos. Aquest paràmetre és el que més repercussió té en el caràcter de la motocicleta i, encara que per a plantejar la geometria inicial s'estableix com a fix, permet una petita variació d'entre 20 i 40 mm per a poder ajustar la posició de la roda posterior i d'aquesta manera admetre diferents relacions de transmissió i poder ajustar la tensió de la cadena. En motocicletes de característiques similars a la ePR02 els valors de batalla oscil·len entre els 1200 i 1400 mm.

Si es dona la situació de que la distància entre eixos és petita hi pot haver les següents conseqüències:

- Beneficia la agilitat de la motocicleta en els canvis de direcció al moment d'inclinar la motocicleta
- Empitjora l'estabilitat quan la motocicleta circula en línia recta
- Beneficia la transferència de pes
- Genera una força d'auto alineament de la direcció més petita
- Redueix els esforços en la estructura de la motocicleta ja que les distàncies i per tant els moments entre els punts que exerceixen força i les zones crítiques es veuen reduïdes.

3.1.2. Angle de llançament (c)

S'anomena angle de llançament a l'angle que hi ha entre l'eix de rotació de la direcció i l'eix vertical de coordenades de la motocicleta (il·lustració 15). El motiu principal pel qual existeix aquest

desalineament és el d'evitar vibracions del tren davanter en l'etapa de frenada, encara que també és un paràmetre a modificar per variar el comportament de la motocicleta.

Un angle de llançament massa gran ofereix a la motocicleta major estabilitat en recta, frenada i a altes velocitats però disminueix la seva agilitat en corba i a realitzar canvis de direcció, per aquest motiu la seva variació és mínima i es mesura en dècimes de grau. En motocicletes de tipus "sport" com el prototip del que es tracta aquest paràmetre es troba entre 21 i 25°.

3.1.3. Offset de direcció

És la distància que hi ha entre l'eix de la roda davantera en la direcció de l'angle de llançament i l'eix de rotació de la direcció de la motocicleta. Aquest offset es la suma de dos diferents segons la mecànica del tren davanter, el yoke offset (offset de la tija de direcció) i el leg offset (offset de la suspensió davantera) tal i com es veu a la il·lustració 14

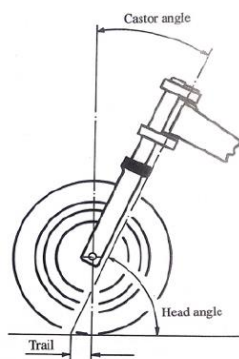


Il·lustració 14: Representació esquemàtica de l'offset de direcció (Font: ePowered Racing)

3.1.4. Trail (T)

És la distància en l'eix longitudinal de la motocicleta que hi ha entre el punt de contacte del pneumàtic amb el terra i el punt fictici de intersecció entre l'eix de direcció de la motocicleta i el terra. Aquest paràmetre està directament relacionat amb l'estabilitat de la motocicleta en línia recta, ja que, com el punt de contacte de la roda amb el terra i la direcció no estan alineades, es crea un moment d'auto

alineament de la direcció i per tant d'aquest paràmetre també dependrà l'esforça que haurà de fer el pilot per realitzar un canvi de direcció.



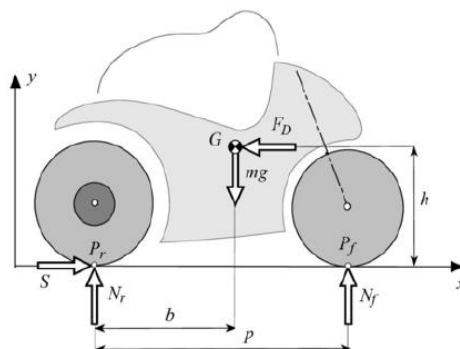
$$Trail = \frac{Rf * \sin(c) - o}{\cos(c)} \quad (\text{Eq.3.1})$$

Il·lustració 15: Representació esquemàtica del Trail (Font: epowered Racing)

3.1.5. Centre de Gravetat (CdG)

És la localització del centre de gravetat de la motocicleta (sense tenir en compte el pilot), que es determina amb dos paràmetres, la distància del terra fins al centre de gravetat (h) i la distància en l'eix longitudinal de la motocicleta entre el centre de la roda posterior i el centre de gravetat (b).

En aquest punt es considera que actuen les forces que es generen quan un cos amb certa massa és sotmès a certes acceleracions i en el cas de la motocicleta és un paràmetre determinant per al comportament tant en acceleració com en frenada encara que té un punt d'importància més elevat l'altura del CdG (h) més que la distància (b). En moltes ocasions també es determina la localització d'aquest punt mitjançant percentatges de massa de la motocicleta repartits entre la roda davantera i la posterior.

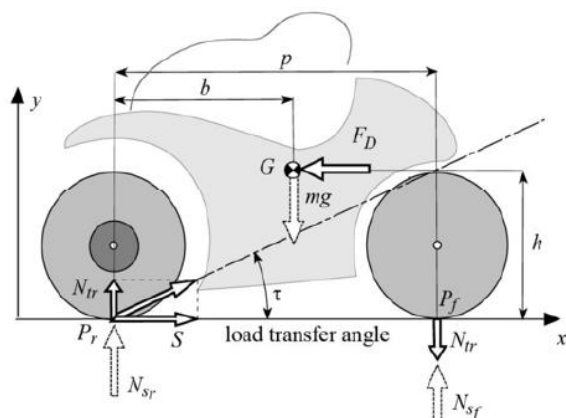


Il·lustració 16: Representació esquemàtica de la posició del centre de gravetat (Font: ePowered Racing)

3.1.6. Angle de transferència de pesos (f)

Aquesta angle és el que defineix la quantitat de pes de la motocicleta que es transfereix a la part davantera o a la part posterior en cas de frenada o acceleració respectivament, però, encara que la nomenclatura estàndard d'aquest paràmetre el relaciona amb la paraula pes, és una expressió incorrecta ja que el pes és l'acció de l'atracció de la força de gravetat sobre la massa de la motocicleta en aquest cas, i aquest pes no es transfereix de cap manera, per aquest motiu la expressió correcta és transferència de càrrega o "squat", ja que en el cas de frenada o acceleració aquesta es reparteix entre els dos pneumàtics depenent de cada situació i de les característiques de la motocicleta.

Una de les "normes" que ha de complir la transferència de càrrega, parlant en condicions estables, és que aquest fenomen sempre respectarà la quantitat de càrrega original que té la motocicleta, és a dir, que en cas de acceleració o frenada el repartiment de càrrega entre la roda davantera i la posterior es repartirà carregant en el primer cas el tren davanter i en el segon cas el posterior, però la suma de la càrrega en les dues rodes en tot moment haurà de ser la suma del pes de la motocicleta més el pilot i les forces aerodinàmiques que es donin en aquell moment. Si es dona el cas en què en una acceleració la roda davantera deixa de tocar el terra o en una frenada ho fa la posterior, significarà que en aquell instant tota la càrrega de la motocicleta passa a la roda que en aquell moment es troba en contacte i aquest cas habitualment és una situació de màxima tensió per al sistema que en aquell moment està treballant, per tant és necessari saber en quins casos es poden donar estes situacions i estudiar-los amb deteniment.



$$f = \tan^{-1} \frac{h}{p} \quad (\text{Eq.3.2})$$

Il·lustració 17: Representació esquemàtica de l'angle de transferència de càrrega (Font: ePowered Racing)

Per altra banda, també cal tenir en compte que les motocicletes experimenten els efectes de la transferència de càrrega d'una manera molt més significativa que altres vehicles, degut a la relació entre l'altura del centre de gravetat i la distància entre eixos, que habitualment, per la mateixa geometria de la motocicleta, és molt més gran que en casos com els automòbils o per exemple un Fòrmula1, que és exactament el cas contrari. Aquest fet és d'una rellevància important ja que la geometria del sistema de suspensió de la motocicleta, que és un dels sistemes que es dissenya en aquest treball, afecta directament a la distribució de forces dintre de la motocicleta estenent o comprimint la mateixa suspensió en funció de paràmetres externs al mateix sistema, com pot ser l'altura de CdG, la direcció i l'angle que segueix la cadena del sistema de propulsió i altres aspectes que s'explicaran més detalladament en l'apartat concret de la suspensió.

Per aquest motiu cal entendre que el control del sistema de suspensió és vital no només per oferir estabilitat a la motocicleta sinó també per controlar la transferència de pesos que aquesta pot experimentar en les diferents situacions que es poden donar al llarg d'una carrera, ja que una incorrecta gestió del squat pot derivar en un prototip que sigui impossible de pilotar de manera ràpida i eficient.

3.2. Reglament tècnic de la competició

Per a cada una de les edicions, l'organització de Motostudent estableix un reglament tècnic que conté la normativa de la competició. Amb aquest conjunt de normes l'organització s'assegura de restringir la infinita quantitat de possibilitats que hi ha dintre del disseny i la fabricació d'un prototip de motocicleta de velocitat, ja sigui de propulsió per motor de combustió o elèctrica, amb l'objectiu de que tots els equips universitaris treballin d'una manera mes o menys similar i d'aquesta manera la mateixa competició pugui ser equitativa, donant a possibilitat de que tots els equips puguin aconseguir les millors posicions ja sigui a l'apartat teòric com de competició pràctica.

Per aquest motiu la mateixa organització, amb el cost de la inscripció per a cada competició inclou una sèrie de components per a la motocicleta, com són el motor elèctric, el dispositiu de control d'aïllament del contenidor de bateries (IMD), un joc de pneumàtics i un joc de sistema de fre, que són d'ús obligat per a tots els equips i que garanteixen que totes les motocicletes compleixen les mateixes característiques bàsiques. També comentar que l'edició passada la competició també aportava un kit de suspensions tant davanteres com posteriors, que aquest any són d'elecció lliure i per tant impliquen un nou aspecte molt important que analitzar i sobre el que decidir dintre d'aquest treball.

Per tots aquests motius el primer pas per a analitzar els aspectes que poden reflectir en el sistema que es vol dissenyar és tenir en compte les restriccions i llibertats que aplica la normativa de la competició, per a saber amb detall què es pot fer i què no dintre dels límits de la normativa.

A continuació s'exposaran els diferents apartats de la normativa que tenen relació amb el sistema de suspensió o el braç basculant i que poden influir en el seu disseny.

3.2.1. Secció A / Article 4: Fabricació de la motocicleta

A.4.1 Fabricació del prototip

Els prototips participants a Motostudent han de ser creats, dissenyats i muntats pels estudiants registrats a l'equip sense la participació directe d'enginyers professionals, enginyers de competició, mecànics de competició, etc. L'equip es compromet amb la firma del document de conformitat amb l'organització i el reglament de la competició.

3.2.2. Secció B /Article 1 : Requisits tècnics del prototip i restriccions

B.1.2 Modificacions i reparacions

Un cop superades les verificacions (veure Secció E) i es validi el prototip per participar a la Competició MotoStudent, estarà totalment prohibida qualsevol modificació no reflectida en el present article sense la supervisió de l'Cos Tècnic de l'Organització. Abans de realitzar qualsevol modificació no reflectida s'haurà de posar en coneixement a l'Organització, que haurà de donar el vistiplau i tornar a inspeccionar el prototip després de la modificació.

Les modificacions permeses després de les verificacions tècniques, i que no comporten supervisió per part de l'Organització són:

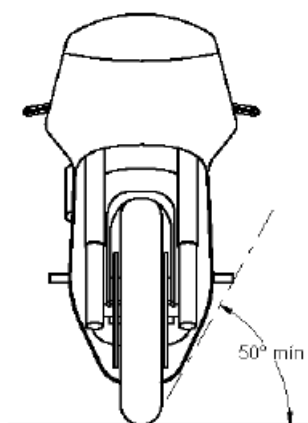
- Ajust de la transmissió secundària
- Ajust del sistema de fre
- Operacions i ajustos del sistema de adquisició de dades
- Ajust de la pressió dels pneumàtics
- Reposició de líquids
- Ajust de set-ups generals
- Ajustos de ficada a punt del motor

En cas que el prototip necessiti reparacions, aquestes hauran de ser aprovades per l'Organització. Un cop reparat el prototip, l'Organització realitzarà les verificacions pertinents abans de poder tornar a la Competició.

3.2.3. Secció B / Article 2: Requisits generals de disseny

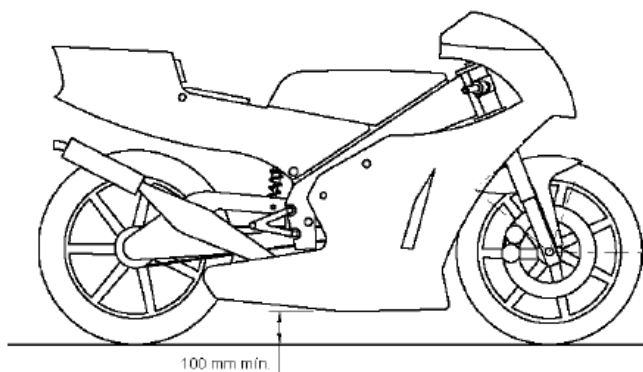
B.2.1 Dimensions

B.2.1.2 L'angle mínim d'inclinació lateral del prototip sense que cap element de la mateixa (exceptuant els pneumàtics) toqui el paviment ha de ser 50° . Aquesta mesura es realitzarà amb el prototip descarregat (és a dir, sense pilot) però amb tot l'equipament i líquids per al seu funcionament.



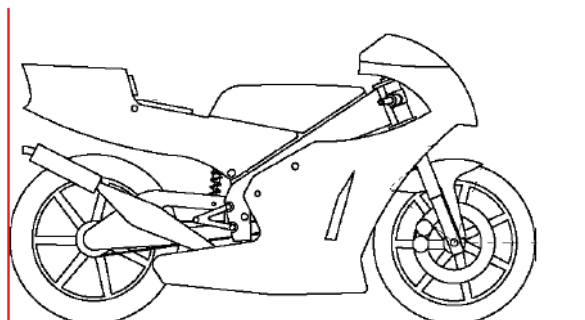
Il·lustració 18: Figura apartat B.2.1.2 normativa (Font: Motostudent)

B.2.1.3 La distància lliure a el paviment amb el prototip en posició vertical ha de ser d'un mínim de 100 mm en situació de repòs. Aquest mesurament es realitzarà amb el prototip descarregat (és a dir, sense pilot), però amb tot l'equipament i líquids per al seu funcionament.



Il·lustració 19: Figura apartat B.2.1.3 normativa (Font: Motostudent)

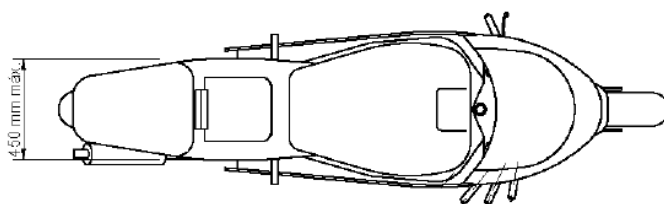
B.2.1.5 Límit posterior: Cap element del prototip podrà sobrepassar la línia tangent vertical traçada a la circumferència exterior del pneumàtic posterior.



Il·lustració 20: Figura apartat B.2.1.5 normativa (Font: Motostudent)

B.2.1.6 La banda de rodament dels pneumàtics ha de presentar una distància lliure mínima de 15 mm al llarg de tota la seva superfície a qualsevol element del prototip, en qualsevol posició de la mateixa i per a qualsevol reglatge de geometries.

B.2.1.7 L'amplada màxima de l'assentament no ha de sobrepassar els 450mm. No podrà sobresortir d'aquesta amplada cap altre element del prototip de l'assentament cap a darrere, excepte el sistema d'escapament per a motos de la categoria "MotoStudent Petrol".



Il·lustració 21: Figura apartat B.2.1.7 normativa (Font: Motostudent)

3.2.4. Secció B / Article 3: Xassis (estructura)

B.3.1 Disseny

No es permet l'ús d'un xassis comercial, ni tan sols una unitat modificada. Haurà de tractar d'un xassis prototip de disseny i fabricació pròpia.

S'engloba en aquest article el xassis principal, el sub-xassis i el basculant.

B.3.1.1 No hi ha limitacions en el tipus de disseny o materials utilitzats per a la fabricació de xassis, basculant o subxassis, sempre que el resultat compleixi amb la normativa imposada en el present Reglament.

B.3.1.2 En cas de dubte sobre la seguretat d'el disseny de xassis presentat, l'Organització podrà sol·licitar un informe justificatiu de seguretat que inclogui anàlisi pel mètode d'elements finits, simulacions o altres assajos demostratius.

B.3.2 Soldadures i unions

Està permesa la soldadura d'elements estructurals per qualsevol mitjà, però ha de resultar una estructura consistent.

B.3.2.1 En les estructures de tipus gelosia s'haurà de buscar la correcta triangulació en els nodes de l'estructura.



Ejemplo de triangulación correcta

Il·lustració 22: Figura apartat B.3.2.1 normativa (Font: Motostudent)

3.2.5. Secció B / Article 7: Sistema de suspensió

Els sistemes de suspensió són de configuració lliure, llevat de les pautes exposades a continuació.

B.7.1 Aspectes generals

B.7.1.1 Estan prohibits aquells sistemes de suspensió actius o semi-actius i / o controls electrònics de qualsevol paràmetre de la suspensió, incloent aquells que controlin la regulació d'altura.

B.7.1.2 Els reglatges de suspensió només poden ser realitzats de manera manual i mitjançant ajustos mecànics o hidràulics.

B.7.1.3 L'Organització podrà no acceptar la participació d'un prototip el sistema de suspensió es determini perillós per a la seva participació en les proves en pista.

B.7.3 Suspensió posterior

B.7.3.1 Es permeten sistemes de suspensió del darrere de qualsevol tipus. Es permeten tant sistemes comercials com de fabricació pròpia o modificats.

B.7.3.2 El conjunt de suspensió del darrere podrà disposar de sistemes d'ajust mecànics o hidràulics, com ara regulació de pre-càrrega de la molla, regulació de compressió, extensió o rebot.

3.2.6. Secció B / Article 9: Llantes i pneumàtics

B.9.1 Llantes

Les llantes seran d'elecció lliure per part de cada equip

B.9.1.1 Les mesures de les llantes (considerant les zones habilitades per a l'ancoratge de pneumàtics) hauran de ser:

- Llanta davantera: 2,5" x 17"
- Llanta davantera: 3,5" x 17"

B.9.1.2 No es permeten llantes fabricades amb "composites" (com fibra de carboni o fibra de vidre reforçada). Els únics materials permesos per a les llantes són acer, alumini o magnesi.

B.9.1.3 Està permès l'ús de protectors de niló en els extrems de l'eix de roda davant de possibles caigudes. Aquests protectors han de ser arrodonits amb un diàmetre igual o superior a l'eix utilitzat.

B.9.1.4 Els eixos de roda no podran sobresortir de la seva allotjament en els seus extrems més de 30mm. No es consideren en aquesta mesura possibles protectors de niló (Veure Art. B.9.1.3).

B.9.2 Pneumàtics

Només els pneumàtics procedents de l'Subministrador Oficial en l'any vigent es poden utilitzar en MotoStudent. L'Organització lliurarà un joc de "slicks" de sec (davanter i posterior) a cada equip en el Kit MotoStudent.

La informació tècnica relativa a el set de pneumàtics oficials serà remesa a tots els equips participants en la Competició.

B.9.2.1 Si es volen més pneumàtics tant de sec com de pluja es podran adquirir a través de

l'Organització. El muntatge de sets durant l'Esdeveniment Final estarà limitat a 1 set addicional lliurat inicialment.

B.9.2.2 Està permès l'ús d'escalfadors de pneumàtics.

3.2.7. Secció E Verificacions prèvies / Article 3: Verificacions estàtiques

E.3.3 Banc d'assaig de l'estructura

Si l'Organització ho considera necessari, es podrà sotmetre a el prototip a una sèrie de forces horitzontals i verticals en un banc d'assajos per comprovar rigidesa del xassís, correcte acoblament, geometries i treball de suspensions.

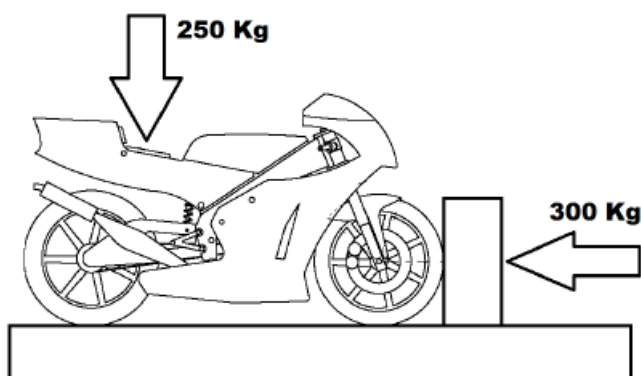
E.3.3.1 S'aplicaran sobre el prototip les següents forces:

- Càrrega horitzontal progressiva en roda davantera: 300kg
- Càrrega vertical progressiva sobre el seient: 250kg

E.3.3.2 Aquestes càrregues s'aplicaran de manera alternativa i progressiva, verificant que en situació de compressió no es produeixen interferències entre elements, així com que tots els sistemes que integren la part cicle del prototip treballen adequadament. Al retirar l'esforç es verificarà que la geometria original no ha patit deformacions, així com que no hagi aparegut cap fissura en els components estructurals o elements d'unió. Perquè el prototip es consideri apte en aquesta prova ha de complir les disposicions descrites.

E.3.3.3 Descripció gràfica de la prova:





Esquema de aplicación de cargas

Il·lustració 23: Figura apartat E.3.3.3 normativa (Font: Motostudent)

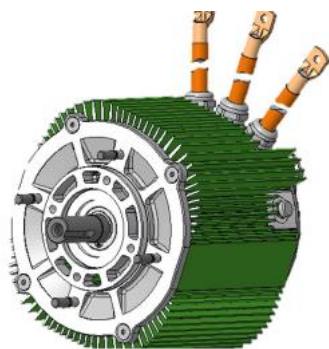
3.3. Especificacions dels components estandarditzats

Com s'ha explicat anteriorment, l'organització imposa que s'han d'utilitzar certs components estandarditzats que, per la importància dels mateixos, repercuteixen directament en el comportament de la motocicleta i en la seva seguretat i d'aquesta manera garanteixen una certa igualtat entre els prototips dels equips que ajuda a que la competició pugui ser emocionant i qualsevol equip pugui tenir opció d'aconseguir uns bons resultats.

A continuació s'exposen breument les característiques d'aquests components que tenen relació amb la part mecànica de la motocicleta i per tant amb el sistema que es tracta en aquest treball:

3.3.1. Motor

A continuació podem veure una imatge del motor elèctric que propulsa el prototip ePR02 amb algunes de les seves especificacions més destacables:



Il·lustració 24: Motor Engiro MS 1920 (Font: Motostudent)

ENGIRO-MS1920	
Motor trifàsic d'ímants permanents síncron	
Paràmetre	
Parell nominal (Nm)	22
Potència nominal (Kw)	13
Velocitat nominal (rpm)	5720
Parell nominal (Nm)	95
Potència nominal (Kw)	42
Velocitat nominal (rpm)	8000
Pes (Kg)	20
Temperatura de treball (°)	20-45
Temperatura màxima (°)	120

Taula 4: Motor Engiro MS 1920 (Font: Motostudent)

3.3.2. Pneumàtics

A diferència de la edició anterior en la que es va competir amb pneumàtics de la marca Dunlop, aquest any la marca encarregada d'aportar aquest component és Bridgeston, la qual també s'utilitza a les millors competicions de motociclisme d'arreu del món. A continuació les seves especificacions:



Il·lustració 25: Pneumatics Bridgeston V02 GP3 (Font: Motostudent)

Bridgeston V02 GP3		
Paràmetre	Pneumàtic davanter	Pneumàtic posterior
Tamany	90/580 R17	120/600 R17
Tamany del flanc lateral (°)	2,5	3,5
Amplada (mm)	87	113
Diàmetre al centre (mm)	576	602
Pes (Kg)	2,9	4
Pressió mínima i màxima en temperatura (bar)	1,9-2,2	1,6-1,9
Pressió ideal de treball (bar)	2	1,7
Compost	Mig	Mig

Taula 5: Pneumatics Bridgeston V02 GP3 (Font: Motostudent)

3.3.3. Sistema de fre

En aquest cas el patrocinador de la competició que s'encarrega de proporcionar el sistema de fre és JJuan Racing, una empresa reconeguda en el sector per la seva qualitat i eficiència. El kit que aporta

per a poder utilitzar amb el prototip inclou pinces de fre davantera i posterior i el seu respectiu sistema hidràulic per a poder accionar-les.

Pinça davantera radial



Pinça davantera radial		
	Paràmetre	
Paràmetres generals	Distància entre eixos (mm)	100
	Offset (mm)	30
	Material	Alumini per fundició
Configuració i treball	Pes amb pastilles (Kg)	1,05
	Configuració i tamany del pistó (mm)	2 x diam.34 + 2 x diam.30
	Màxima pressió de treball (bar)	70
	Líquid de fre	DOT 4
Discs	Grossor del disc (mm)	4,5 - 5
	Tolerància de posició del disc (mm)	±0,5
	Diàmetre màxim del disc (mm)	320
Pastilla de fre	Models acceptats	SBS - SI- 100HH
	Volum per al desgast de les pastilles (cm ³)	16,7 cm ³
	Superfície (cm ²)	22,5

Il·lustració 26: J.Juan Pinça davantera radial (Font: Motostudent) **Taula 6:** J.Juan Pinça davantera radial (Font: Motostudent)

Pinça posterior axial



Pinça posterior axial		
	Paràmetre	
Paràmetres generals	Tipo	Axial fixa
	Material	Alumini per fundició
Configuració i treball	Configuració i tamany del pistó (mm)	2 x diam.32
	Màxima pressió de treball (bar)	70
	Líquid de fre	DOT 4
Discs	Grossor del disc (mm)	4,5
	Tolerància de posició del disc (mm)	0,5
	Diàmetre màxim del disc (mm)	260
Pastilla de fre	Models acceptats	SBS - RQ3- HH
	Superfície (cm ²)	13

Il·lustració 27: J.Juan Pinça posterior axial (Font: Motostudent) **Taula 7:** J.Juan Pinça posterior axial (Font: Motostudent)

Bomba radial de fre davanters



Il·lustració 28: J.Juan bomba radial de fre davantera (Font: Motostudent)

Bomba de fre posterior



Il·lustració 29: J.Juan Bomba de fre posterior (Font: Motostudent)

Bomba radial de fre davantera		
Paràmetre		
Paràmetres generals	Tipo	Cilindre mestre radial
	Material	Alumini per fundició
	Pes amb pastilles (Kg)	0,37
Configuració i treball	Diàmetre del pistó (mm)	16
	Tamany de la maneta	194 x 20
Bomba de fre posterior		
Paràmetre		
Paràmetres generals	Hardware	Acer competició
	Material	Alumini per fundició
Configuració i treball	Diàmetre del pistó (mm)	12,7
	Pistó i palanca d'accionament (mm)	0,5 - 1
	Desplaçament mort del pistó	0,8 - 1,5
Dipòsit i fluids	Tipo	dipòsit de poliamida
	Volum (cm3)	15
	Líquid de fre	DOT 4

Taula 9: J.Juan Bomba de fre posterior (Font: Motostudent)

3.4. Paràmetres geomètrics ePR02

Un cop analitzats tots els paràmetres geomètrics que poden influir significativament en el comportament de la motocicleta i que determinaran el caràcter d'aquesta, el conjunt del departament mecànic d'ePowered Racing es va reunir per ficar idees en comú i decidir quina seria la geometria base del prototip.

Aquest es un procés llarg i costós, ja que tots els departaments encarregats dels diferents sistemes de la motocicleta presenten els seus requeriments sobre la seva part de la geometria per separat, en funció dels seus estudis i anàlisi particulars per aconseguir el comportament òptim. Amb aquesta multitud de condicions el repte es troba en aconseguir encaixar totes les peces del trencaclosques mantenint la visió de la geometria general de la motocicleta, i tenint en compte l'espai necessari per a tots els components de la motocicleta que pertanyen a la part elèctrica i electrònica i que són imprescindibles en un prototip d'aquest tipus.

En aquest punt del disseny és vital la comunicació entre diferents departaments per aconseguir que tots els sistemes, que es troben en constant evolució, puguin exercir la seva funció encaixant amb tots

els altres amb els que coincideix dintre del prototip, i per aquest motiu els paràmetres bàsics de la motocicleta es van variant, des del primer moment en que es plantegen uns originals en funció d'exemples de motocicletes similars, fins que s'arriba a la configuració definitiva del prototip.

A la taula següent es presenten els paràmetres de la geometria de la ePRO2:

Geometria ePR 02		
Paràmetre	Valor	Unitats
Batalla (p)	1350	mm
Angle de llançament (ϵ)	24	°
Trail(a)	105	mm
Offset de direcció(d)	27	mm
Angle de basculant (Φ)	13,5	°
Longitud del basculant (L_b)	519,5	mm
Altura de CdG(h)	472,1	mm
Transferència de pesos	52%F 48%R	

Taula 10: Paràmetres geomètrics ePRO2 (Font: ePowered Racing)

4. Desenvolupament del sistema de suspensió

Un dels reptes més grans que s'han d'afrontar quan es comença un disseny des de zero és decidir en quina direcció treballar quan l'únic del que es disposa en aquell moment és de la motivació per assolir els objectius de la millor manera possible. En el cas del sistema de suspensió, es va començar amb el plantejament de totes les possibilitats amb l'objectiu d'aconseguir la millor opció per al prototip ePR02 i després de l'anàlisi d'alternatives que podem trobar al capítol 2.1 d'aquest treball, es va decidir que el sistema que aportaria el comportament que es buscava seria el de suspensió de tipus mono-amortidor amb bieletes.

Un cop presa aquesta decisió, el següent pas consistia en adoptar un tipus estàndard de sistema amb bieletes que pogués encaixar en geometria i punts de fixació amb la resta d'elements de la motocicleta i a partir d'aquí treballar en el desenvolupament de la geometria concreta de les bieletes, braç basculant i amortidor per aconseguir el comportament desitjat.

El problema es va presentar amb el primer plantejament de l'estructura i disposició dels elements de la motocicleta. Al tractar-se d'un prototip de motocicleta elèctrica, aquest disposa de certs elements que no es troben en una motocicleta de combustió habitual. El fet de comptar amb un contenidor de bateries considerablement gran (del qual no es pot adaptar la geometria fàcilment degut a la forma de les cel·les internes), un motor trifàsic amb el seu corresponent inversor (transforma el corrent de continu a altern i gestiona la potència entregada al motor) i una caixa de canvis de 3 velocitats entre els principals sistemes, va fer que l'espai que les motocicletes actuals de caràcter esportiu utilitzen per al sistema de suspensió quedés totalment ocupat.

Per aquest motiu es va haver de plantejar un sistema de suspensió alternatiu que permetés aconseguir un comportament i unes relacions de palanques similars a les que presentaria un sistema comú, i es va arribar a una configuració de suspensió que presentava l'amortidor en disposició horitzontal subjectat per unes bieletes fixades a xassís, les quals estaven connectades al braç basculant per uns tirants d'alumini regulables.

Un cop establerta la geometria que podria tenir la suspensió i el comportament teòric que aquesta havia de tenir, es va procedir a modelitzar el sistema mitjançant una representació en corbes 3D, de la qual es podien treure dades sobre els desplaçaments i forces i amb la que es va seguir un procés iteratiu per arribar a la opció definitiva.

4.1. Definició de sol·licitacions

En aquest apartat s'exposaran les càrregues a les quals es sotmetrà l'estructura i el sistema de suspensió en les diferents situacions que es consideren com a límit en la conducció d'una motocicleta tipus sport de competició.

Degut a que l'antiga edició de Motostudent els prototip de l'equip ePowered Racing no comptava amb dispositius de recopilació ni adquisició de dades, aquests valors s'han calculat pel departament encarregat del disseny del xassís de manera teòrica, a partir d'aproximacions com el pes de la motocicleta, el pes del pilot, coeficients de fricció, etc. que s'han obtingut gràcies a la cerca d'informació i que s'ha procurat que siguin el mes pròxims a la realitat possible.

A continuació s'exposen les condicions de cada una d'aquestes situacions que tenen relació amb el tren posterior i poden ser un cas limitant, en cadascuna d'elles es considera resistència a la rodadura nul·la i forces aerodinàmiques de sustentació i drag nul·les:

4.1.1. Màxima acceleració

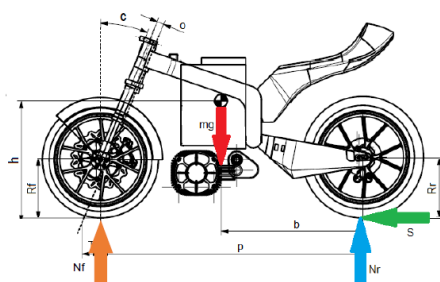
Per calcular les forces que es generen en el cas de màxima acceleració es tenen en compte els dos casos límit següents:

- Pèrdua de tracció de la roda posterior
- Aixecament de la roda davantera

Aquests són els successos que s'han d'evitar, ja que s'estaria perdent eficiència en el funcionament del prototip. Així doncs, tenint en compte aquests dos casos i que per característiques intrínseques del motor i del sistema de transmissió la màxima acceleració es produeix a velocitat nul·la, s'han calculat les forces que es donen en cada cas per determinar el cas limitant.

4.1.1.1. Força limitant que provoca que la roda posterior patini

Es dona en el cas de l'acceleració des de velocitat 0, quan la roda posterior perd tracció i comença a rodar sense transmetre el moviment a la resta del conjunt.



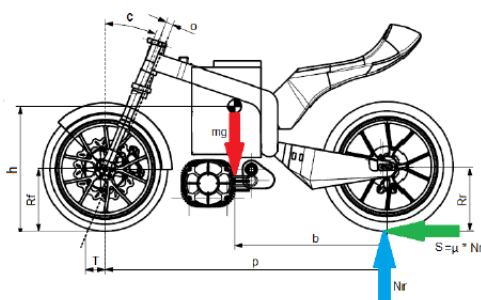
Il·lustració 30: Diagrama d'equilibri lliscament roda posterior (Font ePowered Racing)

Lliscament roda posterior acceleració		
Força d'empenta (S)	Normal roda davantera (Nf)	Normal roda posterior (Nr)
2350,33 N	183,11 N	2043,76 N

Taula 11: Taula lliscament roda posterior (Font ePowered Racing)

4.1.1.2. Força limitant que provoca que la roda davantera s'aixequi

Es dona en el cas de l'acceleració des de velocitat 0, quan la roda davantera perd tracció degut a la transferència de pesos i la motocicleta pivota sobre la roda posterior.



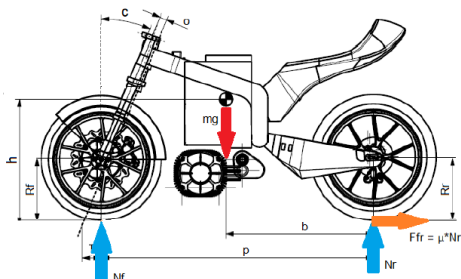
Il·lustració 31: Diagrama d'equilibri aixecament roda davantera (Font ePowered Racing)

Aixecament roda davantera acceleració	
Força d'empenta (S)	Normal roda posterior (Nr)
2684,3 N	2226,9 N

Taula 12: Diagrama d'equilibri aixecament roda davantera (Font ePowered Racing)

4.1.2. Frenada màxima roda posterior

En aquest punt la roda posterior comença a patinar degut a que la força màxima produïda per la frenada del tren posterior és superior a la força de fricció que hi ha entre el terra i el pneumàtic.



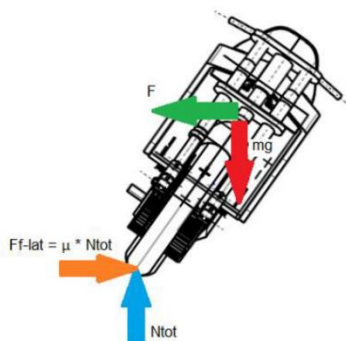
Il·lustració 32: Diagrama d'equilibri lliscament roda posterior frenada (Font ePowered Racing)

Lliscament roda posterior frenada		
Força frenada (Ffr)	Normal roda davantera (Nf)	Normal roda posterior (Nr)
767,55	1420,46 N	639,63

Taula 13: Taula lliscament roda posterior frenada (Font ePowered Racing)

4.1.3. Corba al límit de fricció

En aquest cas la motocicleta es troba al centre de la corba en una situació estable. Es considera un gir homogeni amb angle i radi de la corba constant i també s'aplica la condició que totes les forces externes a la motocicleta que actuen sobre ella s'apliquen al seu centre de gravetat. En aquest cas el oment més restrictiu també es troba quan la força lateral arriba a ser igual o superior a la força de fricció, n es produiria el moment de la caiguda.



Il·lustració 33: Diagrama d'equilibri corba al límit de lliscament (Font ePowered Racing)

Lliscament roda posterior acceleració		
Força d'empenta (S)	Normal roda davantera (Nf)	Normal roda posterior (Nr)
2350,33 N	183,11 N	2043,76 N

Taula 14: Taula corba al límit de lliscament (Font ePowered Racing)

%Front	%Rear	N front	Nrear	Fcfront	Fcrear
53%	47%	1091,8 N	968,2 N	1255,3 N	1112,7 N

Taula 15: Taula descomposició corba al límit de lliscament (Font ePowered Racing)

4.2. Estudi d'estabilitat i freqüències naturals

L'aspecte fonamental del que s'encarrega el sistema de suspensió és d'aportar estabilitat al conjunt que formen la motocicleta i el pilot, establint així una situació de confort amb la que el pilot es pot sentir còmode i centrar-se en la resta d'aspectes de la motocicleta que li permetran ser més ràpid en pista.

Idealment el sistema òptim és aquell que no transmet cap moviment vertical de la roda cap a la resta de la motocicleta que es troba per damunt dels sistemes de suspensió davanter i posterior, és a dir, l'objectiu és que el pilot experimenti la menor acceleració vertical possible. Aquest fet és impossible d'aconseguir, per aquest motiu entra en joc la freqüència del moviment que sent el pilot o també anomenada freqüència natural.

Per entendre aquest terme, primer s'ha d'explicar la diferència entre el que s'anomenen masses suspeses i masses no suspeses de la motocicleta. En l'aspecte relatiu al moviment intern de la motocicleta, en situació de conducció es pot diferenciar el moviment que té la part superior de la motocicleta, a la que anomenem masses suspeses (engloba tota la part de la motocicleta que es troba per damunt dels sistemes de suspensió), i la part inferior, la qual formen els sistemes de suspensió davanter i posterior, les dues rodes i els sistemes de fre que es mouen conjuntament amb les rodes.

Aquest moviment que experimenten les rodes i en general les masses no suspeses ve provocat pel fet de que aquestes es troben en contacte amb el terra i la motocicleta s'està movent en l'espai, per tant, en cas de que no hi haguessin sistemes de suspensió tota la motocicleta seguiria aquest moviment copiant les imperfeccions de la calçada i en cas de que hi hagués una irregularitat considerable al terra alguna de les dues rodes perdria adherència i per tant tracció.

L'objectiu dels sistemes de suspensió tant davanter com posterior no només es mantenir les dues rodes de la motocicleta en contacte amb el terra en qualsevol situació, sinó també establir una diferència de moviment entre les masses suspeses i les no suspeses de tal manera que la part inferior de la motocicleta pugui seguir la forma del traçat i la part superior segueixi estable treballant a una freqüència d'oscil·lació diferent.

Un cop entès aquest comportament de la motocicleta, l'objectiu és trobar la freqüència natural òptima a la que es vol que es trobi el pilot en condicions normals. Per a aconseguir-ho s'ha buscat en diferents documents i llibres dedicats a l'estudi de la dinàmica del motociclisme.

Frequency (c/s, Hz)	Comments
0.5 → 1.0	Tends to promote motion sickness.
1.0 → 2.0	Generally considered the most comfortable.
> 2.0	The ride is usually perceived as being hard or harsh.
5 → 20	These frequencies have various discomforting and sometimes damaging effects on different parts of the body.

Taula 16: Taula de sensacions de conducció en funció de la freqüència (Font: Foale)

Tipus de vehicles segons freqüència	
Freqüència	Tipus de vehicle
0,7 - 1,5 Hz	Cotxes d'ús comú
1,5 - 2,5 Hz	Vehicles turismes de competició en rallyes
2,5 - 4 Hz	Vehicles tipus GT
4 - 6 Hz	Vehicles d'alta càrrega aerodinàmica (F1)

Taula 17: Taula de freqüències naturals segons tipus de vehicle (Font: ePowered)

Després de valorar la documentació obtinguda i també consultar amb enginyers dedicats al món del motociclisme es va decidir anar a buscar una freqüència de 2,3Hz, ja que es tracta d'una motocicleta de competició que tindrà la seva vida útil dintre d'una pista amb l'asfalt ben cuidat. D'aquesta manera encara que pot ser una freqüència que pugui semblar rígida per al pilot, es troba en un rang positiu per a la resta de prestacions de la motocicleta i també cal tenir en compte que es tracta d'una motocicleta de competició en la qual la comoditat no és l'objectiu principal.

Per aconseguir la freqüència escollida seguim la fórmula que es presenta a continuació on trobem la freqüència natural (f_r), les masses suspeses de la motocicleta (m_{sm}) calculades a partir de la suma de tots els elements que es suposava que tindria la motocicleta mitjançant eines CAD i finalment el Motion Ratio (MR) que es calcula a partir de la relació entre el moviment vertical de la roda i la compressió de l'amortidor.

$$K_s = 4 * \pi^2 * fr^2 * m_{sm} * MR^2 \quad (\text{Eq. 4.1})$$

D'aquesta manera tenint controlat el conjunt de masses suspeses i sabent la relació de compressió que ens interessa podem calcular la rigidesa de la molla que necessitarem per al nostre amortidor, i l'únic que hem de tenir en compte a l'hora de dissenyar les relacions de palanques és que tot el moviment compleixi aquestes condicions que ara hem imposat.

Dades freqüència estable	
Paràmetre	Valor
Constant de rigidesa de molla (Ks)	84,42 KN*m
Freqüència natural (fr)	2,29 Hz
Masses suspeses de la motocicleta i pilot (msm)	85 Kg
Motion ratio (MR)	2,18

Taula 18: Recull de dades per al càlcul de la freqüència natural (Font: ePowered)

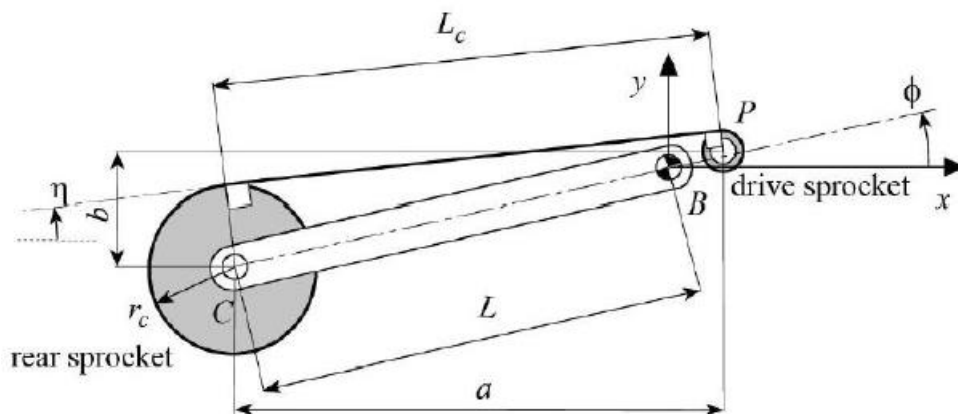
4.3. Anàlisi del tren posterior i la transferència de càrrega (squat)

Tenint en compte la importància que suposa la transferència de càrrega per a la conducció de la motocicleta, tal i com s'explica a l'apartat 3.1.6 d'aquest treball, és necessari analitzar els efectes que el tren posterior de la motocicleta té sobre aquest i aconseguir que la repercussió que obté la motocicleta en l'aspecte de la transferència de càrrega degut a la geometria de la motocicleta sigui compatible amb la conducció i estabilitat que volem aconseguir.

Al llarg de la evolució del motociclisme s'ha investigat molt sobre aquest aspecte i a mesura que la tècnica de les motocicletes i els seus sistemes anaven evolucionant, també es valorava els efectes que aquestes modificacions tenien sobre la transferència de càrrega en la motocicleta. Per aquest motiu és sabut que el sistema de transmissió de potència habitual en les motocicletes tipus sport, que és la relació de transmissió mitjançant cadena, provoca un efecte en la transferència de pesos que tendeix a impedir la compressió de la suspensió, és a dir, els moments generats per les forces de la cadena i la relació de palanques del braç basculant tendeixen a evitar que es transfereixi el pes cap enrere en el moment de l'acceleració.

Tot i la influència de les forces de la cadena, la motocicleta seguirà comprimint la suspensió a mesura que la roda davantera es descarrega, i a mesura que la suspensió es comprimirà els moments generats per les forces de la cadena oposaran menys resistència a la compressió fins que arribarà un punt en què la afavoriran. Aquest efecte s'anomena anti-squat (oposició a la transferència de càrrega) i es pot

quantificar mitjançant una corba que es valora en percentatge, la qual es calcula amb les fórmules que es presentaran a continuació, seguint el diagrama següent:



- Diàmetre primitiu:

$$\varnothing_{\text{primitiu}} = m * \csc\left(\frac{180}{z}\right) \quad (\text{Eq. 4.1})$$

- Relació de transmissió:

$$i = \frac{z_2}{z_1} \quad (\text{Eq. 4.2})$$

- Longitud de cadena:

$$L_c = L_b * \cos\left(90 - \left(\arccos\left(\frac{\varnothing_{\text{corona}} - \varnothing_{\text{piñó}}}{2LB}\right)\right)\right) \quad (\text{Eq. 4.3})$$

- Distància vertical entre eix de basculant i eix de roda:

$$b_B = \sin(\phi_B) * L_c \quad (\text{Eq. 4.4})$$

- Angle de la cadena respecte el basculant:

$$\eta = \tan^{-1}\left(\frac{b_B - \left(\frac{\varnothing_{\text{corona}} - \varnothing_{\text{piñó}}}{2}\right)}{L_c}\right) \quad (\text{Eq. 4.5})$$

- Valor anti-squat:

$$R_{max} = \frac{h * \cos \Phi B}{p * (\sin \Phi B + \frac{Rr}{\frac{\emptyset c}{2}} * \sin(\Phi B - \eta))} \quad (\text{Eq. 4.6})$$

- Relació anti-squat:

$$Rr = \frac{R_{max}}{R_{min}} \quad (\text{Eq. 4.7})$$

- % Anti-squat:

$$\% \text{ Anti - squat} = 100 + (1 - R) * 100 \quad (\text{Eq. 4.8})$$

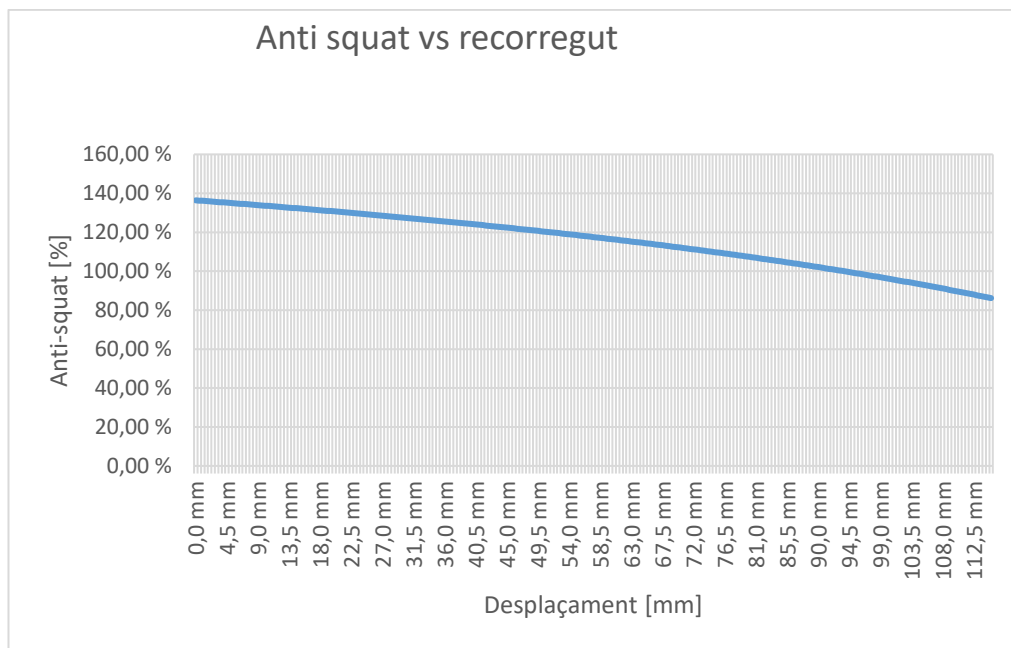
- Tensió cadena:

$$T_{cadena} = \frac{115 * (\frac{\emptyset_{roda}}{2})}{\frac{\emptyset_{corona}}{2}} \quad (\text{Eq. 4.9})$$

Amb aquestes fórmules i les dades aportades a continuació sobre la geometria de la suspensió, mitjançant el programa de càlcul excel aconseguirem representar la corba d'anti-squat de la motocicleta, la taula de la qual trobarem als annexos.

Dades càlcul %anti-squat	
Paràmetre	Valor
Pas cadena	12,7
∅ piñó	65,1 mm
∅ corona	198,22 mm
Longitud Basculant	519,5 mm
Batalla	13550 mm
Angle ∅ Basculant	13,5 °
∅ Roda posterior	601,3 mm
Altura pinó sortida respecte basculant	0,4 mm
Longitud horitzontal piñó sortida respecte eix de basculant	65,56 mm

Taula 19: Dades per al càlcul del % d'anti-squat (Font: ePowered Racing)



Il·lustració 34: Gràfic del % d'anti-squat vs recorregut de suspensió (Font: ePowered Racing)

En el gràfic superior podem veure la corba del percentatge d'anti-squat que tenim al llarg del recorregut de la suspensió, amb la configuració base de relacions de pinyó i corona que el departament de caixa de canvis ha definit com a òptim. Aquesta informació és molt útil ja que en una situació de competició en la que hi ha proves de caràcter molt diferent, com és el cas de Motostudent, que requereix una prova d'acceleració, una d'agilitat, una de frenada i una carrera, amb aquesta informació l'equip pot veure representat el comportament de la motocicleta pel que fa a la transferència de càrrega i canviar els paràmetres de la motocicleta en funció del seu interès.

Com podem veure, la gràfica comença per damunt del 100%, aproximadament sobre el 135% d'anti-squat, aquest fet indica que en l'inici de la compressió les forces generades pel sistema de transmissió actuen en contra de la mateixa compressió de l'amortidor. A mesura que la suspensió és comprimeix la mateixa relació de transmissió exerceix menys força per impedir la compressió, fins que arriba el punt en què passa d'oposar-se a afavorir el moviment, és el punt on trobem la corba al 100% d'anti-squat.

Com a situació ideal, el punt on trobem el 100% d'anti-squat hauria de trobar-se un poc més avant de la meitat del recorregut de la suspensió, aproximadament sobre els 70 mm de compressió, que és la zona on el pilot es troba en corba i necessita la major estabilitat. En el cas de la ePR02, la geometria genera una mica massa d'anti-squat, com es pot veure a la gràfica. Aquest fet es deu a que per la poca disponibilitat d'espai a la mateixa motocicleta, la caixa de canvis s'ha hagut de situar massa cap avall en relació a l'eix de basculant, que és el punt de pivot, i ha generat que la motocicleta tingui menys transferència de càrrega de la que es va calcular de manera teòrica en un inici.

Aquest, juntament amb la necessitat de poder variar el comportament de la motocicleta, és un dels motius pels quals es va plantejar un sistema de fixació d'eix de basculant a xassís variable, que permetia variar fins a 10 mm l'altura de l'eix del basculant, variant així la posició relativa entre el pinyó de sortida de caixa i l'eix del basculant. Amb aquestes variacions obteníem el següent canvi de geometria:



Il·lustració 35: Sistema de variació d'altura per eix de basculant (Font: ePowered Racing)

Variació altura eix basculant (mm)	Angle de basculant (°)	Batalla (mm)
5	14,07	1348,77
2,5	13,78	1349,39
0	13,5	1350
-2,5	13,22	1350,59
-5	12,93	1351,17

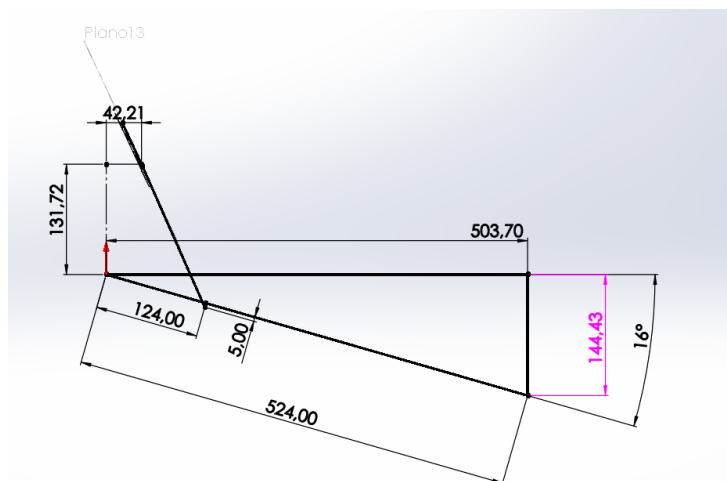
Taula 20: Taula de variació geometria per fixació d'eix de basculant (Font: ePowered Racing)

4.4. Definició de geometria i corbes de comportament

Finalment, amb la informació recopilada en els apartats anteriors l'objectiu és aconseguir una geometria que compleixi les condicions que hem establert en l'apartat 4.2 sobre la relació entre el moviment de la roda i la constant de la molla que s'ha d'utilitzar, per a poder mantenir la freqüència natural que s'ha estudiat. Per altra banda, tenint en compte que la posició de la caixa de canvis i el centre de gravetat objectiu de la motocicleta ja estan definits, s'ha de procurar mantenir la geometria del braç basculant i la relació de transmissió per a respectar la corba d'anti-squat que s'ha definit com a definitiva.

Per a realitzar aquest procés de passar de les dades objectiu al sistema de suspensió definitiu s'ha decidit optar per la modelització en 3D de la geometria, i un cop definida la geometria ja només cal que els elements que formen la suspensió formin el sistema igual que l'estructura plantejada en corbes 3D, per assegurar que el comportament real sigui el que s'ha estudiat.

Per aconseguir-ho s'han tingut en compte les següents dades:



Il·lustració 37: Modelització del sistema de suspensió amb corbes 3D Solidworks 2 (Font: ePowered Racing)

Amb aquest disseny inicial el que s'ha fet ha estat seguir un procés iteratiu variant la geometria de les corbes en 3D que representen les bieletes, fins a aconseguir una geometria que s'adaptés a la relació de moviment entre la roda i la compressió de l'amortidor. Posteriorment, amb aquesta geometria aconseguida, el següent pas és exportar les dades de compressió entre roda i amortidor i realitzar els pertinents càlculs per arribar a tenir la comparativa entre la força aplicada a la roda i la força exercida a l'amortidor, o altres paràmetres com la rigidesa a la roda en funció de la compressió, etc.

A continuació s'exposen els càlculs realitzats, senzills però necessaris per poder interpretar les dades:

- Motion Ratio (Relació entre la compressió de roda i de l'amortidor):

$$MR = \frac{\text{Avanç Basculant}}{\text{Avanç Amortidor}} \quad (\text{Eq.4.1})$$

- Força que genera l'amortidor:

$$F_{\text{amort.}} = (L_{\text{amort}} * K_{\text{molla}}) + (L_{\text{precarr.}} * K_{\text{molla}}) \quad (\text{Eq. 4.1})$$

- Wheel rate (rigidesa a roda)

$$W_r = \left(\frac{K_{\text{molla}}}{MR^2} \right) * 0,909 \quad (\text{Eq. 4.1})$$

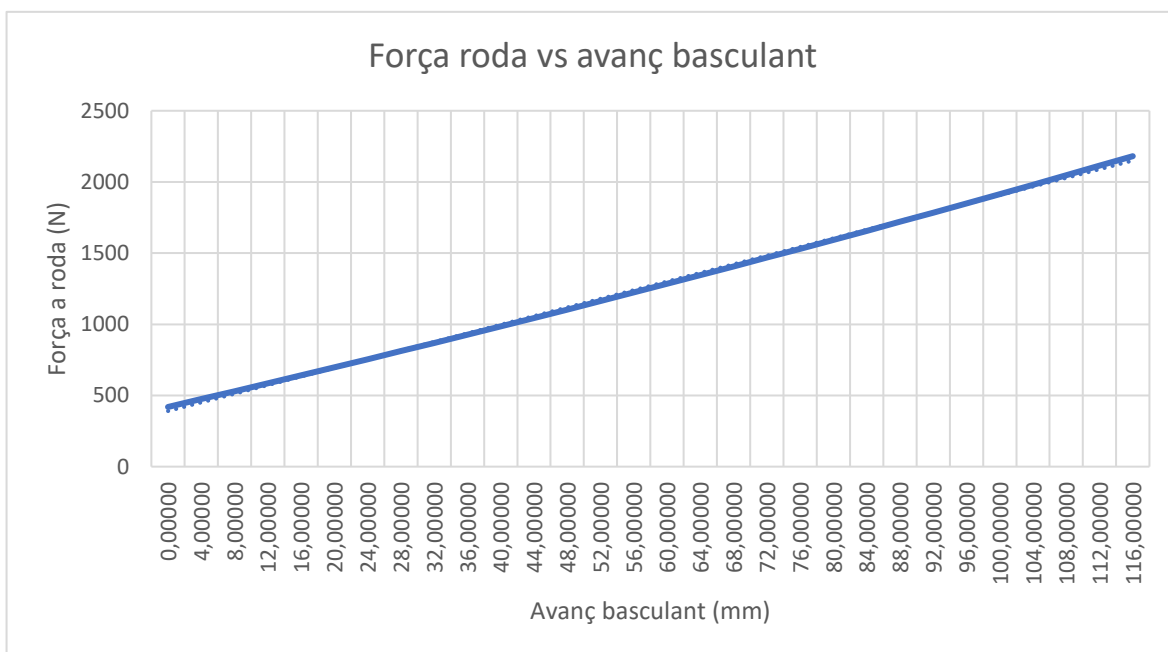
- Força vertical a roda (FR)

$$FR_i = FR + (WR * (\text{Avanç Basc})) \quad (\text{Eq. 4.1})$$

- Força amortidor /força roda:

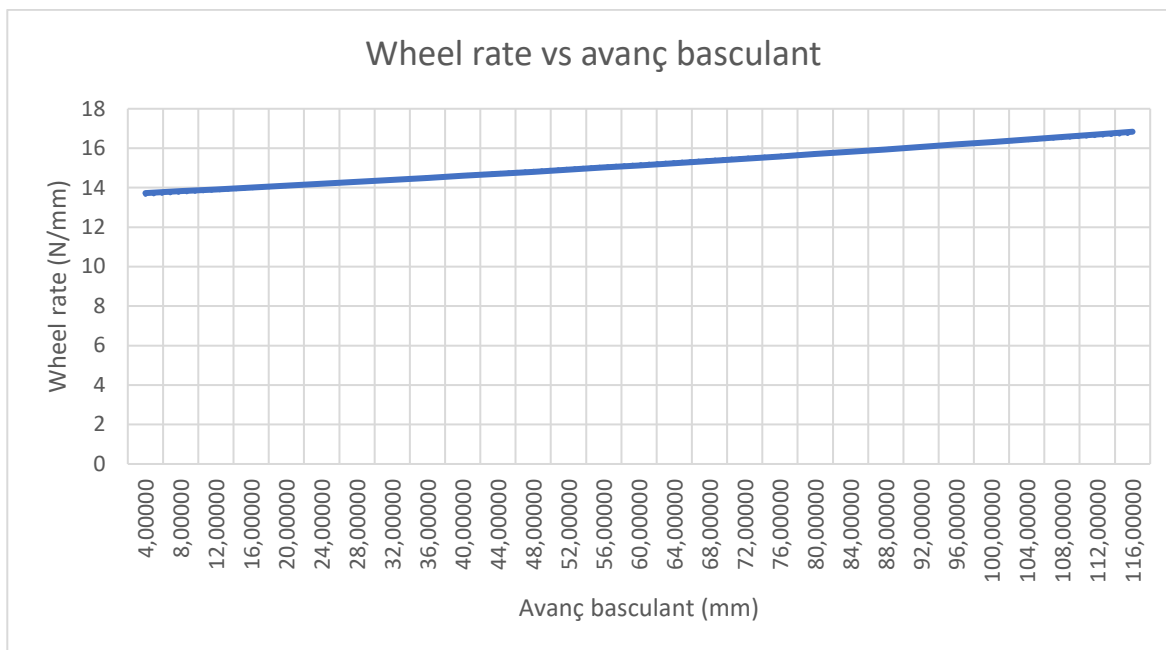
$$\frac{\text{Força Amort.}}{\text{Força Roda}} \tag{Eq. 4.1}$$

Amb aquestes equacions utilitzades per interpretar els valors aconseguits per la modelització 3D obtenim els següents gràfics, que representen el comportament del sistema de suspensió definitiu. Cal tenir en compte que encara que a continuació només es presenten 3 gràfics, aquest sistema s'ha obtingut a partir d'un procés iteratiu en el qual s'ha anat modificant poc a poc la geometria en el model 3D per a arribar al punt final.



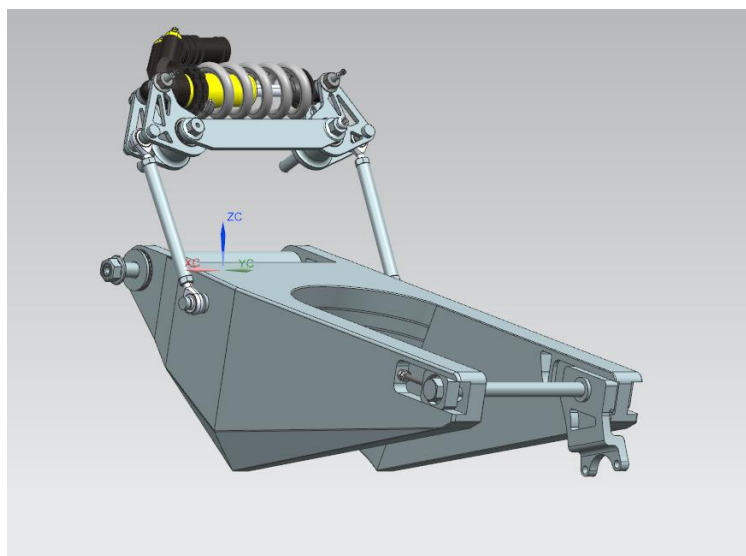
Il·lustració 38: Gràfic Força roda vs avanç roda posterior

En aquest gràfic podem veure la força que es presenta a la roda posterior en cada situació de la compressió. Com podem veure el punt inicial es troba un pel per sota del 500 N, la qual cosa implica que la suspensió comprimeix lleugerament amb el propi pes de la motocicleta, tal i com es busca en un prototip d'aquestes característiques. També comentar que el final del recorregut s'ajusta a la força màxima que es presenta a la motocicleta en el cas d'acceleració màxima i que el conjunt suporta les forces de premsa de les verificacions tècniques sense fer màxima compressió i per tant evitant que es puguin crear danys a l'estructura.



Il·lustració 39: Gràfic rigidesa a roda vs avanç de roda

En aquest últim gràfic podem veure la rigidesa que experimenta la suspensió vista des dels valors que es presenten a l'extrem del basculant. Com podem veure es tracta d'una rigidesa progressiva, fet que es busca en qualsevol tipus de suspensió amb bieletes ja que serveix per contrarestar que la transferència de pesos presenta un caràcter regressiu, d'aquesta manera també aporta una major estabilitat quan la suspensió es comprimeix a meitat de corba o en cas d'acceleració. Comentar que aquests valors de rigidesa estan un pèl per baix dels que es contempen com a òptims a la majoria de llibres d'enginyeria del motociclisme, però es troben dintre dels valors acceptables.



Il·lustració 40: Disseny definitiu suspensió ePR2 (Font: ePowered Racing)



5. Disseny del Braç Basculant

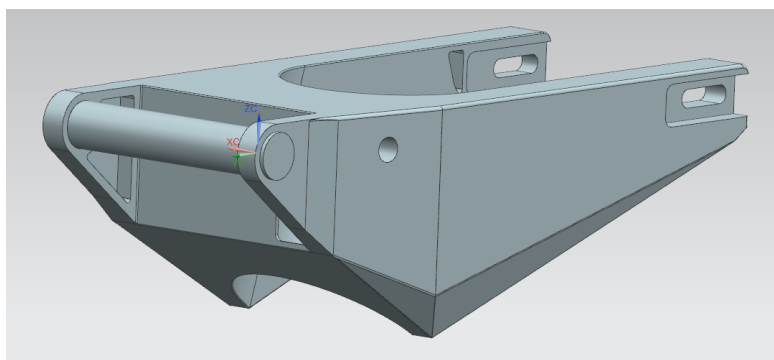
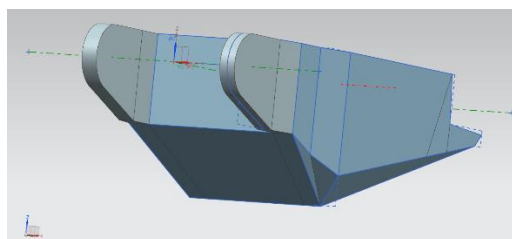
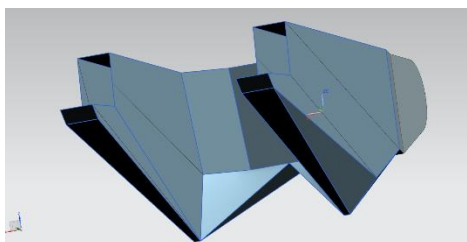
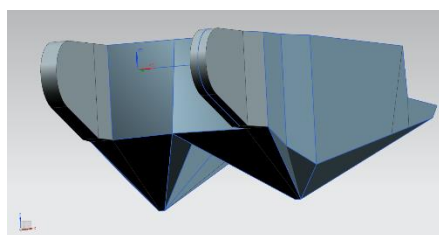
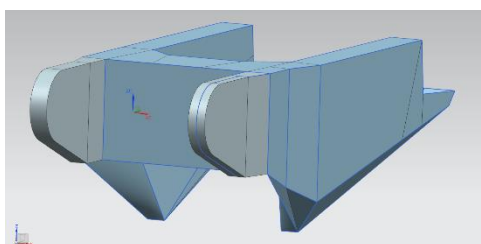
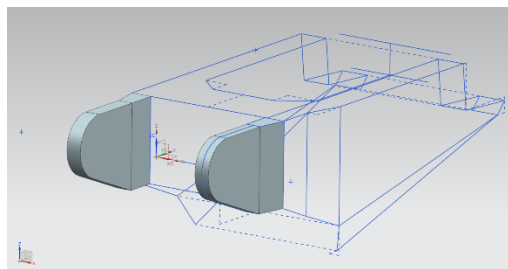
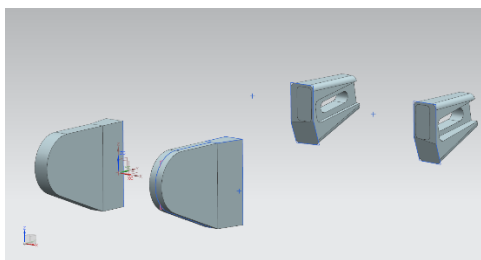
En el disseny d'una estructura com el braç basculant es busquen una sèrie de requisits per a que el prototip pugui oferir un bon comportament. Per a aconseguir tots els objectius en el disseny d'aquesta estructura s'ha fet servir el programa SIEMENS NX amb el qual s'ha realitzat un estudi CAM per comprovar que la estructura presenta el comportament esperat.

El basculant s'ha plantejat per fabricar íntegrament amb alumini 6082 amb tractament T6, i es compondrà de quatre blocs mecanitzats que faran la funció de fixacions a xassís i fixacions de roda, tots units mitjançant soldadura per una sèrie de xapes doblades que formaran la base de l'estructura.

A continuació es presenten alguns dels requisits necessaris per a complir el seu objectiu:

- Càrregues: Com és d'esperar, al tractar-se de una part de l'estructura de la motocicleta, el principal requisit que ha de complir és que suporti totes les càrregues al qual se'l sotmet, ja que és responsable tant de la integritat del pilot com del treball que han realitzat tots els companys de l'associació ePowered Racing al llarg dels 3 últims anys.
- Rigidesa: Un altre dels requisits indispensables per a que l'estructura tingui un bon comportament és la rigidesa del braç basculant, en aquest element es busca una màxima rigidesa vertical i torsional i adaptar la rigidesa lateral entre 1,5 i 2,5 Kn/mm, ja que és el basculant el que absorbeix les irregularitats del terreny quan la motocicleta es troba inclinada.
- Pes: Com es tracta d'un prototip de competició, un dels requisits principals és que qualsevol dels sistemes de la motocicleta pesi el menys possible, ja que d'aquesta manera es podrà aprofitar al màxim el pes del motor.
- Estètica: Al tractar-se d'una competició d'enginyeria, l'estètica d'elements tant visibles com el braç basculant pot fer que en alguns casos es valori millor el treball, i encara que no es un punt de valoració objectiu empre pot ajudar a aconseguir una millor puntuació.

5.1. Evolució del disseny



5.2. Estudi de rigidesa i tensió

Com s'ha explicat anteriorment en l'estructura del basculant la rigidesa és un factor molt important que determina el mateix comportament de la suspensió. Per comprovar que aquest element de l'estructura aguanta les sol·licitacions requerides i presenta les rigideses adequades s'ha realitzat un estudi mitjançant eines CAE:

Rigidesa vertical

En aquest cas el que es busca és obtenir una màxima rigidesa vertical, ja que l'estudi de la rigidesa de la suspensió s'executa amb la geometria d la mateixa, i per tant el que es busca en el cas del basculant és la màxima rigidesa possible, per aquest motiu es busquen estructures amb grans triangulacions

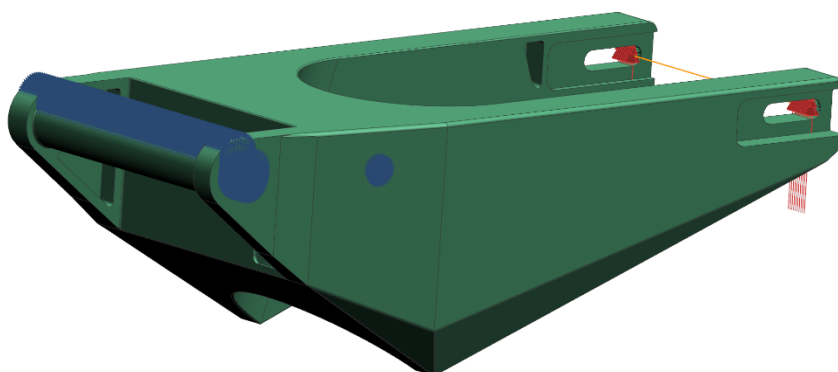
Rigidesa lateral

La rigidesa lateral és el cas més delicat i particular dels 3, ja que quan la motocicleta es troba en corba és el basculant el que absorbeix les imperfeccions de la calçada i si es donés el cas d'un basculant massa rígid seria molt incòmode per al pilot. Per altra banda, amb n basculant massa poc rígid les deformacions serien massa grans i la motocicleta seria inconduïble.

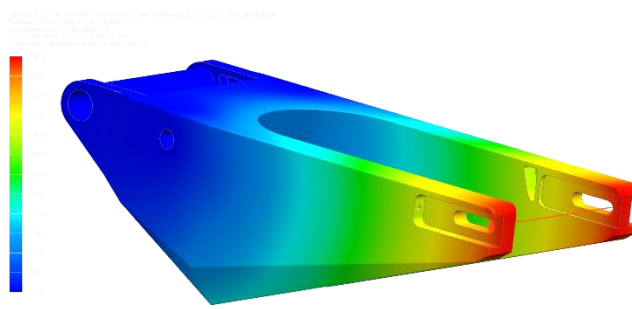
Rigidesa torsional

Finalment per a la rigidesa lateral també es busquen els màxims valors possibles, ja que la flexió torsional no aporta cap avantatge a la conducció i es valora més com un inconvenient, per tant l'objectiu és reduir-la al màxim.

A continuació es presenten unes il·lustracions de les simulacions i els resultats finals:



Il·lustració 41: Simulació de les condicions de contorn per a rigidesa vertical (Font:ePowered Racing)



Il·lustració 42: Resultats simulació vertical braç basculant (Font: ePowered Racing)

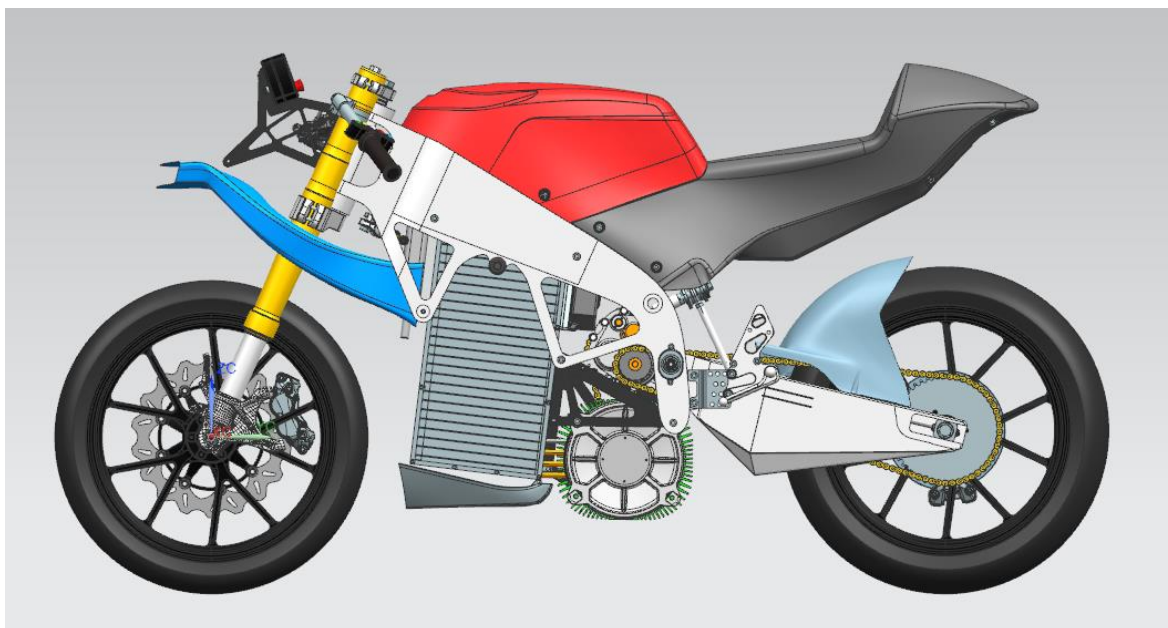
A continuació es ressenten els resultats de les simulacions en les 3 situacions d'estudi. EN tots els casos s'han aplicat les càrregues esmentades en l'apartat 4.1 de l'estudi del sistema de suspensió. Cal remarcar que el factor de seguretat en les tensions per a l'alumini 6082 – T6 és significatiu, aquest fet es deu a que amb aquesta estructura s'ha prioritzat anar a buscar la rigidesa òptima, i aquest fet ha implicat dissenyar una estructura que suporta sobradament els esforços als que es sotmet.

	Càrrega vertical	Càrrega lateral	Càrrega torsional
Rigidesa (KN/mm)	5,14	2,13	7,33
Tensió Màxima (Mpa)	116,5	186,25	66,7

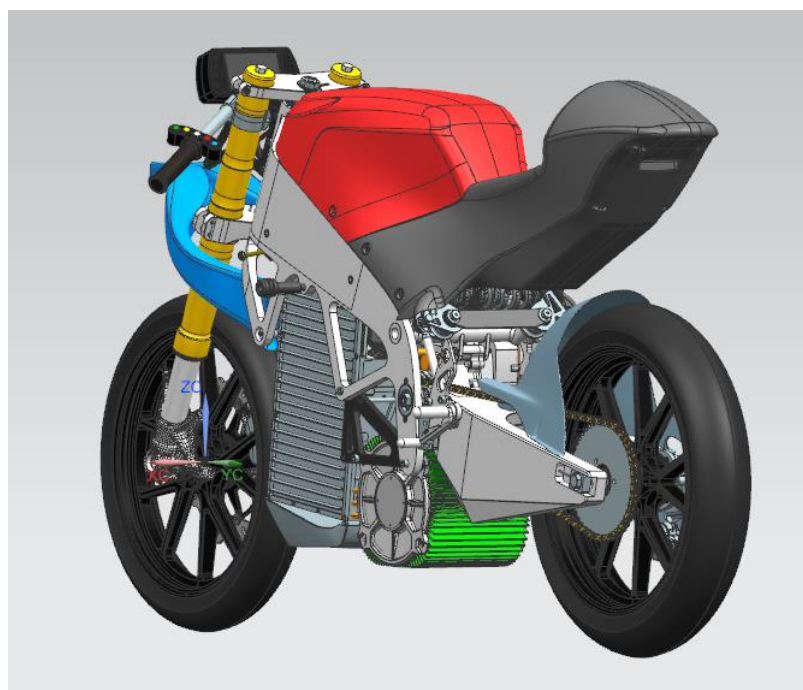
Taula 22: Resultats simulacions braçbasculant



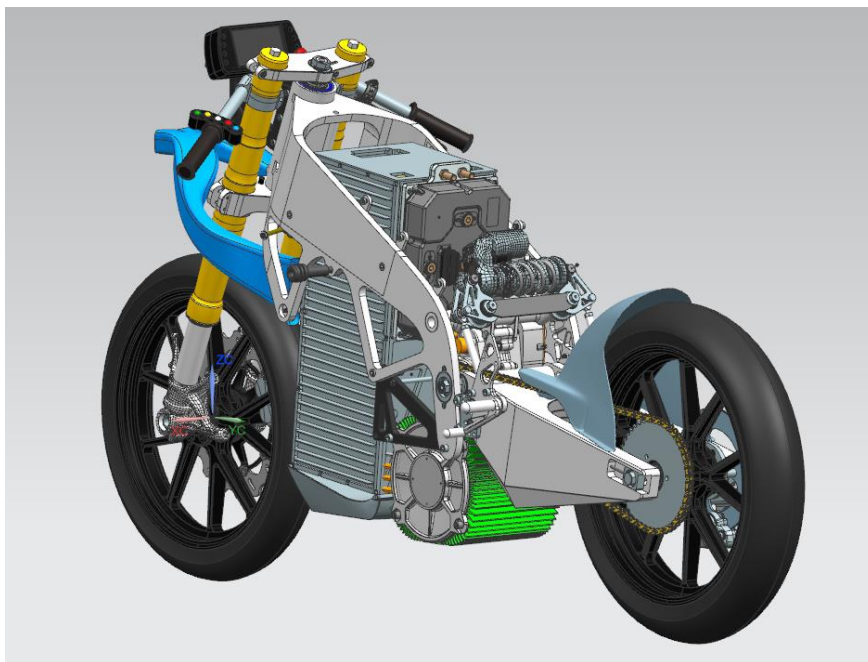
6. Acoblament CAD ePR02



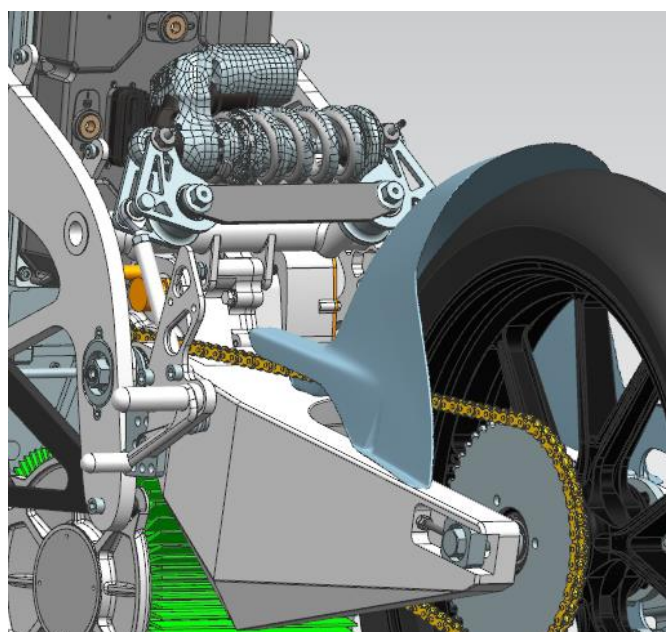
Il·lustració 43: Disseny CAD ePR02 1 (Font: ePowered Racing)



Il·lustració 44: Disseny CAD ePR02 2 (Font: ePowered Racing)



Il·lustració 45: Disseny CAD ePR02 3 (Font: ePowered Racing)



Il·lustració 46: Disseny CAD ePR02 4 (Font: ePowered Racing)

7. Anàlisi de l'impacte ambiental

Un dels aspectes més importants que cal tenir en compte en relació amb aquest treball i l'impacte ambiental que pot tenir és que forma part d'un projecte més gran, que tracta sobre la fabricació d'una motocicleta de competició 100% elèctrica.

L'objectiu que sempre ha tingut l'associació ePowered Racing és el de potenciar la mobilitat sostenible, ja sigui participant a fires i esdeveniments que fomenten aquesta temàtica com intentant transmetre, amb el que s'ha après amb aquest projecte, els avantatges i possibilitats d'aquest tipus alternatiu d'automòbil que no utilitza combustibles fòssils. D'aquesta manera es pot concloure que el projecte de tren posterior per al prototip elèctric podrà ajudar, d'una manera indirecta, a aconseguir canviar la visió que hi ha actualment sobre les motocicletes elèctriques i el seu ús només en un àmbit urbà, presentant un exemple de motocicleta elèctrica esportiva que pugui oferir unes prestacions iguals o millors que una de combustió i que pugui captivar a l'enorme públic que té el món del motociclisme.

Per altra banda, no es pot perdre de vista que al tractar-se d'una motocicleta de competició, el risc de caiguda és molt més elevat ja que normalment es va a buscar el límit en cada situació, i per aquest motiu cal tenir en compte que els components del sistema de suspensió poden sofrir danys que obliguin a descartar-los generant residus. En aquest cas, la major part del sistema està compost per alumini i una petita part d'acer en components comercials que són materials altament reciclables i que, encara que la seva extracció a gran escala pot suposar un impacte ambiental important en certs ecosistemes, també tenen darrera una part molt important de la indústria dedicada al seu reciclatge degut a l'enorme ús d'aquests que se'n fa actualment.

Per acabar, també comentar que aquest projecte en particular dintre de les seves possibilitats genera un cost mínim pel que fa a impacte mediambiental, ja que es tracta d'un sol prototip del qual es fabrica una sola unitat de totes les peces i que després de complir la seva funció s'allarga la seva vida per realitzar proves o reaprofitar algunes peces per al pròxim prototip. Pel que fa a la fabricació sempre s'intenta aprofitar al màxim els materials dels que disposa l'equip, per exemple apurant al màxim els blocs que s'han de mecanitzar, xapes que s'han de tallar, etc. reduint al màxim els residus que es generen, ja que d'aquesta manera també es controla el cost econòmic.

8. Conclusions

Aquest treball ha tingut l'objectiu de plantejar un sistema eficaç i possible de fabricar per a implementar en el prototip que va presentar l'associació ePowered Racing a la VI edició de la competició Motostudent, així com servir de base per a que les pròximes generacions puguin millorar els resultats aconseguits. Aquest sistema s'ha demostrat eficaç de manera teòrica i ha aconseguit superar satisfactòriament totes les proves tant estàtiques com dinàmiques per a les que estava plantejat, encara que sempre es pot aprofundir més i seria positiu tenir un sistema d'adquisició de dades per a valorar el comportament de la suspensió o certes proves més concretes per comprovar les rigideses calculades.

En aquest cas s'ha hagut de partir de zero des de dades teòriques per realitzar tot el projecte però amb aquest treball i els resultats aconseguits es pot partir d'una base més experimental per a futurs sistemes que siguin més eficients, utilitzant altres tipus de materials o sistemes de fabricació.

Finalment també comentar que per a futurs treballs del mateix estil seria interessant implementar altres programes de càlcul com per exemple MATLAB Simulink, ja que per a aquest tipus de treball i quantitat de càlculs i processos iteratius, el programa Excel es queda bastant obsolet en front a altres alternatives que hi ha actualment

9. Pressupost i/o Anàlisi Econòmica

Enginyeria

	Hores	Preu/hora	Cost
Documentació i recerca	30	20	600,00 €
Càlculs programari Excel	110	30	3.300,00 €
Modelització 3D Solidworks	60	35	2.100,00 €
Selecció de material	20	20	400,00 €
Disseny	150	35	5.250,00 €
Anàlisi esforços CAE	110	40	4.400,00 €
Programació mecanitzats CAM	80	40	3.200,00 €
Creació de documentació	50	20	1.000,00 €

Elements comercials

	Unitats	Preu/ unitat	Cost
D934 M 8 (CL8StGEOMET)	10	0,09	0,90 €
D6921 M 12 x 100 (8.8StZINC)	8	1,32	10,56 €
D912 ALLEN M 6 x 20 (StZINC)	8	0,21	1,68 €
D6921 M 10 x 50 (8.8StZINC)	8	1,04	8,32 €
D982 M 10 (CL10StZINC)	8	0,23	1,84 €
D912 M 8 x 35 (10.9StZINC)	10	0,33	3,30 €
D982 M 6 (CL8StZINC)	8	0,09	0,72 €
D912 M 3 x 25 (8.8StZINC)	6	0,11	0,66 €
D933 M 6 x 100 (8.8StZINC)	6	0,64	3,84 €
D934 ALTA M 6 (CL6St)	10	0,1	1,00 €
D934 M 6 (CL6St)	10	0,09	0,90 €
D912 M 8 x 25 (10.9StGEOMET)	6	0,27	1,62 €
D9021 M 12 (300HVStGEOMET)	10	0,25	2,50 €
Rotula Ø8 27625-081	16	4	64,00 €
Rotula Ø6 27625-061	16	4	64,00 €
TGM Ø8 M6 07534-108X	20	0,33	6,60 €
Rodament 12 x 32 x 10 6201-2Z	10	4,21	42,10 €
Rodament 20 x 42 x 12 6004 - 2RSH	15	2,84	42,60 €
Amortiguador			

Material

	Unitats	Preu/ unitat	Cost
Al 6082 - T6 3 x 1500 x 3000	1	175,88	175,88 €
Al 6082 - T6 5 x 375 x 750	1	79,6	79,60 €

Al 6082 - T6 40 x 90 x 120	2	5,14	10,28 €
Al 6082 - T6 40 x 120 x 200	2	10,24	20,48 €
Barra Al 6082 - T6 40 x 1000	1	12,29	12,29 €
Barra Al 6082 - T6 20 x 1000	1	3,2	3,20 €

Serveis

	Hores	Preu/hora	Cost
Mecanitzat	8	55	440,00 €
Soldadura	5	40	200,00 €
Doblat xapa	1	15	15,00 €
	Total		21.463,87 €

10. Bibliografia

1. Bradley, J. *The racing motorcycle : a technical guide for constructors*. 1996. ISBN 0951292927
 2. Bradley, J. *The racing motorcycle : a technical guide for constructors-Volume 2*. 2003. ISBN 0951292935.
 3. Bradley, J. *The racing motorcycle : a technical guide for constructors-Volume 3*. 2018. ISBN 0951292951
 4. Cossalter, V. *MOTORCYCLE DYNAMICS*. 2006. ISBN 1430308613
 5. Foale, T. *Motorcycle Handling and Chassis Design art and science*. 2on editio. 2006. ISBN 8493328634.
-
1. G. Rodríguez, F.Alonso, *SOLIDWORKS 2018*, 2018, ISBN 8441540640
 2. J.Koh, *Siemens NX 10 Design Fundamentals*, 2015, ISBN 1516994043
 3. *Moto Engineering Fundation. Reglamento VI Competicion Internacional MotoStudent, 2020*
 4. *Thede and Parks, Race Tech's Motorcycle Suspension Bible*. 2010. ISBN 0760331405



11. Annex A

11.1. Càlcul Anti-Squat

Recorrido	Grados	Grados Basculante	C (longitud eixos p-c)	Lc
0,0 mm	0º	13,5º	564,042977	560,10
0,5 mm	0,05514513º	13,44485487º	564,0556804	560,11
1,0 mm	0,11029031º	13,38970969º	564,068331	560,12
1,5 mm	0,16543559º	13,33456441º	564,0809289	560,14
2,0 mm	0,22058102º	13,27941898º	564,093474	560,15
2,5 mm	0,27572666º	13,22427334º	564,1059665	560,16
3,0 mm	0,33087256º	13,16912744º	564,1184063	560,17
3,5 mm	0,38601876º	13,11398124º	564,1307934	560,19
4,0 mm	0,44116532º	13,05883468º	564,1431278	560,20
4,5 mm	0,49631229º	13,00368771º	564,1554095	560,21
5,0 mm	0,55145971º	12,94854029º	564,1676385	560,22
5,5 mm	0,60660765º	12,89339235º	564,1798149	560,23
6,0 mm	0,66175615º	12,83824385º	564,1919385	560,25
6,5 mm	0,71690526º	12,78309474º	564,2040095	560,26
7,0 mm	0,77205504º	12,72794496º	564,2160278	560,27
7,5 mm	0,82720553º	12,67279447º	564,2279934	560,28
8,0 mm	0,88235679º	12,61764321º	564,2399063	560,30
8,5 mm	0,93750887º	12,56249113º	564,2517665	560,31
9,0 mm	0,99266182º	12,50733818º	564,2635741	560,32
9,5 mm	1,04781568º	12,45218432º	564,275329	560,33
10,0 mm	1,10297052º	12,39702948º	564,2870312	560,34
10,5 mm	1,15812638º	12,34187362º	564,2986807	560,35
11,0 mm	1,21328331º	12,28671669º	564,3102776	560,37
11,5 mm	1,26844137º	12,23155863º	564,3218218	560,38
12,0 mm	1,3236006º	12,1763994º	564,3333133	560,39
12,5 mm	1,37876106º	12,12123894º	564,3447521	560,40
13,0 mm	1,4339228º	12,0660772º	564,3561383	560,41
13,5 mm	1,48908586º	12,01091414º	564,3674718	560,42
14,0 mm	1,54425031º	11,95574969º	564,3787526	560,44

14,5 mm	1,59941619 ^º	11,90058381 ^º	564,3899807	560,4513236	1
15,0 mm	1,65458355 ^º	11,84541645 ^º	564,4011562	560,4625775	1
15,5 mm	1,70975245 ^º	11,79024755 ^º	564,412279	560,4737785	1
16,0 mm	1,76492294 ^º	11,73507706 ^º	564,423349	560,4849264	1
16,5 mm	1,82009506 ^º	11,67990494 ^º	564,4343665	560,4960212	1
17,0 mm	1,87526886 ^º	11,62473114 ^º	564,4453312	560,507063	1
17,5 mm	1,93044441 ^º	11,56955559 ^º	564,4562432	560,5180517	1
18,0 mm	1,98562175 ^º	11,51437825 ^º	564,4671026	560,5289873	1
18,5 mm	2,04080093 ^º	11,45919907 ^º	564,4779092	560,5398699	1
19,0 mm	2,09598201 ^º	11,40401799 ^º	564,4886632	560,5506994	1
19,5 mm	2,15116503 ^º	11,34883497 ^º	564,4993645	560,5614759	1
20,0 mm	2,20635004 ^º	11,29364996 ^º	564,510013	560,5721992	1
20,5 mm	2,26153711 ^º	11,23846289 ^º	564,5206089	560,5828695	1
21,0 mm	2,31672627 ^º	11,18327373 ^º	564,5311521	560,5934868	1
21,5 mm	2,37191758 ^º	11,12808242 ^º	564,5416425	560,6040509	1
22,0 mm	2,42711111 ^º	11,0728889 ^º	564,5520803	560,614562	
22,5 mm	2,48230687 ^º	11,01769313 ^º	564,5624653	560,62502	9
23,0 mm	2,53750495 ^º	10,96249505 ^º	564,5727977	560,6354249	9
23,5 mm	2,59270538 ^º	10,90729462 ^º	564,5830773	560,6457766	9
24,0 mm	2,64790822 ^º	10,85209178 ^º	564,5933042	560,6560753	9
24,5 mm	2,70311352 ^º	10,79688648 ^º	564,6034783	560,6663209	9
25,0 mm	2,75832133 ^º	10,74167867 ^º	564,6135997	560,6765134	9
25,5 mm	2,81353171 ^º	10,68646829 ^º	564,6236684	560,6866528	9
26,0 mm	2,86874469 ^º	10,63125531 ^º	564,6336843	560,6967391	9
26,5 mm	2,92396035 ^º	10,57603965 ^º	564,6436475	560,7067722	9
27,0 mm	2,97917872 ^º	10,52082128 ^º	564,653558	560,7167523	
27,5 mm	3,03439987 ^º	10,46560013 ^º	564,6634156	560,7266791	9
28,0 mm	3,08962383 ^º	10,41037617 ^º	564,6732206	560,7365529	9
28,5 mm	3,14485067 ^º	10,35514933 ^º	564,6829727	560,7463735	9
29,0 mm	3,20008043 ^º	10,29991957 ^º	564,6926721	560,756141	9
29,5 mm	3,25531317 ^º	10,24468683 ^º	564,7023187	560,7658553	9
30,0 mm	3,31054894 ^º	10,18945106 ^º	564,7119125	560,7755165	9
30,5 mm	3,36578779 ^º	10,13421221 ^º	564,7214536	560,7851245	9
31,0 mm	3,42102977 ^º	10,07897023 ^º	564,7309418	560,7946793	9
31,5 mm	3,47627494 ^º	10,02372506 ^º	564,7403772	560,804181	9
32,0 mm	3,53152334 ^º	9,968476663 ^º	564,7497598	560,8136294	9
32,5 mm	3,58677503 ^º	9,913224974 ^º	564,7590896	560,8230247	8
33,0 mm	3,64203006 ^º	9,857969945 ^º	564,7683666	560,8323668	8
33,5 mm	3,69728848 ^º	9,802711524 ^º	564,7775908	560,8416557	8
34,0 mm	3,75255034 ^º	9,747449659 ^º	564,7867621	560,8508914	8
34,5 mm	3,8078157 ^º	9,692184297 ^º	564,7958806	560,8600738	8
35,0 mm	3,86308461 ^º	9,636915388 ^º	564,8049462	560,8692031	8

35,5 mm	3,91835712 ^º	9,581642879 ^º	564,8139589	560,878
36,0 mm	3,97363328 ^º	9,526366717 ^º	564,8229188	560,88
36,5 mm	4,02891315 ^º	9,47108685 ^º	564,8318258	560,89
37,0 mm	4,08419677 ^º	9,415803226 ^º	564,84068	560,90
37,5 mm	4,13948421 ^º	9,360515794 ^º	564,8494812	560,91
38,0 mm	4,1947755 ^º	9,3052245 ^º	564,8582295	560,92
38,5 mm	4,25007071 ^º	9,249929292 ^º	564,866925	560,93
39,0 mm	4,30536988 ^º	9,194630119 ^º	564,8755675	560,94
39,5 mm	4,36067307 ^º	9,139326927 ^º	564,884157	560,94
40,0 mm	4,41598034 ^º	9,084019664 ^º	564,8926937	560,95
40,5 mm	4,47129172 ^º	9,028708278 ^º	564,9011774	560,96
41,0 mm	4,52660728 ^º	8,973392716 ^º	564,9096081	560,97
41,5 mm	4,58192707 ^º	8,918072926 ^º	564,9179859	560,98
42,0 mm	4,63725115 ^º	8,862748855 ^º	564,9263107	560,99
42,5 mm	4,69257955 ^º	8,807420451 ^º	564,9345825	560,99
43,0 mm	4,74791234 ^º	8,75208766 ^º	564,9428014	561,00
43,5 mm	4,80324957 ^º	8,696750431 ^º	564,9509672	561,01
44,0 mm	4,85859129 ^º	8,641408711 ^º	564,95908	561,02
44,5 mm	4,91393755 ^º	8,586062446 ^º	564,9671398	561,03
45,0 mm	4,96928841 ^º	8,530711585 ^º	564,9751465	561,04
45,5 mm	5,02464393 ^º	8,475356074 ^º	564,9831002	561,04
46,0 mm	5,08000414 ^º	8,419995861 ^º	564,9910008	561,05
46,5 mm	5,13536911 ^º	8,364630892 ^º	564,9988484	561,06
47,0 mm	5,19073889 ^º	8,309261114 ^º	565,0066429	561,07
47,5 mm	5,24611352 ^º	8,253886475 ^º	565,0143843	561,08
48,0 mm	5,30149308 ^º	8,198506922 ^º	565,0220725	561,08
48,5 mm	5,3568776 ^º	8,143122401 ^º	565,0297077	561,09
49,0 mm	5,41226714 ^º	8,08773286 ^º	565,0372897	561,10
49,5 mm	5,46766175 ^º	8,032338245 ^º	565,0448186	561,11
50,0 mm	5,5230615 ^º	7,976938504 ^º	565,0522944	561,11
50,5 mm	5,57846642 ^º	7,921533582 ^º	565,0597169	561,12
51,0 mm	5,63387657 ^º	7,866123427 ^º	565,0670863	561,13
51,5 mm	5,68929202 ^º	7,810707985 ^º	565,0744025	561,14
52,0 mm	5,7447128 ^º	7,755287203 ^º	565,0816655	561,14
52,5 mm	5,80013897 ^º	7,699861027 ^º	565,0888753	561,15
53,0 mm	5,8555706 ^º	7,644429405 ^º	565,0960318	561,16
53,5 mm	5,91100772 ^º	7,588992282 ^º	565,1031351	561,16
54,0 mm	5,9664504 ^º	7,533549605 ^º	565,1101851	561,17
54,5 mm	6,02189868 ^º	7,478101321 ^º	565,1171819	561,18
55,0 mm	6,07735263 ^º	7,422647375 ^º	565,1241253	561,19
55,5 mm	6,13281229 ^º	7,367187714 ^º	565,1310155	561,19

56,0 mm	6,18827772º	7,311722285º	565,1378523	561,2044439	6
56,5 mm	6,24374897º	7,256251033º	565,1446358	561,211275	6
57,0 mm	6,2992261º	7,200773905º	565,151366	561,2180523	6
57,5 mm	6,35470915º	7,145290846º	565,1580428	561,2247759	6
58,0 mm	6,4101982º	7,089801804º	565,1646662	561,2314457	6
58,5 mm	6,46569328º	7,034306723º	565,1712362	561,2380618	6
59,0 mm	6,52119445º	6,97880555º	565,1777528	561,244624	6
59,5 mm	6,57670177º	6,923298231º	565,184216	561,2511325	6
60,0 mm	6,63221529º	6,867784711º	565,1906257	561,2575872	6
60,5 mm	6,68773506º	6,812264936º	565,196982	561,263988	6
61,0 mm	6,74326115º	6,756738853º	565,2032848	561,270335	6
61,5 mm	6,79879359º	6,701206406º	565,2095342	561,2766281	6
62,0 mm	6,85433246º	6,645667542º	565,21573	561,2828673	6
62,5 mm	6,90987779º	6,590122206º	565,2218723	561,2890527	6
63,0 mm	6,96542966º	6,534570343º	565,227961	561,2951841	5
63,5 mm	7,0209881º	6,479011898º	565,2339962	561,3012615	5
64,0 mm	7,07655318º	6,423446819º	565,2399778	561,3072851	
64,5 mm	7,13212495º	6,367875049º	565,2459059	561,3132546	5
65,0 mm	7,18770347º	6,312296533º	565,2517803	561,3191702	5
65,5 mm	7,24328878º	6,256711218º	565,257601	561,3250318	5
66,0 mm	7,29888095º	6,201119049º	565,2633682	561,3308393	5
66,5 mm	7,35448003º	6,145519969º	565,2690817	561,3365928	
67,0 mm	7,41008607º	6,089913926º	565,2747414	561,3422922	5
67,5 mm	7,46569914º	6,034300862º	565,2803475	561,3479376	5

68,0 mm	7,52131928º	5,978680724º	565,2858999	561,353
68,5 mm	7,57694654º	5,923053457º	565,2913985	561,353
69,0 mm	7,632581º	5,867419004º	565,2968434	561,363
69,5 mm	7,68822269º	5,811777311º	565,3022345	561,363
70,0 mm	7,74387168º	5,756128323º	565,3075718	561,373
70,5 mm	7,79952802º	5,700471984º	565,3128552	561,383
71,0 mm	7,85519176º	5,644808238º	565,3180849	561,383
71,5 mm	7,91086297º	5,589137031º	565,3232606	561,393
72,0 mm	7,96654169º	5,533458306º	565,3283825	561,393
72,5 mm	8,02222799º	5,477772008º	565,3334505	561,403
73,0 mm	8,07792192º	5,422078081º	565,3384646	561,403
73,5 mm	8,13362353º	5,36637647º	565,3434248	561,413
74,0 mm	8,18933288º	5,310667118º	565,348331	561,413
74,5 mm	8,24505003º	5,25494997º	565,3531832	561,423
75,0 mm	8,30077503º	5,199224969º	565,3579814	561,423
75,5 mm	8,35650794º	5,14349206º	565,3627255	561,433
76,0 mm	8,41224881º	5,087751187º	565,3674157	561,433
76,5 mm	8,46799771º	5,032002293º	565,3720517	561,443
77,0 mm	8,52375468º	4,976245322º	565,3766337	561,443
77,5 mm	8,57951978º	4,920480217º	565,3811615	561,443
78,0 mm	8,63529308º	4,864706923º	565,3856353	561,453
78,5 mm	8,69107462º	4,808925382º	565,3900548	561,453
79,0 mm	8,74686446º	4,753135539º	565,3944202	561,463
79,5 mm	8,80266266º	4,697337337º	565,3987314	561,463
80,0 mm	8,85846928º	4,641530718º	565,4029883	561,473

80,5 mm	8,91428437º	4,585715626º	565,407191	561,4756695	4
81,0 mm	8,970108º	4,529892005º	565,4113395	561,4798469	4
81,5 mm	9,0259402º	4,474059797º	565,4154336	561,4839697	4
82,0 mm	9,08178105º	4,418218945º	565,4194734	561,4880378	4
82,5 mm	9,13763061º	4,362369393º	565,4234589	561,4920512	3
83,0 mm	9,19348892º	4,306511083º	565,42739	561,4960098	3
83,5 mm	9,24935604º	4,250643957º	565,4312667	561,4999137	3
84,0 mm	9,30523204º	4,194767959º	565,4350889	561,5037627	3
84,5 mm	9,36111697º	4,138883032º	565,4388568	561,5075569	3
85,0 mm	9,41701088º	4,082989117º	565,4425701	561,5112963	3
85,5 mm	9,47291384º	4,027086157º	565,446229	561,5149808	
86,0 mm	9,52882591º	3,971174094º	565,4498334	561,5186104	3
86,5 mm	9,58474713º	3,915252872º	565,4533832	561,522185	3
87,0 mm	9,64067757º	3,859322431º	565,4568784	561,5257047	3
87,5 mm	9,69661729º	3,803382714º	565,4603191	561,5291695	3
88,0 mm	9,75256634º	3,747433664º	565,4637051	561,5325792	3
88,5 mm	9,80852478º	3,691475221º	565,4670365	561,5359339	3
89,0 mm	9,86449267º	3,635507329º	565,4703131	561,5392335	3
89,5 mm	9,92047007º	3,579529928º	565,4735351	561,5424781	3
90,0 mm	9,97645704º	3,523542961º	565,4767024	561,5456675	3
90,5 mm	10,0324536º	3,467546368º	565,4798149	561,5488018	3
91,0 mm	10,0884599º	3,411540092º	565,4828726	561,5518809	3
91,5 mm	10,1444759º	3,355524074º	565,4858755	561,5549048	3
92,0 mm	10,2005017º	3,299498256º	565,4888236	561,5578735	3
92,5 mm	10,2565374º	3,243462578º	565,4917168	561,560787	2

93,0 mm	10,312583°	3,187416982°	565,494555	561,563
93,5 mm	10,3686386°	3,131361408°	565,4973384	561,56
94,0 mm	10,4247042°	3,075295799°	565,5000668	561,569
94,5 mm	10,4807799°	3,019220094°	565,5027403	561,57
95,0 mm	10,5368658°	2,963134234°	565,5053587	561,574
95,5 mm	10,5929618°	2,907038161°	565,5079221	561,57
96,0 mm	10,6490682°	2,850931814°	565,5104304	561,579
96,5 mm	10,7051849°	2,794815135°	565,5128836	561,58
97,0 mm	10,7613119°	2,738688064°	565,5152817	561,584
97,5 mm	10,8174495°	2,682550541°	565,5176246	561,589
98,0 mm	10,8735975°	2,626402506°	565,5199123	561,58
98,5 mm	10,9297561°	2,570243899°	565,5221449	561,59
99,0 mm	10,9859253°	2,514074661°	565,5243221	561,59
99,5 mm	11,0421053°	2,457894732°	565,5264441	561,59
100,0 mm	11,0982959°	2,401704051°	565,5285108	561,59
100,5 mm	11,1544974°	2,345502558°	565,5305221	561,59
101,0 mm	11,2107098°	2,289290193°	565,532478	561,60
101,5 mm	11,2669331°	2,233066895°	565,5343786	561,60
102,0 mm	11,3231674°	2,176832603°	565,5362237	561,60
102,5 mm	11,3794127°	2,120587258°	565,5380133	561,60
103,0 mm	11,4356692°	2,064330798°	565,5397474	561,60
103,5 mm	11,4919368°	2,008063163°	565,541426	561,61
104,0 mm	11,5482157°	1,951784291°	565,5430491	561,61
104,5 mm	11,6045059°	1,895494121°	565,5446165	561,61

105,0 mm	11,6608074 ^º	1,839192593 ^º	565,5461283	561,6155793	1
105,5 mm	11,7171204 ^º	1,782879645 ^º	565,5475844	561,6170456	1
106,0 mm	11,7734448 ^º	1,726555215 ^º	565,5489848	561,6184558	1
106,5 mm	11,8297808 ^º	1,670219243 ^º	565,5503295	561,6198099	1
107,0 mm	11,8861283 ^º	1,613871666 ^º	565,5516184	561,6211079	1
107,5 mm	11,9424876 ^º	1,557512422 ^º	565,5528515	561,6223496	1
108,0 mm	11,9988585 ^º	1,501141451 ^º	565,5540288	561,6235351	1
108,5 mm	12,0552413 ^º	1,44475869 ^º	565,5551502	561,6246644	1
109,0 mm	12,1116359 ^º	1,388364077 ^º	565,5562157	561,6257373	1
109,5 mm	12,1680425 ^º	1,331957549 ^º	565,5572252	561,626754	
110,0 mm	12,224461 ^º	1,275539046 ^º	565,5581788	561,6277142	1
110,5 mm	12,2808915 ^º	1,219108503 ^º	565,5590764	561,6286181	1
111,0 mm	12,3373341 ^º	1,16266586 ^º	565,5599179	561,6294655	1
111,5 mm	12,3937889 ^º	1,106211052 ^º	565,5607033	561,6302564	1
112,0 mm	12,450256 ^º	1,049744018 ^º	565,5614326	561,6309908	9
112,5 mm	12,5067353 ^º	0,993264695 ^º	565,5621058	561,6316687	9
113,0 mm	12,563227 ^º	0,936773019 ^º	565,5627228	561,6322899	8
113,5 mm	12,6197311 ^º	0,880268928 ^º	565,5632835	561,6328546	8
114,0 mm	12,6762476 ^º	0,823752359 ^º	565,563788	561,6333626	7
114,5 mm	12,7327768 ^º	0,767223247 ^º	565,5642361	561,6338139	7
115,0 mm	12,7893185 ^º	0,71068153 ^º	565,5646279	561,6342084	6

A1. Càlcul comportament suspensió

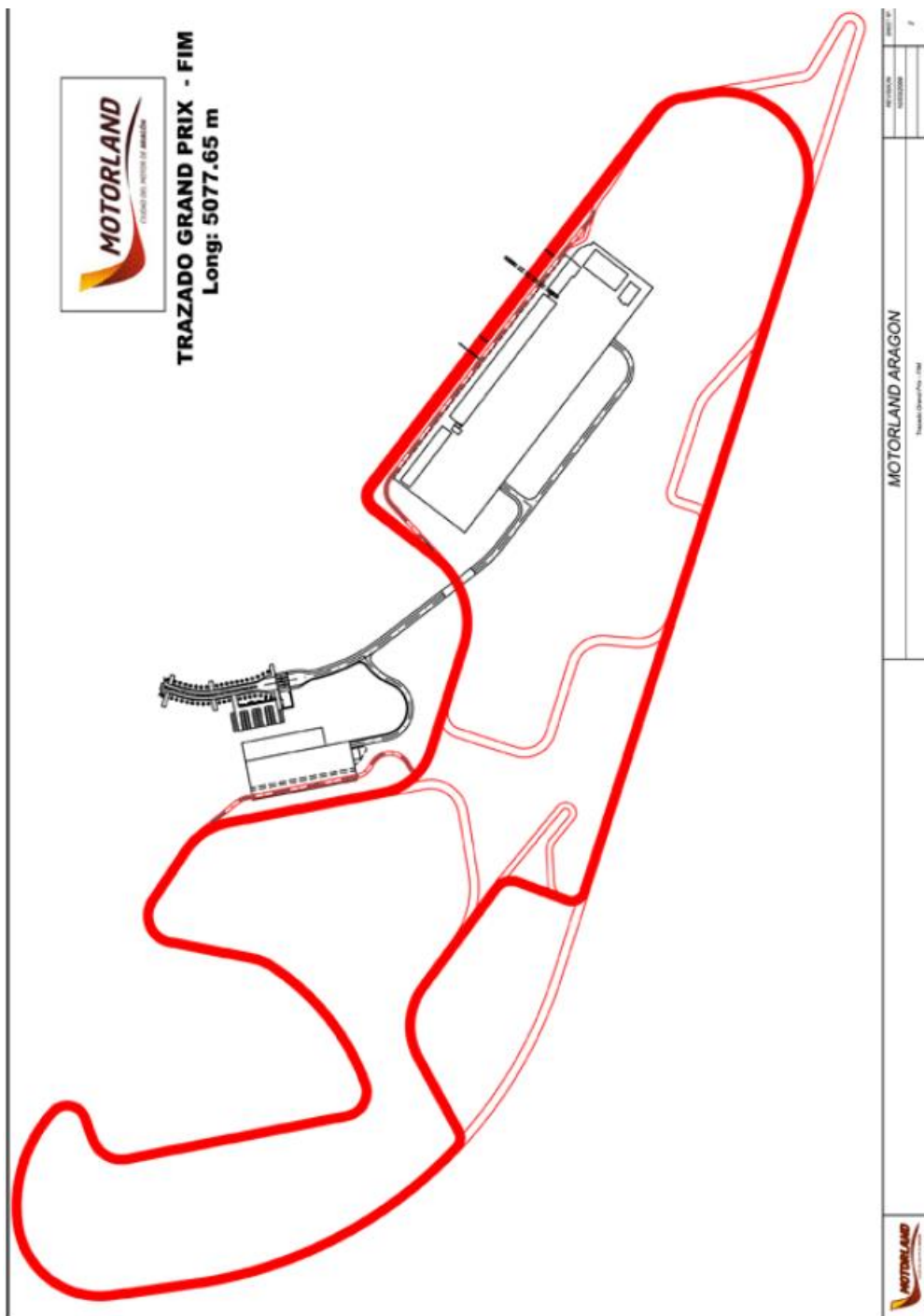
Longitud amortiguador	Avanç _amortiguador	Distància_Y_Basculant	Avanç _Basculant	Motion_Ratio (basculant/amortiguador)	Força_a_mortiguador	Rigidesa roda (wheel rate)	Força roda	Força amortiguador / força roda
222,003	0,000	144,4300	0,000	#¡DIV/0!	994,5	#¡DIV/0!	419,18175	2,372479241
220,317	1,68600	140,4300	4,000	2,37248	1137,81	13,72707375	474,090045	2,399987116
218,619	3,38400	136,4300	8,000	2,36407	1282,14	13,82494918	529,3898417	2,421920292
216,91	5,09300	132,4300	12,000	2,35618	1427,405	13,91770635	585,0606671	2,439755533
215,19	6,81300	128,4300	16,000	2,34845	1573,605	14,00940277	641,0982782	2,454545666
213,458	8,54500	124,4300	20,000	2,34055	1720,825	14,10415109	697,5148826	2,467079976
211,714	10,28900	120,4300	24,000	2,33259	1869,065	14,20059887	754,3172781	2,477823396

209,95	12,04	116,43	28,00	2,32462	2018,32	14,2981666	811,5	2,4871229
8	500	00	000		5	6	09944	41
							7	
208,18	13,81	112,43	32,00	2,31649	2168,69	14,3986493	869,1	2,4953154
9	400	00	000			6	04542	6
							1	
206,40	15,59	108,43	36,00	2,30843	2320,07	14,4993510	927,1	2,5025025
8	500	00	000		5	7	01946	66
							4	
204,61	17,38	104,43	40,00	2,30044	2472,48	14,6003104	985,5	2,5088503
5	800	00	000			1	03188	31
							1	
202,80	19,19	100,43	44,00	2,29226	2626,07	14,7046160	1044,	2,5146227
8	500	00	000		5	4	32165	64
							2	
200,98	21,01	96,430	48,00	2,28419	2780,69	14,8087291	1103,	2,5197530
9	400	0	000			5	55656	23
							9	
199,15	22,84	92,430	52,00	2,27601	2936,49	14,9153855	1163,	2,5244577
6	700	0	000		5	9	21811	71
							1	
197,31	24,69	88,430	56,00	2,26785	3093,40	15,0229239	1223,	2,5287175
0	300	0	000		5	2	30980	68
							7	
195,45	26,55	84,430	60,00	2,25963	3251,50	15,1323890	1283,	2,5326416
0	300	0	000		5	8	83936	16
							3	
193,57	28,42	80,430	64,00	2,25138	3410,79	15,2435078	1344,	2,5362589
6	700	0	000		5	9	81339	44
							5	

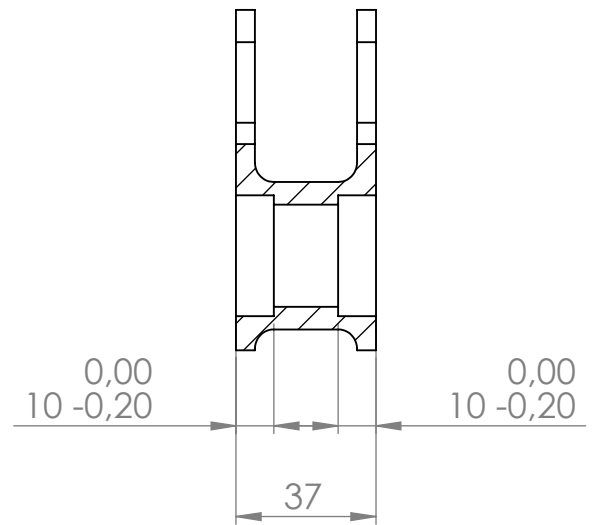
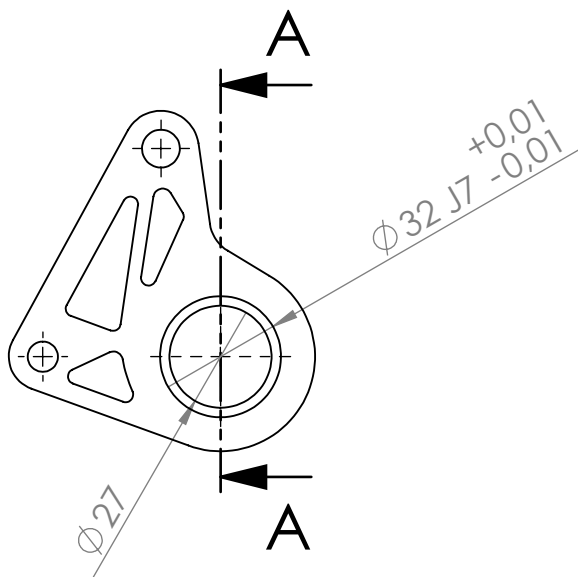
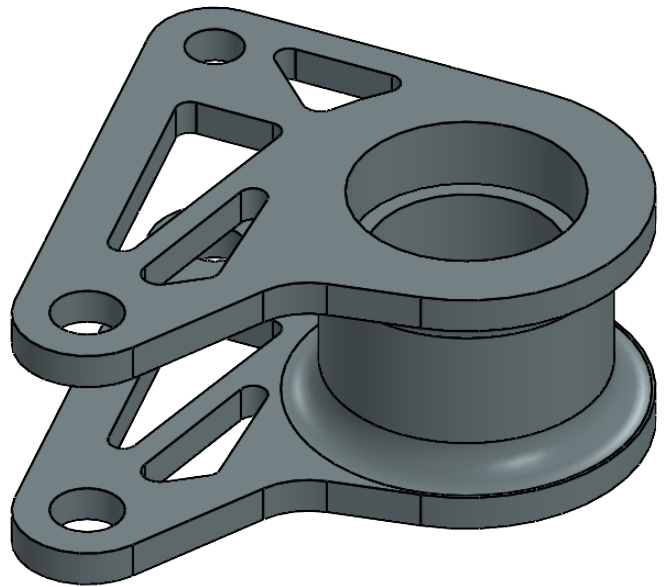
191,68	30,31	76,430	68,00	2,24311	3571,27	15,3560716	1406,	2,5395955
8	500	0	000		5	1	23768	8
							1	
189,78	32,21	72,430	72,00	2,23484	3732,94	15,4699179	1468,	2,5426748
6	700	0	000		5	5	11735	02
							3	
187,86	34,13	68,430	76,00	2,22652	3895,89	15,5858320	1530,	2,5455668
9	400	0	000			7	46068	66
							1	
185,93	36,06	64,430	80,00	2,21822	4060,02	15,7027135	1593,	2,5482316
8	500	0	000		5	4	27153	79
							5	
183,99	38,01	60,430	84,00	2,20983	4225,52	15,8221565	1656,	2,5507796
1	200	0	000			8	56016	8
							2	
182,03	39,97	56,430	88,00	2,20149	4392,20	15,9422990	1720,	2,5531186
0	300	0	000		5	6	32935	69
							8	
180,05	41,95	52,430	92,00	2,19303	4560,33	16,0654091	1784,	2,5553950
2	100	0	000		5	2	59099	54
							4	
178,06	43,94	48,430	96,00	2,18465	4729,65	16,1889897	1849,	2,5574730
0	300	0	000		5	8	34695	53
							4	
176,05	45,95	44,430	100,0	2,17618	4900,42	16,3151715	1914,	2,5594904
1	200	0	0000			8	60764	66
174,02	47,97	40,430	104,0	2,16771	5072,54	16,4430473	1980,	2,5614000
6	700	0	0000		5	1	37982	53
							9	

171,98	50,01	36,430	108,0	2,15922	5246,03	16,5724967	2046,	2,5632028
5	800	0	0000			5	66981	96
							6	
169,92	52,07	32,430	112,0	2,15070	5420,96	16,7040584	2113,	2,5649376
7	600	0	0000			2	48605	78
167,85	54,15	28,430	116,0	2,14216	5597,33	16,8375846	2180,	2,5666001
2	100	0	0000		5	7	83638	49
							8	

11.2. Dades Motorland Aragó



11.3. Plànols



SECCIÓ A-A



ePowered RACING
EEBE

Peça:

BIELETA SUSPENSÍO

Data d'entrega: 01/06/2021

Quantitat: 2

Revisat: Sergio Fernández Prieto

Format:

DIN A4

Escala:

1:2

Projecció:

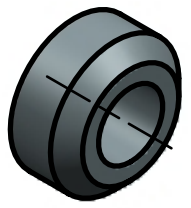
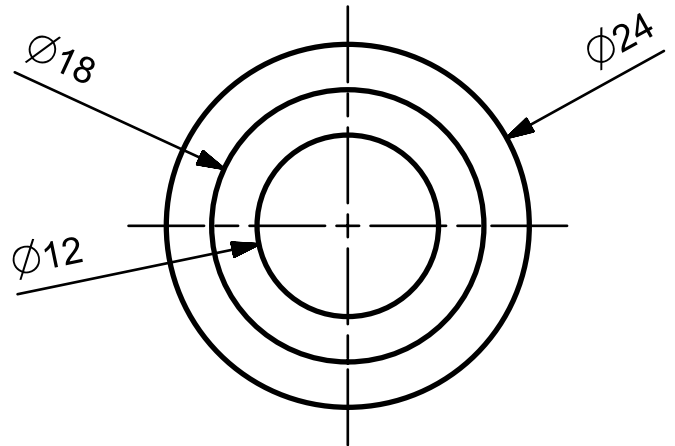
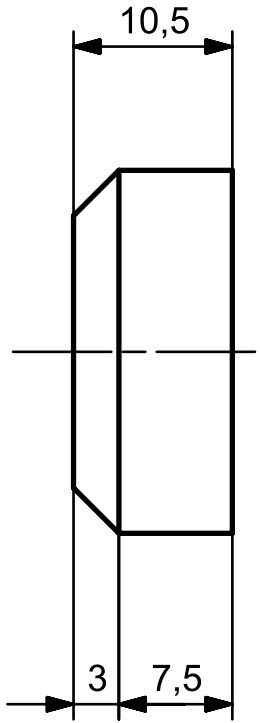
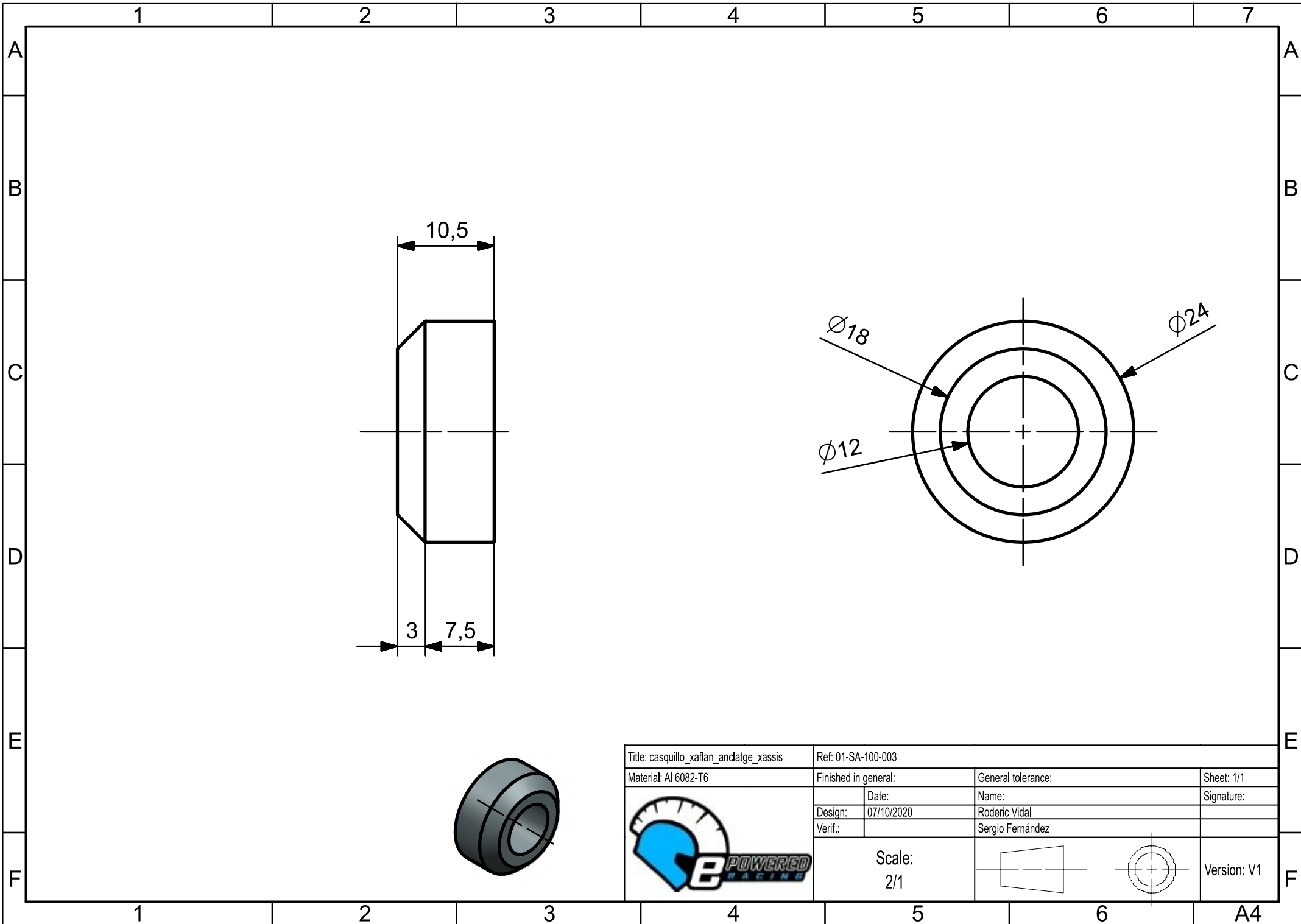


Dibuixat: Roderic Vidal Domenech

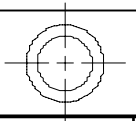
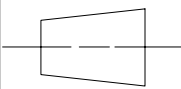
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

Material:

ALUMINI 6082



Title: casquillo_xafan_andatge_xassis		Ref: 01-SA-100-003	
Material: Al 6082-T6		Finished in general:	General tolerance:
		Date:	Name:
		Design: 07/10/2020	Roderic Vidal
		Verif.:	Sergio Fernández
		Scale: 2/1	Version: V1



1 2 3 4 5 6 7

A

A

B

B

C

C

D

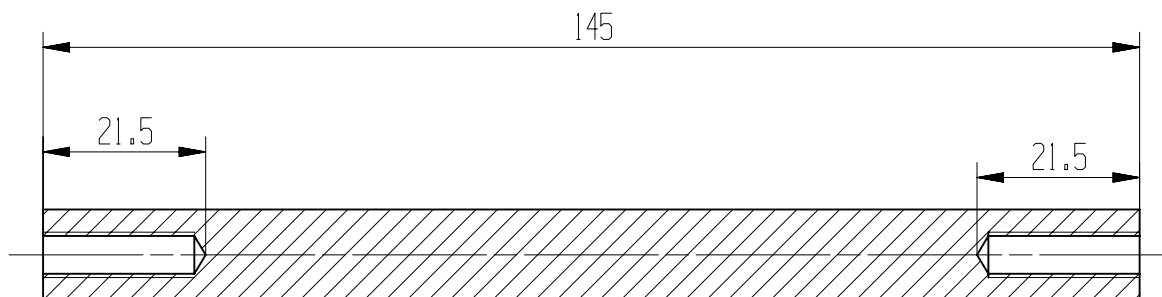
D

E

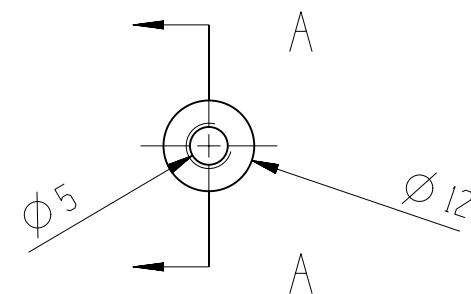
E

F

F

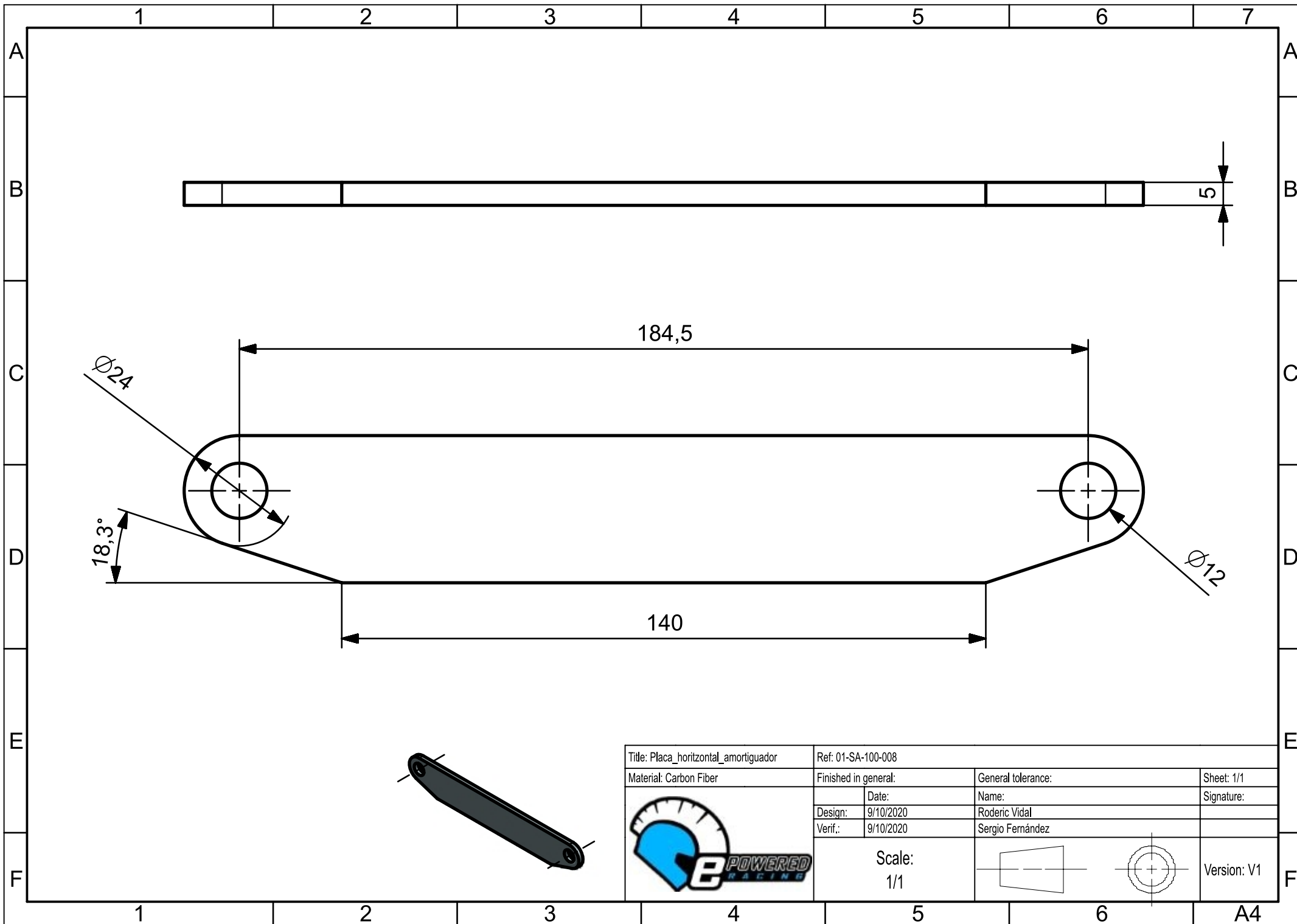



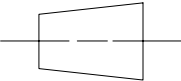
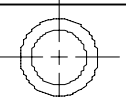
SECTION A - A



Title: Tub_tirant_horizontal		Ref: 01-SA-100-004	
Material: Al 6082-T6		Finished in general:	General tolerance:
		Date:	Name:
		Design: 8/10/2020	Roderic Vidal
		Verif.: 8/10/2020	Sergio Fernández
Scale: 1/1			Sheet: 1/1
			Signature:
			Version: V1

1 2 3 4 5 6 A4



Title: Placa_horizontal_amortiguador		Ref: 01-SA-100-008	
Material: Carbon Fiber		Finished in general:	General tolerance:
		Date:	Name:
		Design: 9/10/2020	Roderic Vidal
Verif.: 9/10/2020		Sergio Fernández	Signature:
Scale: 1/1			
		Version: V1	

6 5 4 3 2 1

D

C

B

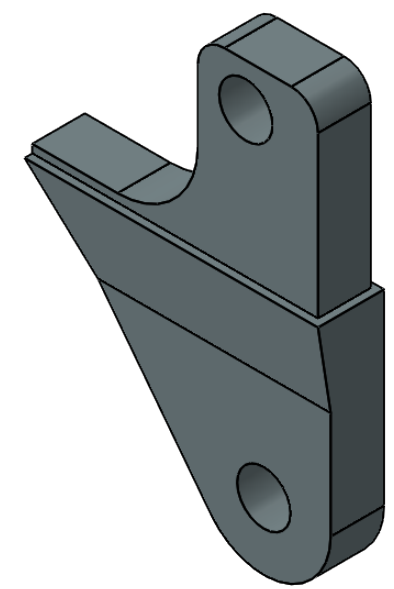
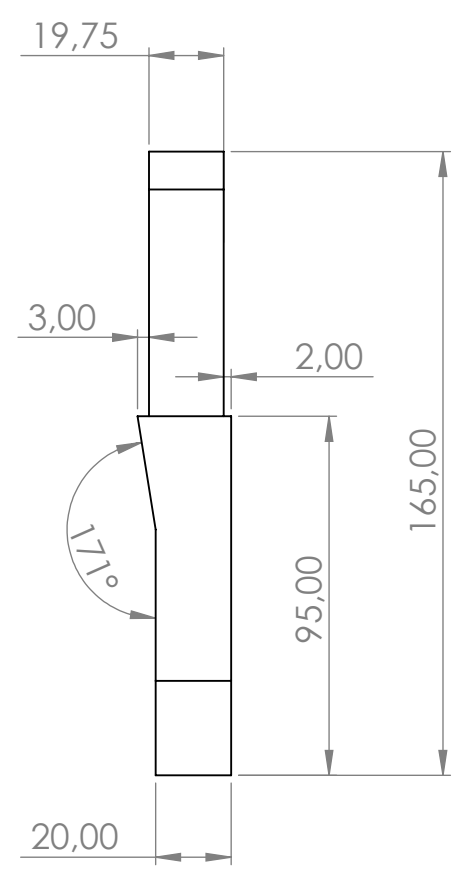
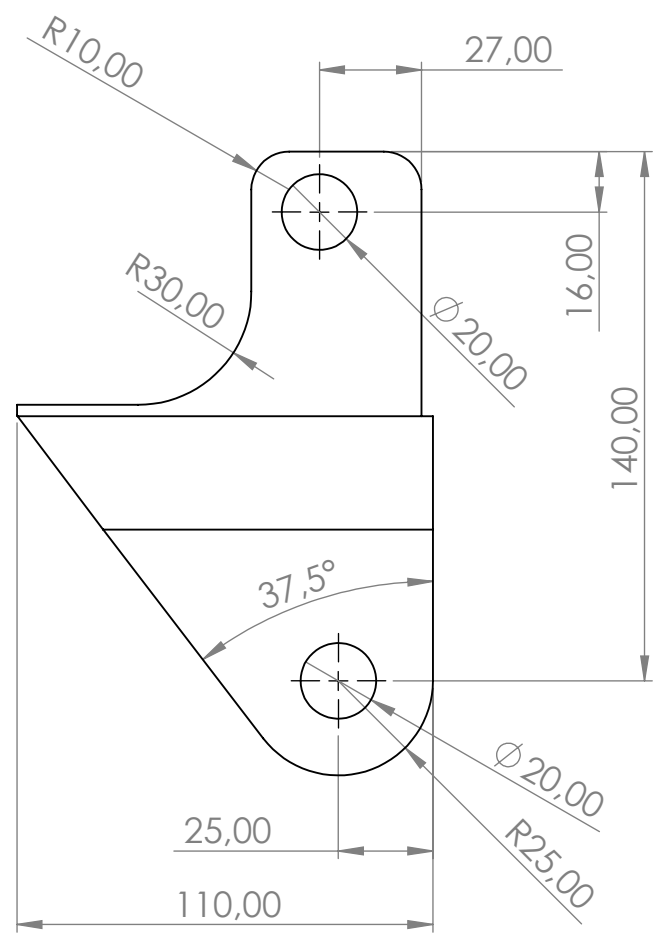
A


D

C

B

A



	TÍTULO:	
	Basculante e-Powered	
MATERIAL: Aluminio 6082	N.º DE DIBUJO	A4
	Basculant_EPR02_mecanizat_dret	ESCALA:1:2
Dibujado: Roderic Vidal Doménech		Fecha: 19/11/2020

D

D

C

C

B

B

A

A

6

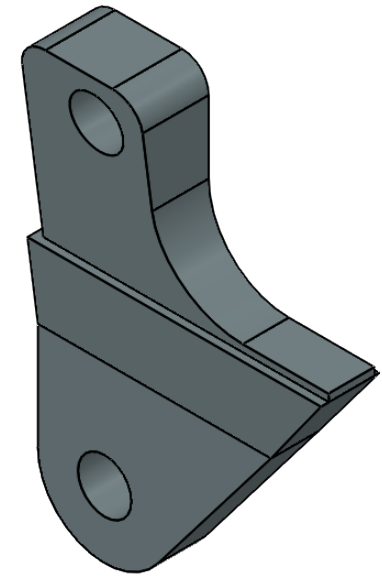
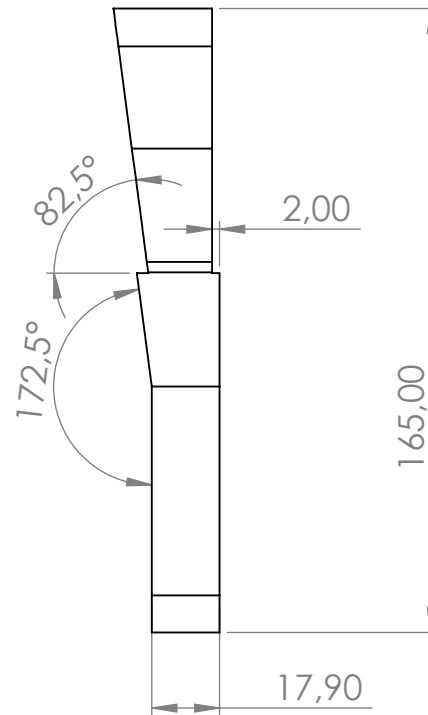
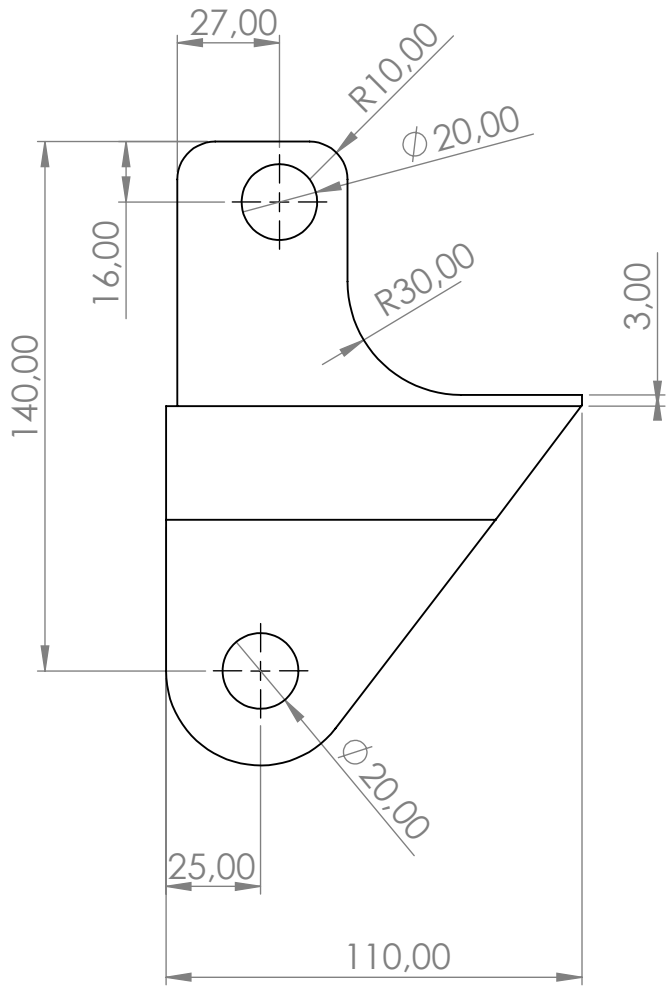
5

4

3

2

1



TÍTULO:

Basculante e-Powered

MATERIAL:

Aluminio 6082

N.º DE DIBUJO

Basculant_EPR02_mecanizat_esquerre

A4

ESCALA:1:2

Dibujado: Roderic Vidal Doménech

Fecha: 19/11/2020

6

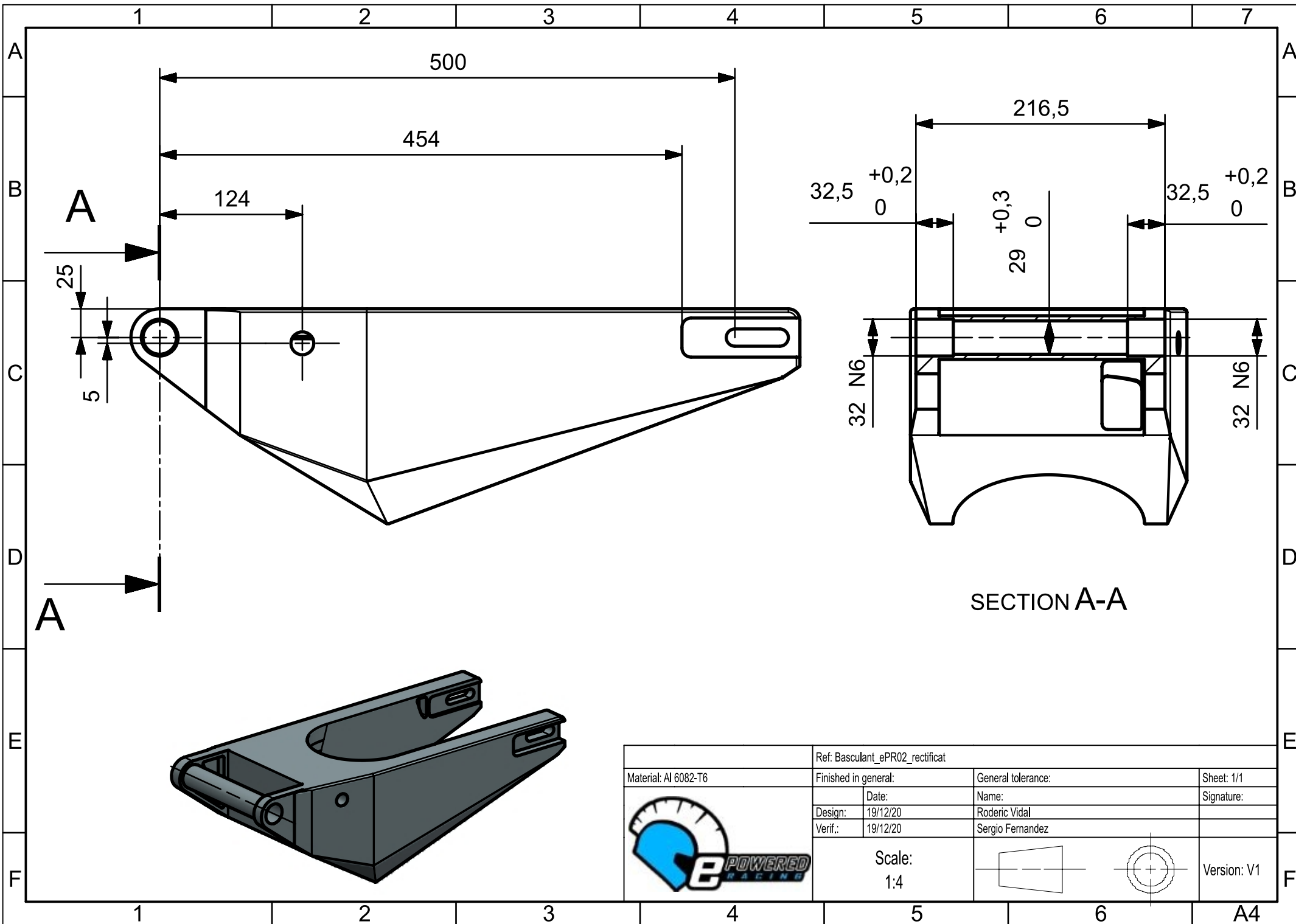
5


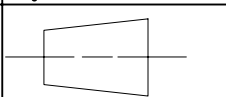
4

3

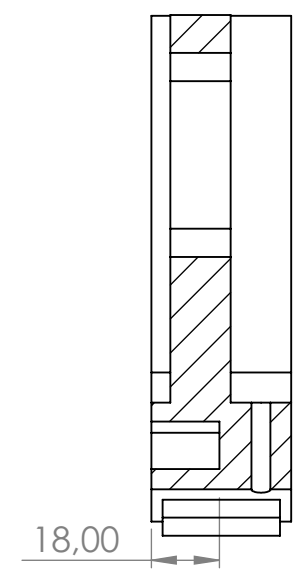
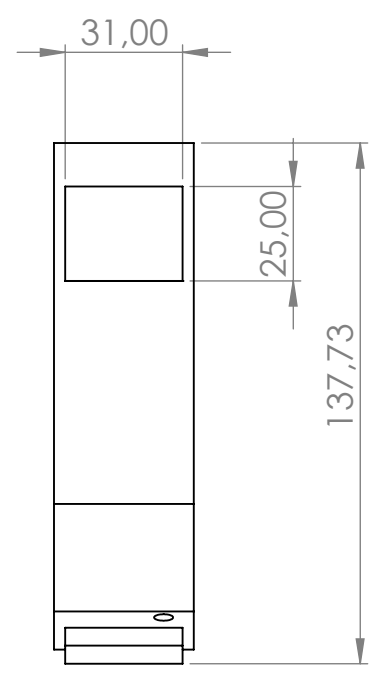
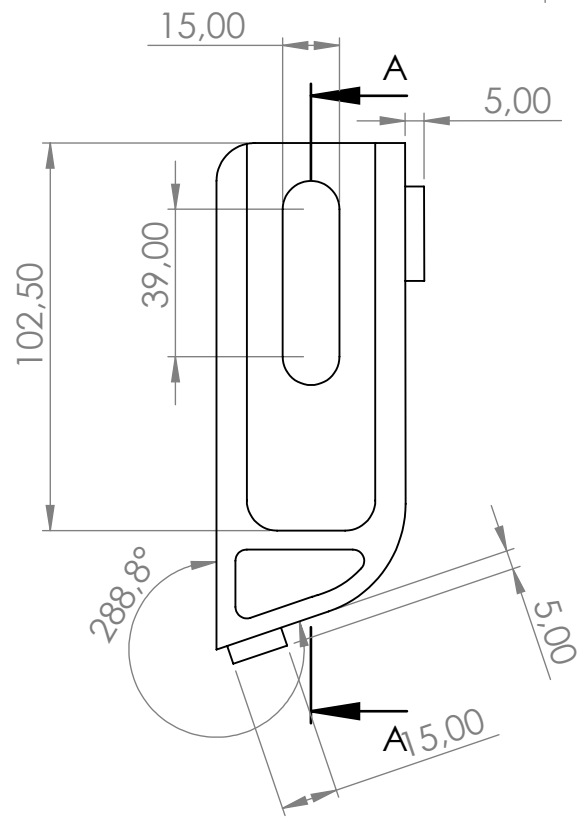
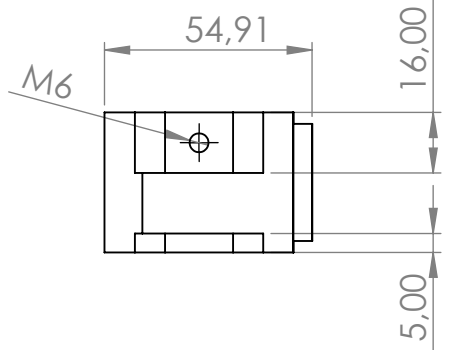
2

1

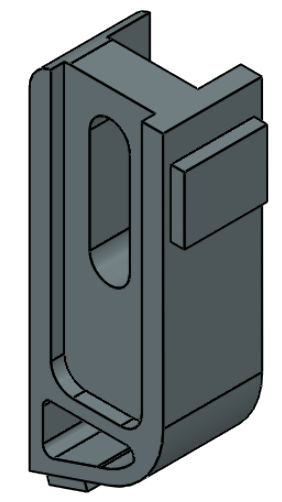


Ref: Basculant_ePR02_rectificat			
Material: Al 6082-T6	Finished in general:	General tolerance:	Sheet: 1/1
	Date:	Name:	Signature:
	Design: 19/12/20	Roderic Vidal	
	Verif.: 19/12/20	Sergio Fernandez	
Scale: 1:4			Version: V1

6 5 4 3 2 1




SECCIÓN A-A



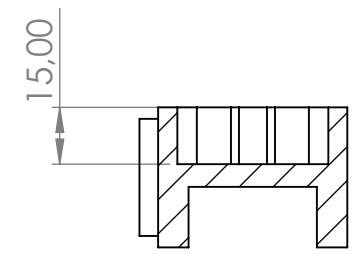
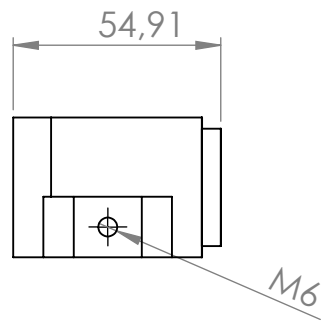
D
C
B
A

D
C
B
A

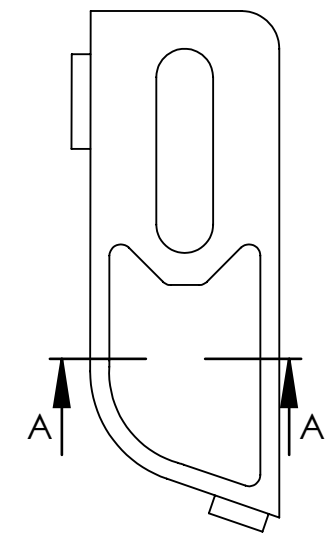
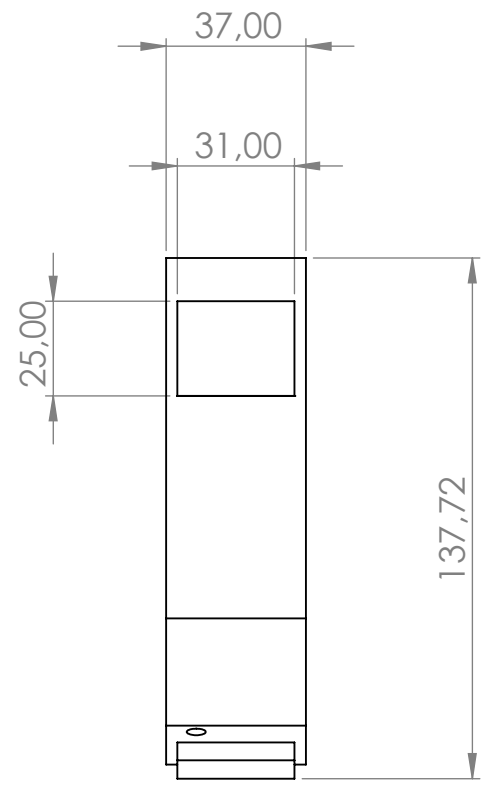
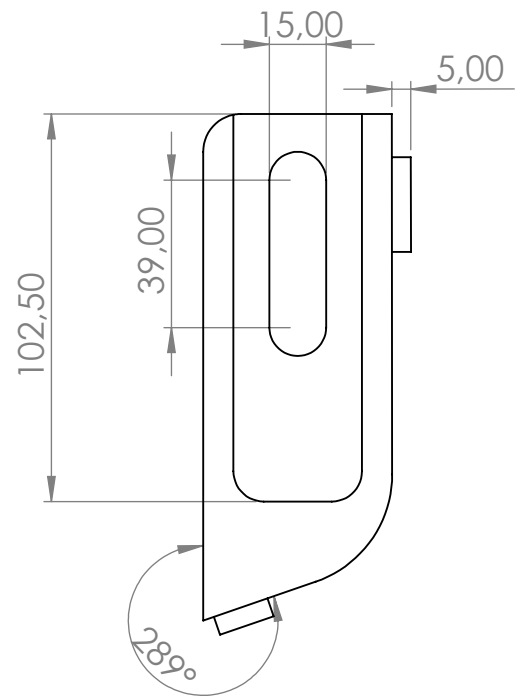
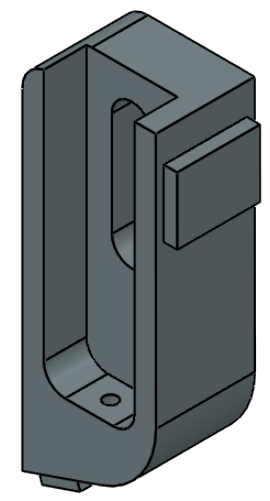
	TÍTULO: Basculante e-Powered	
	MATERIAL: Aluminio 6082	N.º DE DIBUJO: Basculant_EPR02_talonera_dreta
Dibujado: Roderic Vidal Doménech		Fecha: 19/11/2020

6 5 4 3 2 1

6 5 4 3 2 1



SECCIÓN A-A



TÍTULO:
Basculante e-Powered

MATERIAL:
Aluminio 6082

N.º DE DIBUJO
Basculant_EPR02_talonera_esquerra

A4
ESCALA:1:2

Dibujado: Roderic Vidal Doménech

Fecha: 25/10/2020

6 5 4 3 2 1

D
C
B
A

D
C
B
A

1

2

3

4

5

6

7

A

A

B

B

C

C

D

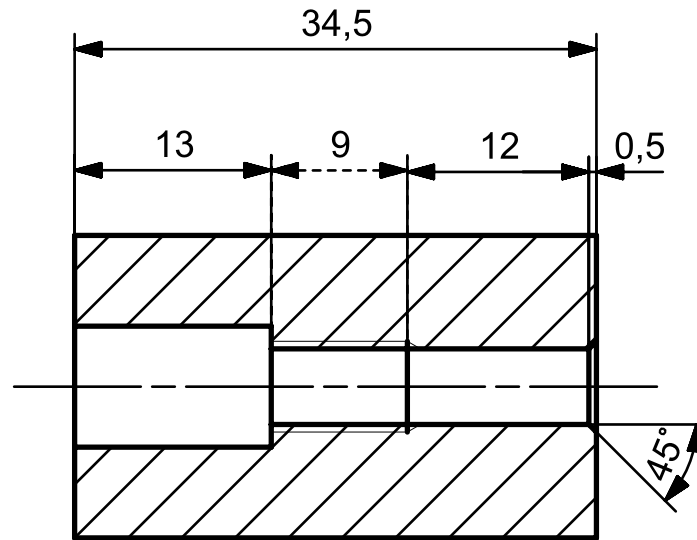
D

E

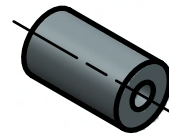
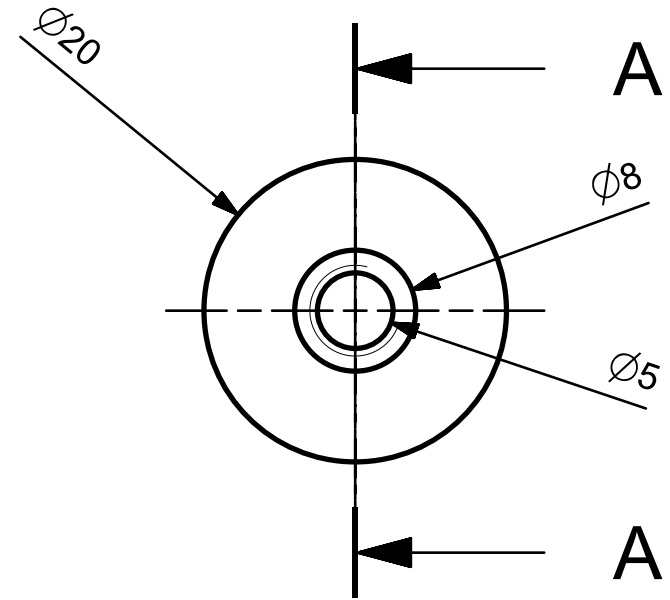
E

F

F



SECTION A-A



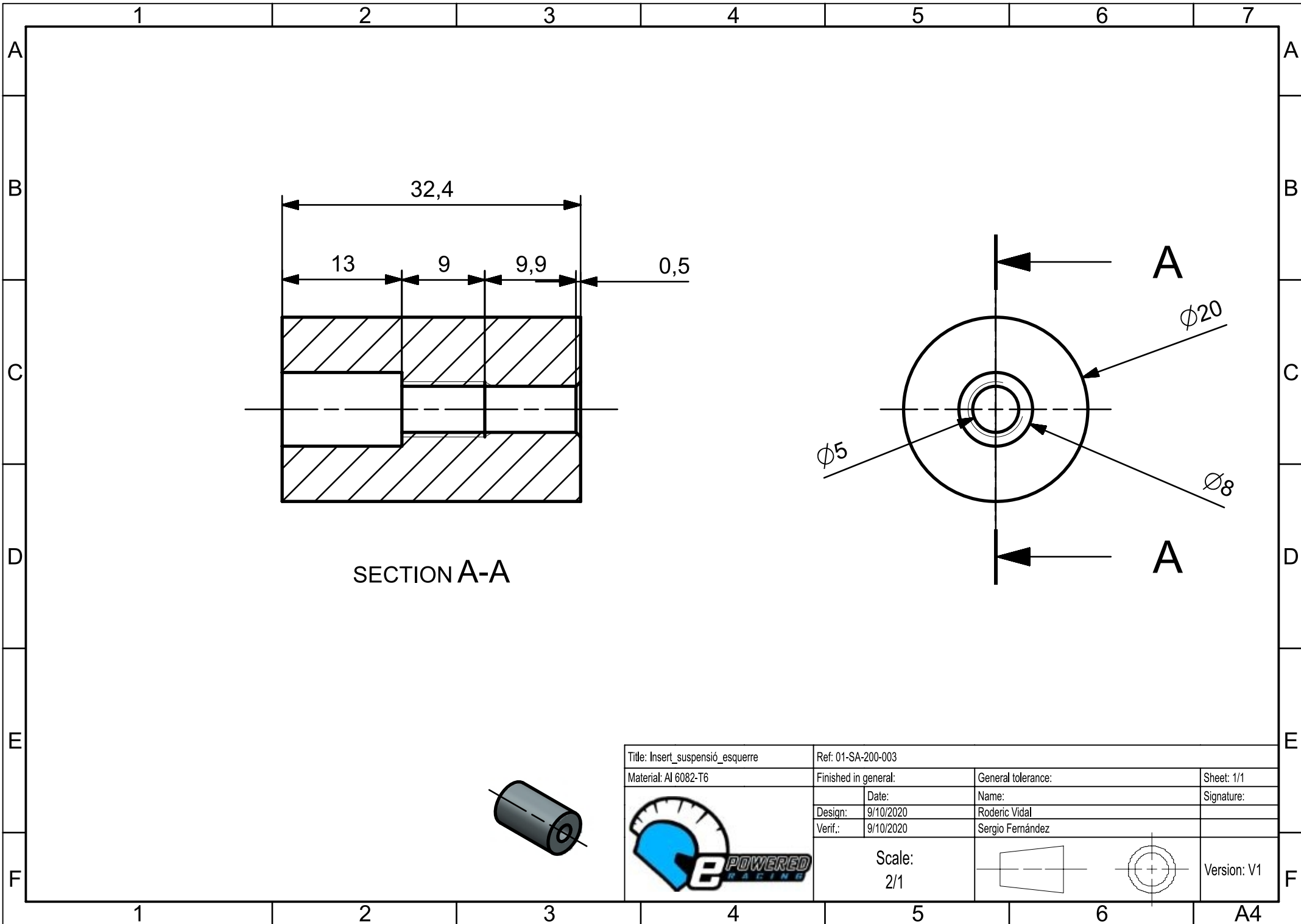
Title: Insert_suspensió_dret		Ref: 01-SA-200-002	
Material: Al 6082-T6		Finished in general:	General tolerance:
		Date:	Name:
		Design: 9/10/2020	Roderic Vidal
		Verif.: 9/10/2020	Sergio Fernández
		Scale: 2/1	Version: V1

Sheet: 1/1


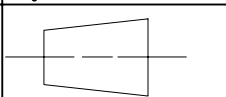
Signature:

Version: V1

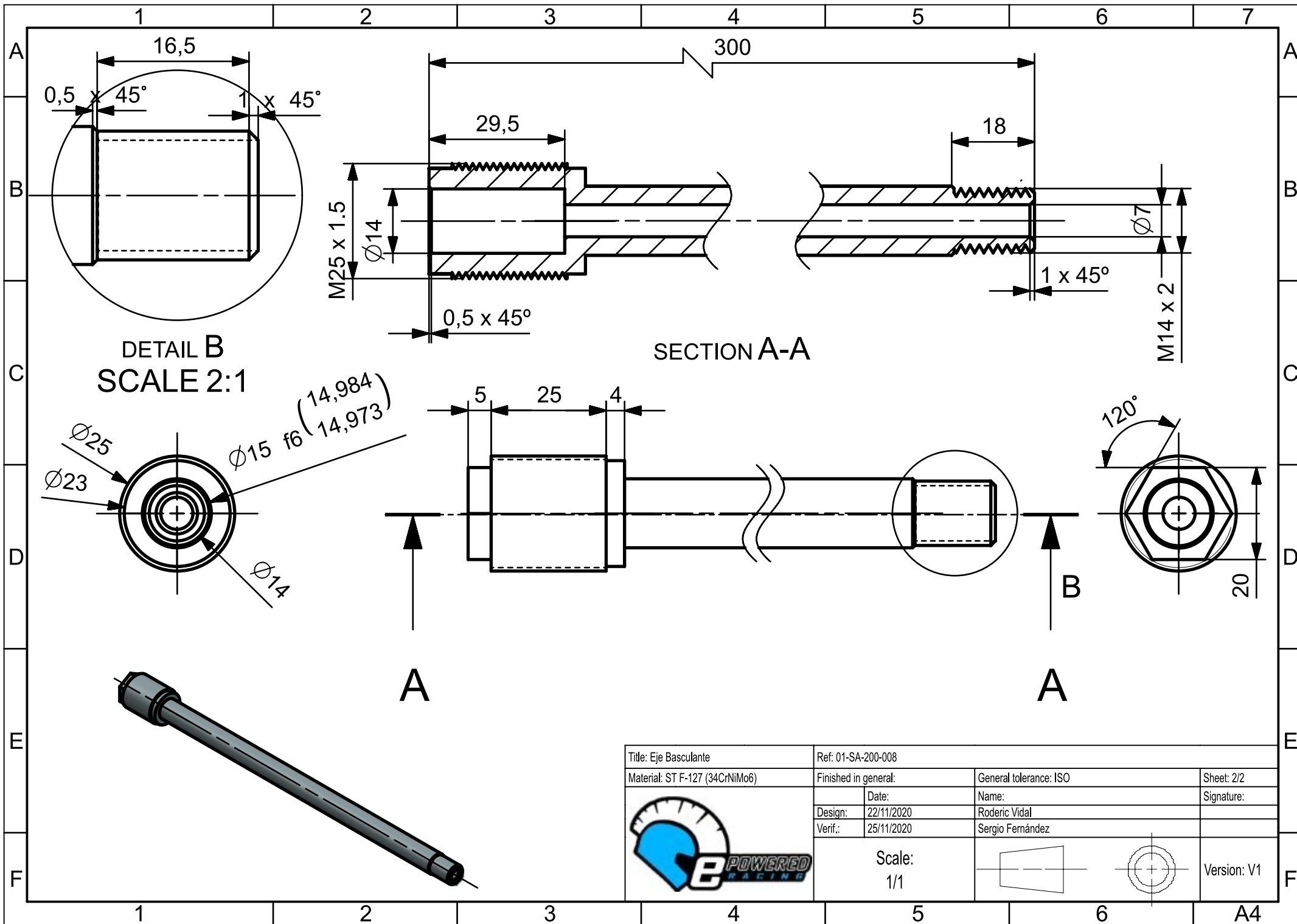
A4



SECTION A-A

Title: Insert_suspensió_esquerre		Ref: 01-SA-200-003	
Material: Al 6082-T6		Finished in general:	General tolerance:
		Date:	Name:
		Design: 9/10/2020	Roderic Vidal
		Verif.: 9/10/2020	Sergio Fernández
Scale: 2/1			Sheet: 1/1
			Signature:
			Version: V1





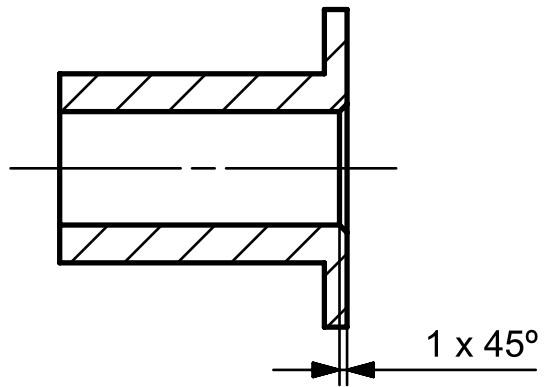
DETAIL B
SCALE 2:1

SECTION A-A

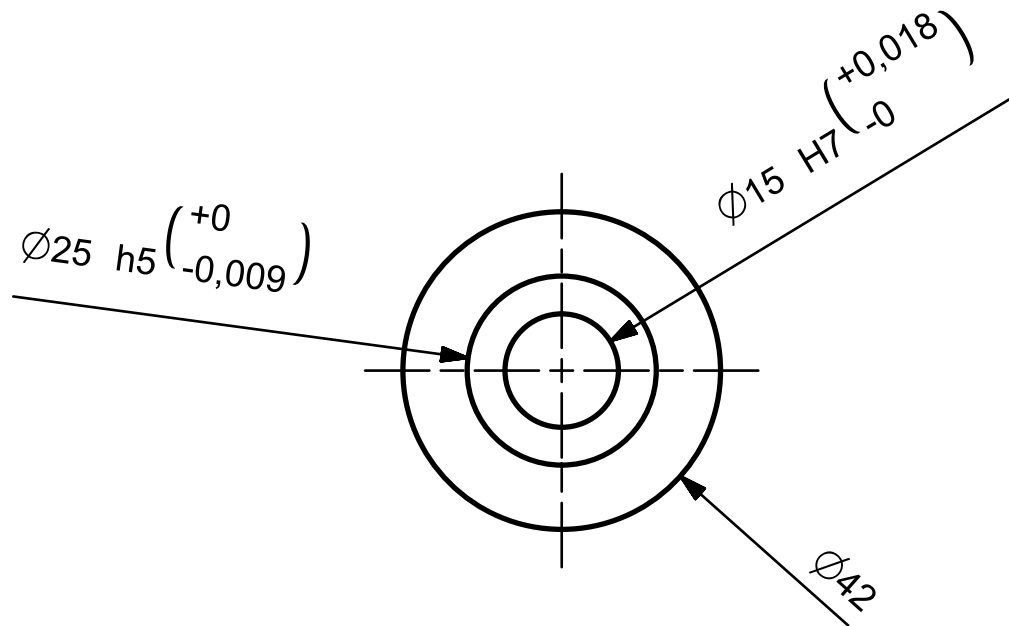
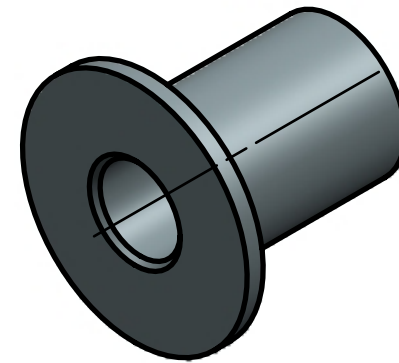
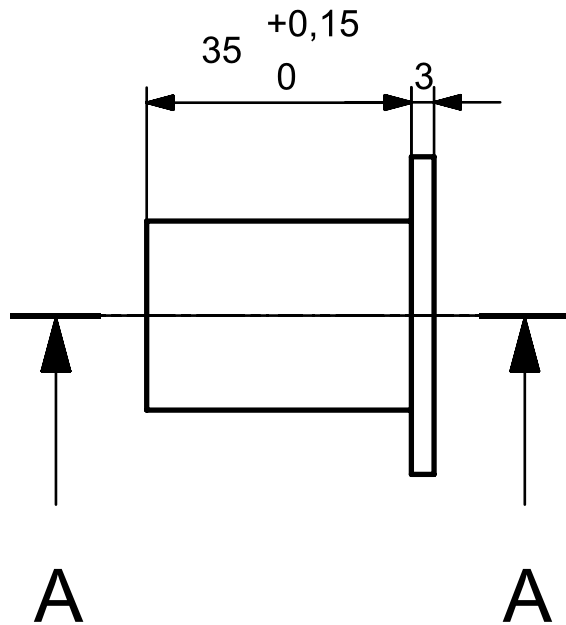
A

A

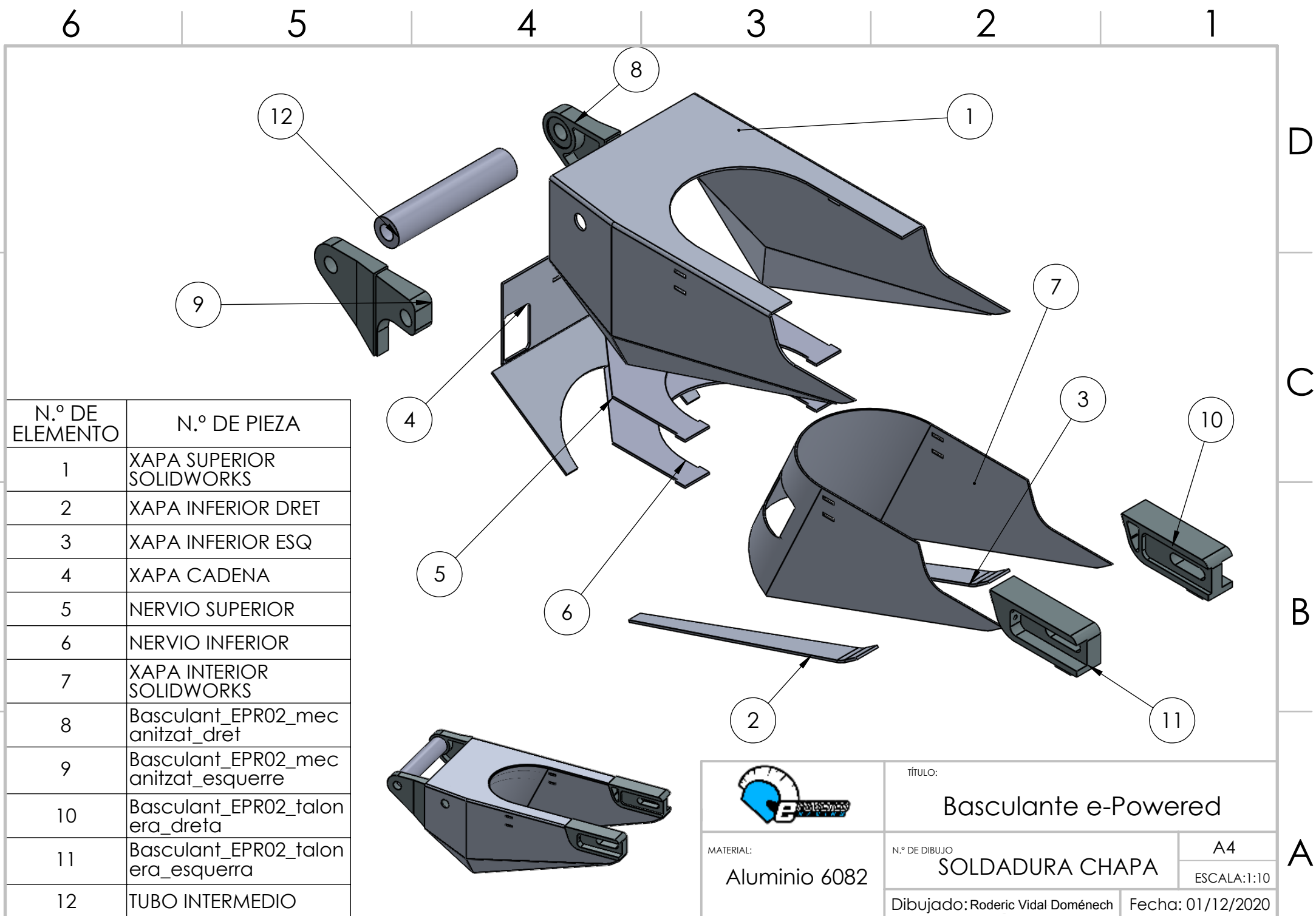
Title: Eje Basculante		Ref: 01-SA-200-008	
Material: ST F-127 (34CrNiMo6)		Finished in general:	General tolerance: ISO
		Date:	Name:
		Design: 22/11/2020	Roderic Vidal
		Verif.: 25/11/2020	Sergio Fernández
Scale: 1/1			Version: V1




SECTION A-A

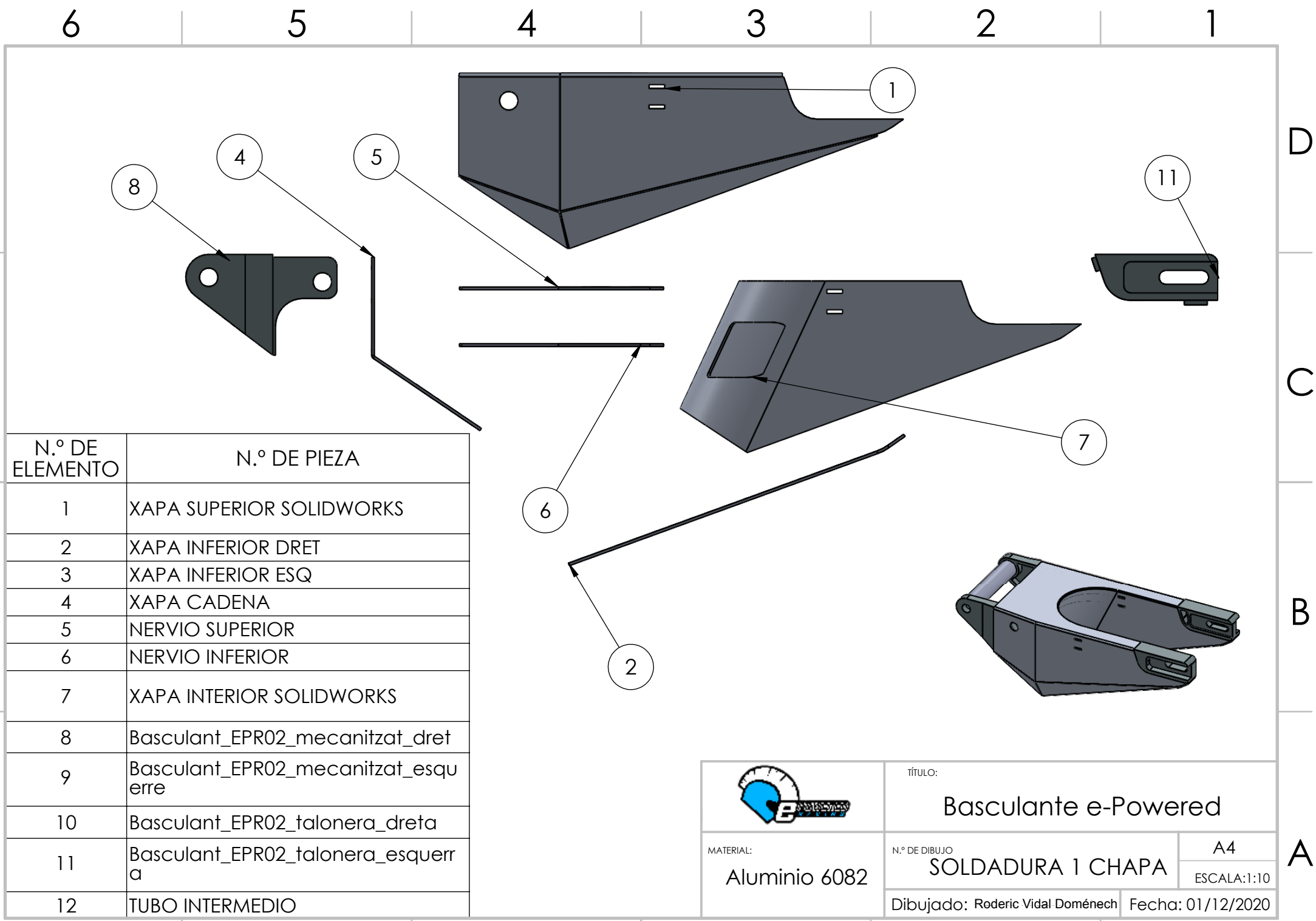


Title: Casquillo valona		Ref: 01-SA-200-012	
Material: ST F-127 (CrNiMo6)		Finished in general:	General tolerance: ISO
		Date:	Name:
		Design: 22/11/2020	Roderic Vidal
		Verif.: 25/11/2020	Sergio Fernández
Scale: 1/1			
			Version: V1




N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA
1	XAPA SUPERIOR SOLIDWORKS
2	XAPA INFERIOR DRET
3	XAPA INFERIOR ESQ
4	XAPA CADENA
5	NERVIO SUPERIOR
6	NERVIO INFERIOR
7	XAPA INTERIOR SOLIDWORKS
8	Basculant_EPR02_mec anitzat_dret
9	Basculant_EPR02_mec anitzat_esquerre
10	Basculant_EPR02_talon era_dreta
11	Basculant_EPR02_talon era_esquerre
12	TUBO INTERMEDIO

	TÍTULO: Basculante e-Powered	
	MATERIAL: Aluminio 6082	N.º DE DIBUJO SOLDADURA CHAPA
Dibujado: Roderic Vidal Doménech		Fecha: 01/12/2020



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA
1	XAPA SUPERIOR SOLIDWORKS
2	XAPA INFERIOR DRET
3	XAPA INFERIOR ESQ
4	XAPA CADENA
5	NERVIO SUPERIOR
6	NERVIO INFERIOR
7	XAPA INTERIOR SOLIDWORKS
8	Basculant_EPR02_mecanitzat_dret
9	Basculant_EPR02_mecanitzat_esqu erre
10	Basculant_EPR02_taloner a_dreta
11	Basculant_EPR02_taloner a_esquerra
12	TUBO INTERMEDIO

	TÍTULO: Basculante e-Powered	
	MATERIAL: Aluminio 6082	N.º DE DIBUJO SOLDADURA 1 CHAPA ESCALA: 1:10
Dibujado: Roderic Vidal Doménech		Fecha: 01/12/2020

6 5 4 3 2 1

D

D

C

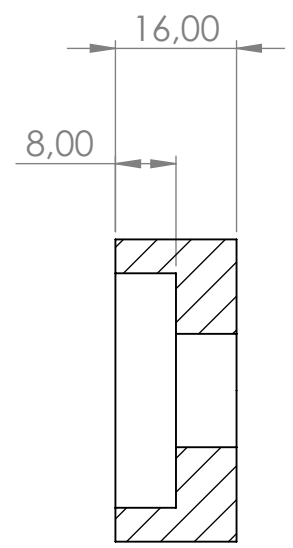
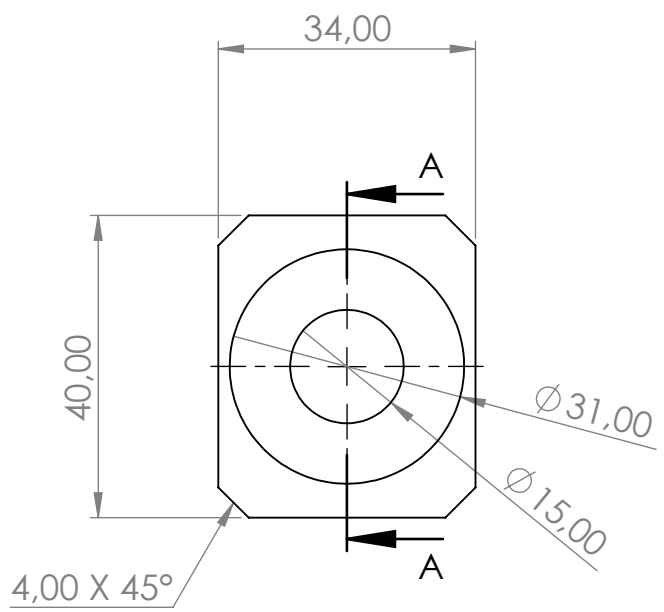
C

B

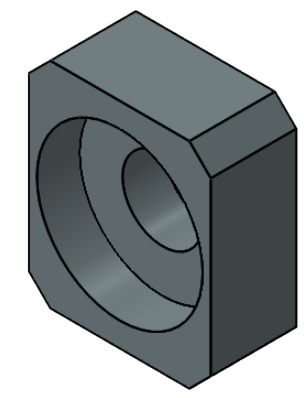
B


A

A



SECCIÓN A-A



	TÍTULO:	
	Basculante e-Powered	
MATERIAL:	N.º DE DIBUJO	A4
		ESCALA:1:1
Aluminio 6082	Tensor_cadena_EPR02	
Dibujado: Sergio Fernandez		Fecha: 19/11/2020

6 5 4 3 2 1

6 5 4 3 2 1

D

C

B

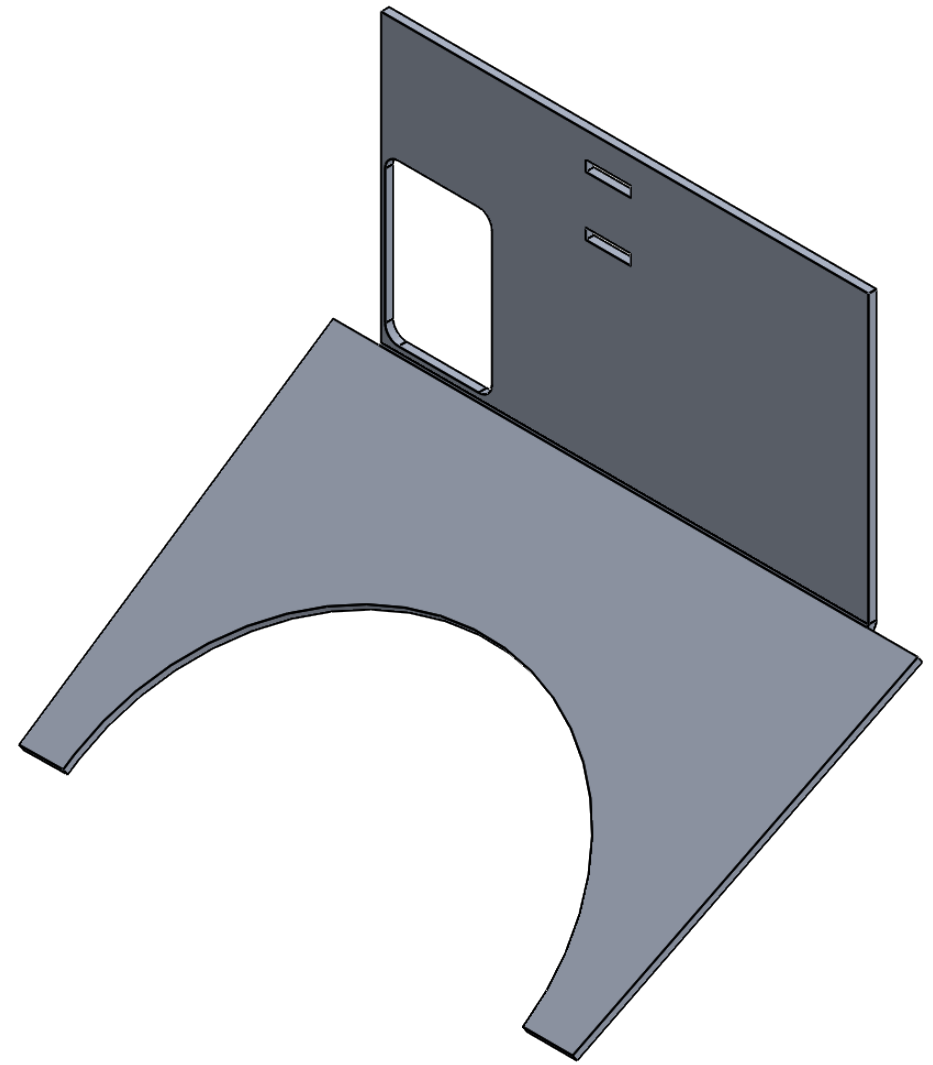
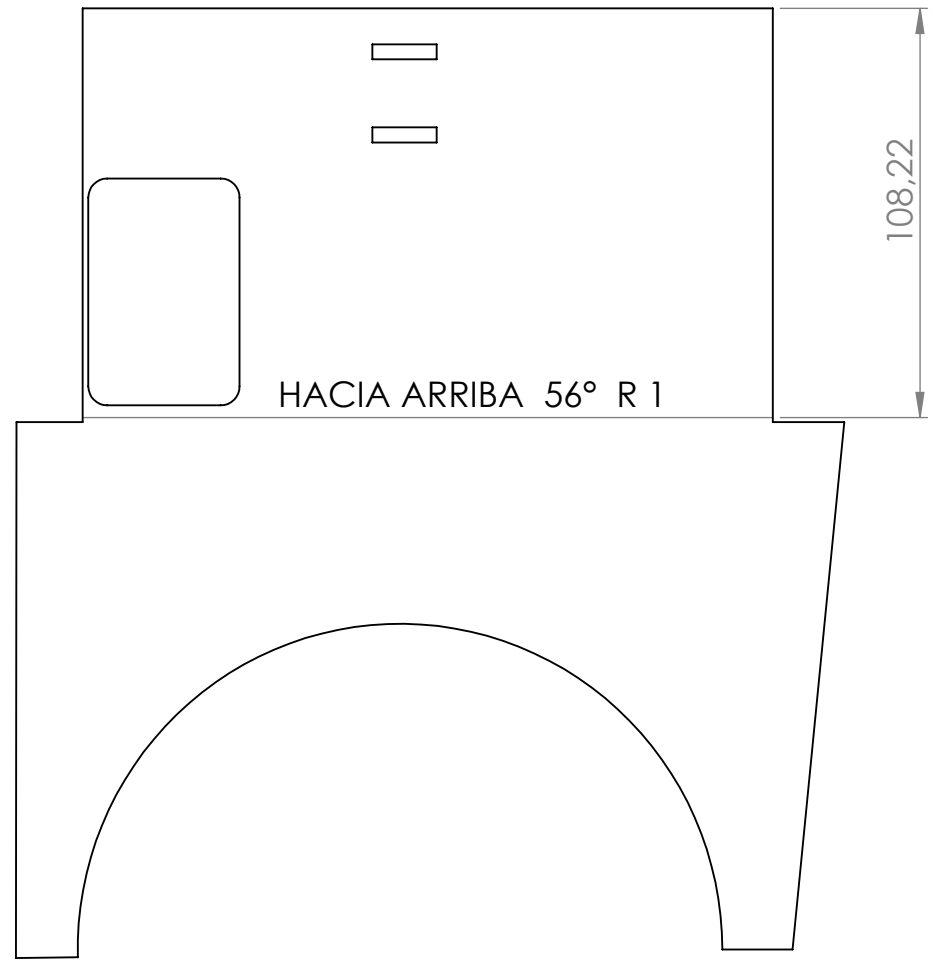
A

D

C

B

A



	TÍTULO:	
	Basculante e-Powered	
MATERIAL: Aluminio 6082	N.º DE DIBUJO	A4
	XAPA CADENA	
Dibujado: Roderic Vidal Doménech		Fecha: 25/10/2020

6 5 4 3 2 1

6

5

4

3

2

1

D

D

C

C

B

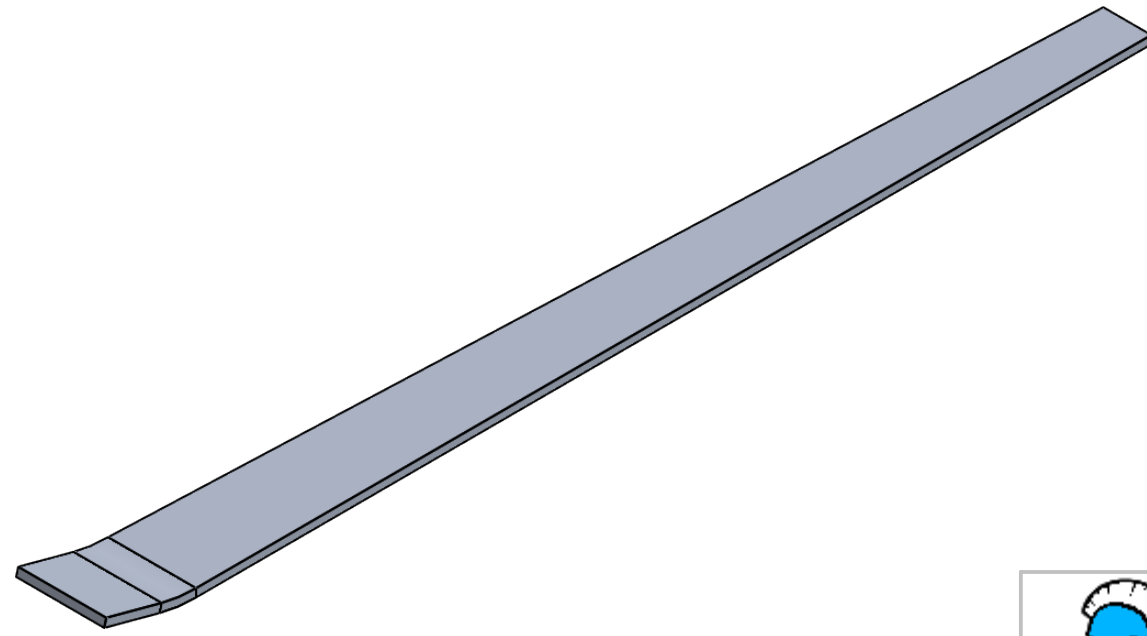
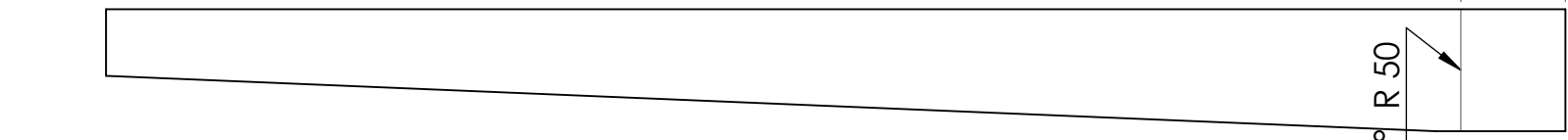
B

A

A

28,16

HACIA ARRIBA 15° R 50



TÍTULO:
Basculante e-Powered

MATERIAL:
Aluminio 6082

N.º DE DIBUJO
XAPA INFERIOR DRET

A4
 ESCALA:1:2

Dibujado: Roderic Vidal Doménech

Fecha: 25/10/2020

6

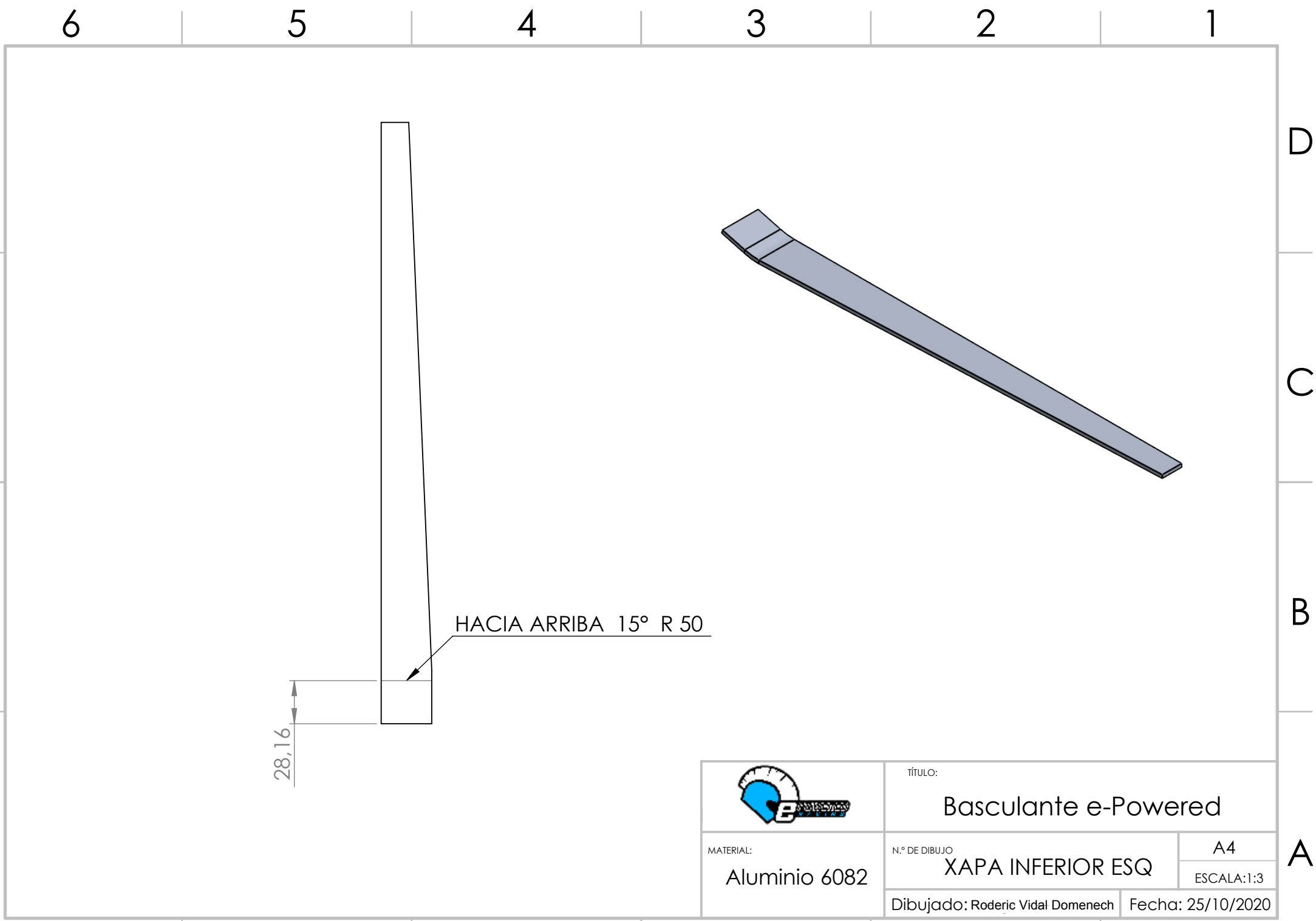
5

4

3

2

1



6 5 4 3 2 1

D

D

C

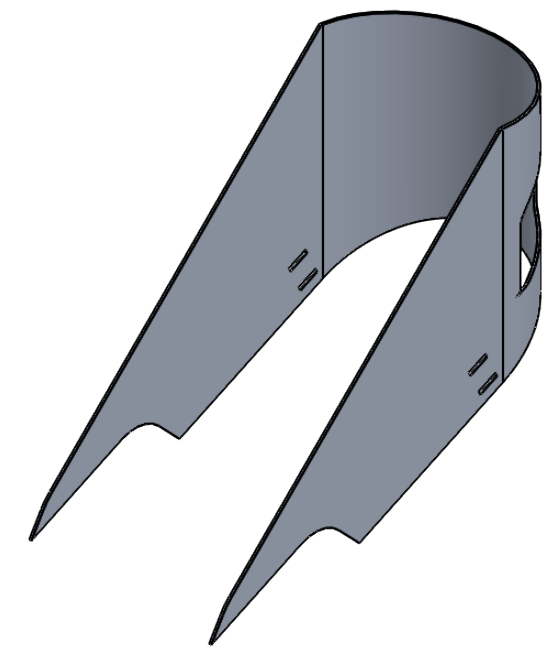
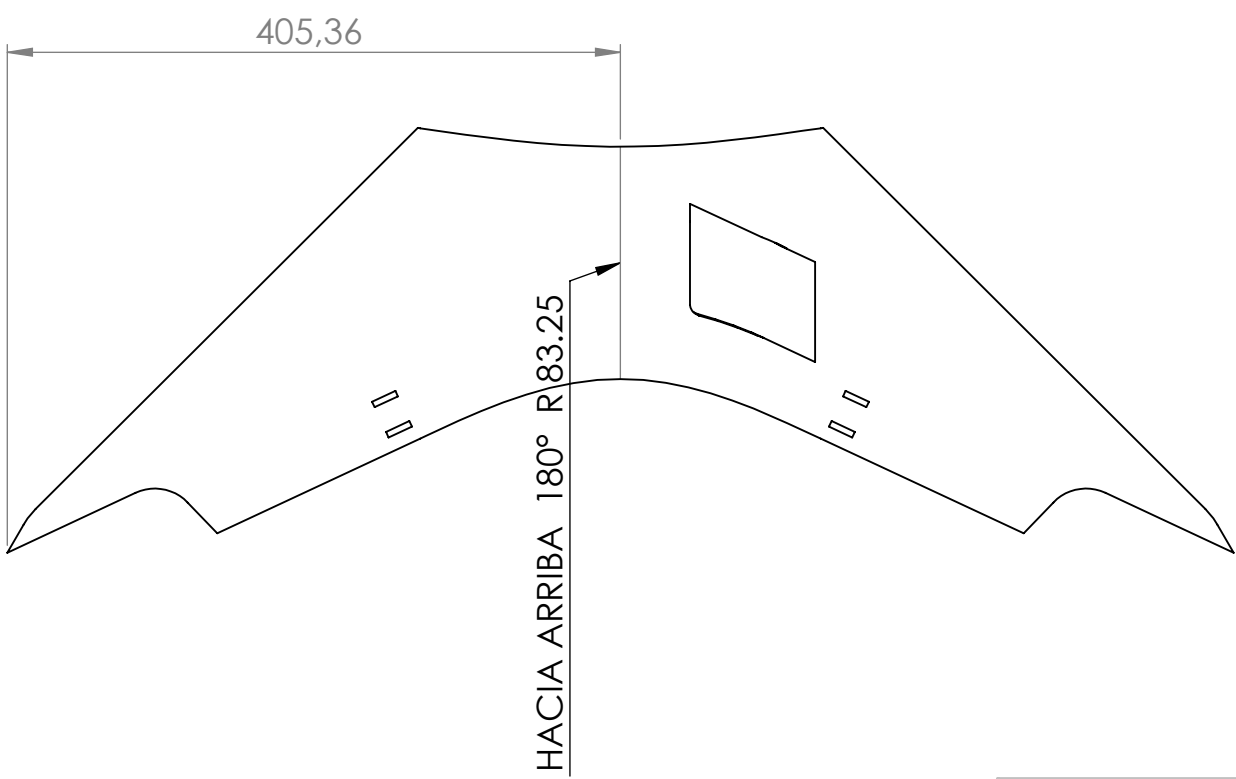
C


B

B

A

A

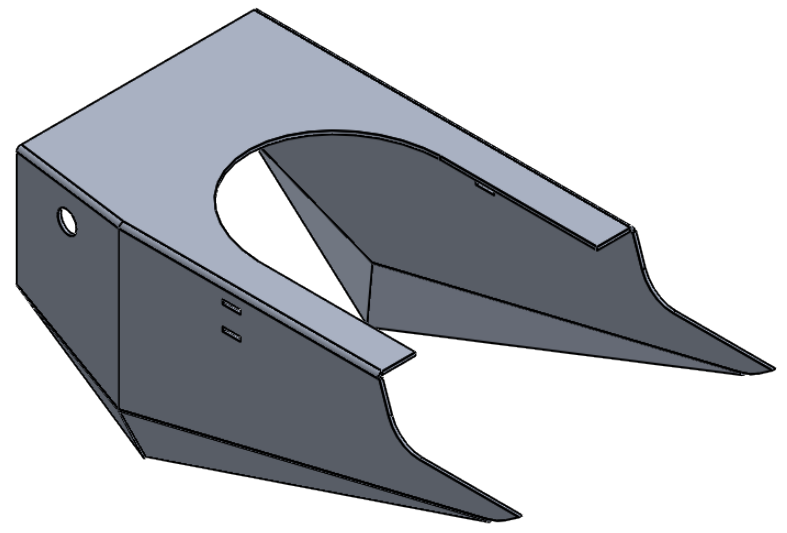
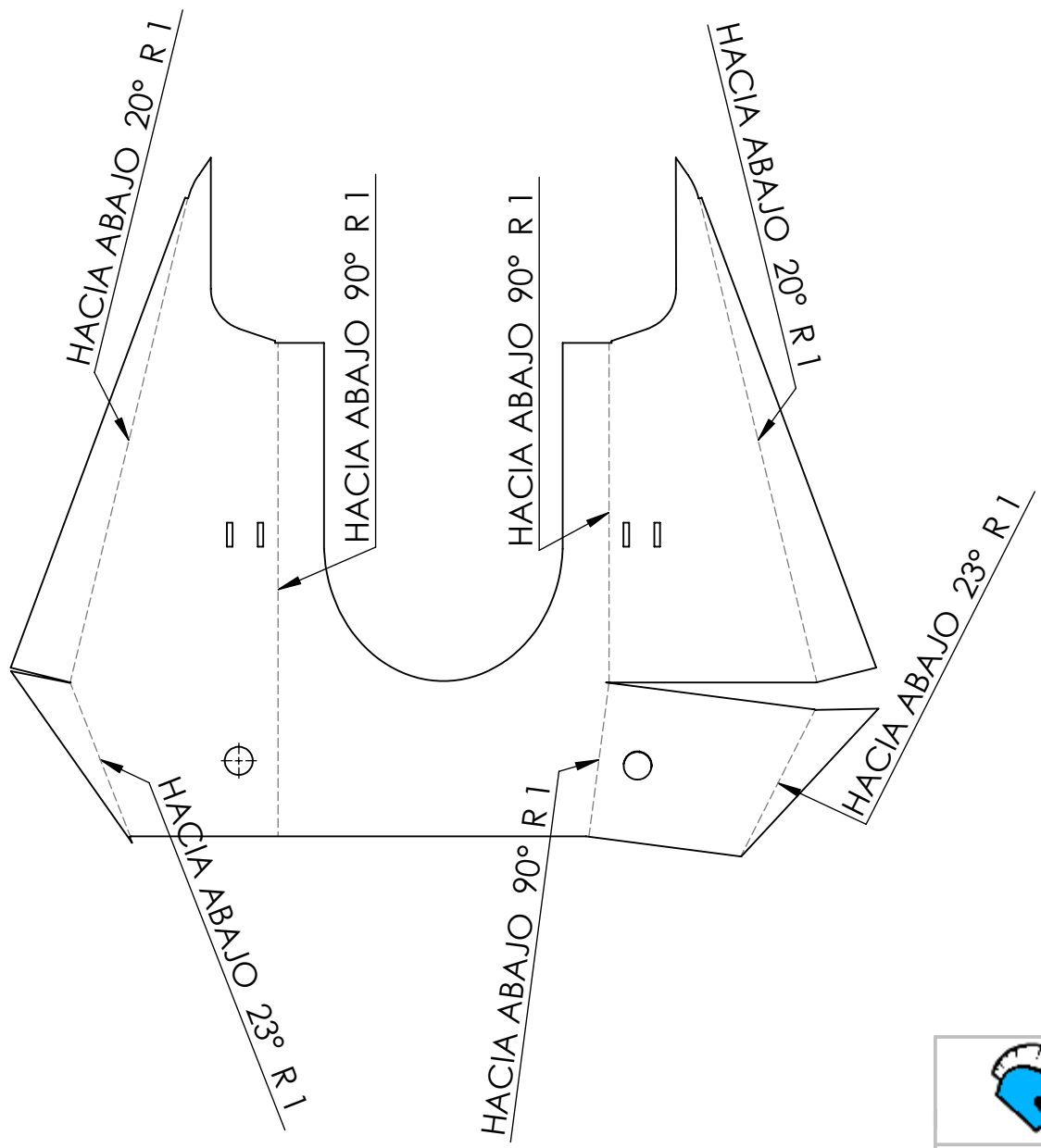


	TÍTULO:	
	Basculante e-Powered	
MATERIAL: Aluminio 6082	N.º DE DIBUJO	A4
	XAPA INTERIOR SOLIDWORKS	ESCALA:1:5
Dibujado: Roderic Vidal Doménech		Fecha: 25/10/2020


6 5 4 3 2 1

6 5 4 3 2 1

D
C
B
A



D
C
B
A

	TÍTULO:	
	Basculante e-Powered	
MATERIAL: Aluminio 6082	N.º DE DIBUJO	A4
	XAPA SUPERIOR SOLIDWORKS	ESCALA:1:5
Dibujado: Roderic Vidal Doménech		Fecha: 25/10/2020

6 5 4 3 2 1