

Treball de Fi de Grau
Enginyeria Mecànica



**Millora del disseny del pedal d'una
Assault Bike
Treball Fi de Grau**

Autor: Alba Sanabra Miquel
Director: Iván García Sierra
Data: Gener 2023



ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR
D'ENGINYERIA QUÍMICA
Universitat Rovira i Virgili

etsEQ

Treball de Fi de Grau
Enginyeria Mecànica



**Millora del disseny del pedal d'una
Assault Bike
Treball Fi de Grau**

Document 1: Índex general

Autor: Alba Sanabra Miquel
Director: Iván García Sierra
Data: Gener 2023



ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR
D'ENGINYERIA QUÍMICA
Universitat Rovira i Virgili

etsEQ

ÍNDIX GENERAL

1.	MEMÒRIA.....	2
1.1.	Objecte del projecte.....	2
1.2.	Abast del projecte	4
1.3.	Antecedents del projecte.....	5
1.3.1.	Història de l'AirBike.....	5
1.4.	Normes i referències.....	9
1.4.1.	Disposicions legals i normes aplicades.....	9
1.4.2.	Programes de càlcul i de disseny	9
1.5.	Definicions i abreviatures.....	10
1.5.1.	Definicions genèriques màquines d'entrenament.....	10
1.5.2.	Components mecànics de l'AirBike.....	10
1.5.3.	Elements del CrossFit.....	14
1.6.	Requisits de disseny	15
1.6.1.	Subconjunt pedal-biela-manillar	15
1.6.2.	Ergonomia de la AirBike	16
1.6.3.	Seguretat de l'AirBike.....	17
1.7.	Anàlisi del motiu de la ruptura	19
1.7.1.	Material de la peça.....	19
1.7.2.	Determinació de les forces aplicades i esforços	22
1.7.3.	Anàlisi de trencament estàtic.....	30
1.7.4.	Anàlisi de trencament per fatiga	31
1.8.	Proposta d'alternatives	34
1.8.1.	Alternativa 1: canvi de material	34
1.8.2.	Alternativa 2: canvi de geometria.....	36
1.8.3.	Alternativa 3: modificació de les dimensions de la peça	38



1.9.	Anàlisi de l'alternativa escollida i resultats finals.....	40
1.9.1.	Alternativa escollida.....	40
1.9.2.	Resultats finals	43
1.10.	Resum del pressupost	45
1.11.	Bibliografia	46
2.	ANNEXES.....	2
2.1.	Annex determinació del material de la peça a estudiar (proprietats del material)	2
2.1.1.	Comprovació de la densitat del material	2
2.1.2.	Comprovació de les propietats magnètiques del material	4
2.1.3.	Comprovació de la duresa del material	5
2.2.	Annex relació i funcionament dels components mòbils de l'AirBike.....	10
2.3.	Annex forces externes aplicades segons l'angle de pedalada	13
2.3.1.	Posició amb el pedal situat a 0º respecte a l'horitzontal.....	13
2.3.2.	Posició amb el pedal situat a 270º respecte a l'horitzontal.....	14
2.3.3.	Posició amb el pedal situat a 180º respecte a l'horitzontal.....	16
2.3.4.	Posició amb el pedal situat a 90º respecte a l'horitzontal.....	17
2.4.	Annex determinació de les forces externes aplicades.....	20
2.4.1.	Determinació de les masses e inèrcies de les baules del mecanisme	25
2.4.2.	Estudi cinemàtic del mecanisme.....	27
2.4.3.	Determinació forces (Mètode Alembert)	38
2.5.	Annex càlcul de la força exercida pel cargol	45
2.6.	Annex carregues que actuen sobre el punt de trencament	48
2.7.	Annex per l'estudi del trencament de la peça (càlcul estàtic i a fatiga)	52
2.7.1.	Trencament estàtic	52
2.7.2.	Trencament per fatiga.....	64
2.8.	Annex estudi d'alternatives	76
2.8.1.	Estudi alternativa 1: canvi de material.....	76



Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

2.8.2.	Estudi alternativa 2: canvi de geometria	81
2.8.3.	Estudi alternativa 3: modificació de les dimensions actuals.....	87
2.9.	Annex resultats de l'alternativa escollida	91
2.9.1.	Càlcul inèrcies de la secció	95
2.9.2.	Resistència del disseny final.....	97
2.9.3.	Càlcul de rodaments	99
3.	PLÀNOLS.....	2
	Plànol 1: Disc pedal.....	3
	Plànol 2: Acoblament biela.....	4
	Plànol 3: Eix unió pedal.....	5
	Plànol 4: Pedal.....	6
	Plànol 5: Extrem pedal.....	7
	Plànol 6: Biela.....	8
	Plànol 7: Eix.....	9
	Plànol 8: Manillar esquerre.....	10
	Plànol 9: Manillar dret.....	11
	Plànol 10: Conjunt AirBike.....	12
	Plànol 11: Explosionat.....	13
	Plànol 12: Subconjunt pedal.....	14
	Plànol 13: Subconjunt biela-manillar.....	15
4.	PLEC DE CONDICIONS.....	2
4.1.	Presentació.....	2
4.2.	Plec de condicions tècniques	3
4.2.1.	Plec de condicions tècniques generals.....	3



Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

4.2.2.	Plec de condicions tècniques particulars	3
4.3.	Plec de condicions facultatiu	7
4.3.1.	Drets i obligacions del contractista	7
4.4.	Plec de condicions econòmiques	8
4.4.1.	Bases fonamentals	8
4.4.2.	Garanties	8
4.4.3.	Preus.....	8
5.	AMIDAMENTS	2
	Capitol 01. Subconjunt pedal AirBike.....	2
	Capitol 02. Subconjunt biela-manillar.....	3
6.	PRESSUPOST.....	2
6.1.	Quadre de preus 1	2
6.2.	Quadre de preus 2	5
6.3.	Pressupost general.....	9
6.4.	Resum del pressupost.....	11



Treball de Fi de Grau
Enginyeria Mecànica



**Millora del disseny del pedal d'una
Assault Bike
Treball Fi de Grau**

Document 2: Memòria

Autor: Alba Sanabra Miquel
Director: Iván García Sierra
Data: Gener 2023



ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR
D'ENGINYERIA QUÍMICA
Universitat Rovira i Virgili

etsEQ

RESUM

Aquest projecte té com a objectiu buscar una solució al problema de ruptura que té lloc en el model de bicicletes estàtiques de resistència per aire "Assault AirBike Classic" de l'empresa "Assault Fitness".

Els casos de ruptura que s'han analitzat en aquest treball són dos, el primer va tenir lloc en una AirBike d'aquest model al box de CrossFit Alt Camp CFT i el segon en una AirBike del mateix model al CrossFit Màlaga. Ambdós casos presenten una ruptura en la zona del pedal i hi ha una alta similitud en la manera en que han trencat les peces.

En aquest treball, primer s'ha fet un estudi per determinar el motiu de la ruptura. Per dur a terme aquest estudi s'han hagut de determinar aspectes com el material de la peça, les acceleracions de les baules, les inèrcies de la secció i les forces i esforços aplicats en les diferents baules del mecanisme.

Amb aquesta informació s'ha fet un anàlisi de ruptura de la peça. Per una banda, s'ha analitzat la ruptura de la peça simulant l'aplicació de càrregues estàtiques. I per l'altra banda, s'ha analitzat la ruptura fent un anàlisi de fatiga del material.

Una vegada determinada la causa de la ruptura s'ha fet un estudi de diferents alternatives per buscar una millora al disseny actual per tal que no es torni a produir un cas similar de ruptura. La modificació del disseny d'aquesta peça ha tingut una repercussió directa en el disseny de les altres peces que formen part del subconjunt pedal-biela-manillar.

En aquest projecte es troben les especificacions noves de disseny de les peces que s'han vist afectades per algun canvi en el seu disseny. El nou disseny formarà part d'un nou model de "Assault AirBike Classic" i, a més a més, el nou subconjunt pedal-biela-manillar formarà un KIT que es podrà adaptar al model anterior.

RESUMEN

Este proyecto tiene como objetivo buscar una solución al problema de ruptura que tiene lugar en el modelo de bicicletas estáticas de resistencia por aire "Assault AirBike Classic" de la empresa "Assault Fitness".

Los casos de ruptura que se han analizado en este trabajo son dos, el primero tuvo lugar en una AirBike de este modelo en el box de CrossFit Alt Camp CFT y el segundo en una AirBike del mismo modelo en el CrossFit Málaga. Ambos casos presentan una ruptura en la zona del pedal y existe una alta similitud en la forma en que han roto las piezas.

En este trabajo, primero se ha realizado un estudio para determinar el motivo de la ruptura. Para llevar a cabo este estudio se han tenido que determinar aspectos como el material de la pieza, las aceleraciones de los eslabones, las inercias de la sección y las fuerzas y esfuerzos aplicados en los diferentes eslabones del mecanismo.

Con esta información se ha realizado un análisis de ruptura de la pieza. Por un lado, se ha analizado la ruptura de la prenda simulando la aplicación de cargas estáticas. Y por otro lado, se ha analizado la ruptura realizando un análisis de fatiga del material.

Una vez determinada la causa de la ruptura se ha realizado un estudio de diferentes alternativas para buscar una mejora en el diseño actual para que no se vuelva a producir un caso similar de ruptura. La modificación del diseño de esta pieza ha tenido una repercusión



directa en el disseny de las demás piezas que forman parte del subconjunto pedal-biela-manillar.

En este proyecto se encuentran las nuevas especificaciones de diseño de las piezas que se han visto afectadas por algún cambio en su diseño. El nuevo diseño formará parte de un nuevo modelo de "Assault AirBike Classic" y, además, el nuevo subconjunto pedal-biela-manillar formará un KIT que podrá adaptarse al modelo anterior.

ABSTRACT

The objective of this project is to find a solution to the breakage problem that occurs in the "Assault AirBike Classic" model of air resistance exercise bikes from the company "Assault Fitness".

The cases of breakage that have been analyzed in this work are two, the first occurred in an AirBike of this model in the CrossFit Alt Camp CFT box and the second in an AirBike of the same model in CrossFit Málaga. Both cases present a break in the pedal area and there is a great similarity in the way in which the pieces have been broken.

In this work, a study has been carried out in the first place to determine the reason for the rupture. In order to carry out this study, aspects such as the material of the piece, the accelerations of the links, the inertia of the section and the forces and tensions applied to the different links of the mechanism have had to be determined.

With this information, an analysis of the breakage of the piece has been carried out. On the one hand, the breakage of the piece has been analyzed simulating the application of static loads. And on the other hand, the breakage has been analyzed by performing a fatigue analysis of the material.

Once the cause of the breakage has been determined, a study of different alternatives has been carried out to seek an improvement in the current design so that a similar case of breakage does not occur again. The modification of the design of this part has had a direct impact on the design of the other parts that are part of the pedal-crank-handlebar subassembly.

In this project are the new design specifications of the parts that have been affected by a change in their design. The new design will be part of a new model of "Assault AirBike Classic" and, in addition, the new pedal-crank-handlebar subset will form a KIT adaptable to the previous model.



1. MEMÒRIA.....	2
1.1. Objecte del projecte.....	2
1.2. Abast del projecte	4
1.3. Antecedents del projecte	5
1.3.1. Història de l'AirBike	5
1.4. Normes i referències	9
1.4.1. Disposicions legals i normes aplicades.....	9
1.4.2. Programes de càlcul i de disseny.....	9
1.5. Definicions i abreviatures	10
1.5.1. Definicions genèriques màquines d'entrenament.....	10
1.5.2. Components mecànics de l'AirBike	10
1.5.3. Elements del CrossFit	14
1.6. Requisits de disseny	15
1.6.1. Subconjunt pedal-biela-manillar	15
1.6.2. Ergonomia de la AirBike	16
1.6.3. Seguretat de l'AirBike.....	17
1.7. Anàlisi del motiu de la ruptura	19
1.7.1. Material de la peça.....	19
1.7.2. Determinació de les forces aplicades i esforços	22
1.7.3. Anàlisi de trencament estàtic	30
1.7.4. Anàlisi de trencament per fatiga	31
1.8. Proposta d'alternatives	34
1.8.1. Alternativa 1: canvi de material	34
1.8.2. Alternativa 2: canvi de geometria	36
1.8.3. Alternativa 3: modificació de les dimensions de la peça	38
1.9. Anàlisi de l'alternativa escollida i resultats finals	40
1.9.1. Alternativa escollida	40
1.9.2. Resultats finals	43
1.10. Resum del pressupost	45
1.11. Bibliografia	46



1. MEMÒRIA

1.1. Objecte del projecte

L'objecte d'aquest projecte és trobar una solució alternativa al disseny actual de les bicicletes estàtiques de resistència per aire utilitzades en la disciplina del CrossFit anomenades "AirBike". Concretament del model "Assault AirBike Classic" de l'empresa Assault Fitness que s'observa en la Figura 1.1.



Fig. 1. 1 Model Assault AirBike Fitness. Font pròpia.

Durant els mesos de novembre i desembre de 2021 es van donar dos casos de ruptura de la peça que uneix el pedal de la bicicleta amb el plat on hi ha engranada la cadena que transmet el moviment dels peus i les mans a la roda davantera. El primer cas de ruptura es va produir al box de CrossFit del municipi de Valls a la comarca de l'Alt Camp, l'Alt Camp CFT. El segon cas va ser en un box de CrossFit de la ciutat de Màlaga, el CrossFit Màlaga. En la Figura 1.2 s'observa la peça trencada de la AirBike del box de CrossFit de Valls.



Fig. 1. 2 Peça trencada de l'AirBike. Font: pròpia



Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

Els dos casos de ruptura són idèntics, la qual cosa fa pensar que la ruptura d'aquestes peces s'ha produït per un mal disseny d'aquesta i, per tant, sorgeix la necessitat de fer un estudi de quina ha sigut la causa que ha fet trencar la peça i, posteriorment, buscar la millor solució perquè no es torni a produir.



1.2. Abast del projecte

En aquest projecte es fa l'estudi per saber la causa de la ruptura de la peça. Es proposen diverses alternatives per millorar el disseny actual i, finalment, s'escull quina és la solució més adequada al problema plantejat. Per l'elecció d'aquesta alternativa es tenen en compte aspectes com ara el preu, l'ergonomia, la qualitat i l'efectivitat per solucionar el problema.

Un dels aspectes importants a tenir en compte és que la solució adoptada ha d'aconseguir que l'AirBike tingui el mateix funcionament que el que té actualment, és a dir, que per accionar-la hi hagi un manillar mòbil amb un moviment de vaivé accionat per les mans de l'usuari i uns pedals accionats pels peus de l'usuari.



1.3. Antecedents del projecte

Aquest projecte sorgeix de la necessitat d'aportar una solució a un dels problemes que pateixen les AirBikes utilitzades en tots els boxs de Crossfit. En aquest cas el trencament de la peça que uneix el pedal amb el manillar mòbil i permet la transmissió d'aquest moviment a la roda davantera de l'AirBike.

El trencament d'aquesta peça suposa la inutilització de l'AirBike fins que no es fa la substitució de la peça trencada per una de nova. Els recanvis, segons la informació proporcionada pel propietari de l'Alt Camp CFT, d'aquestes peces valen uns 40 euros i des de que el demanes fins que t'arriben poden tardar de 15 dies a un mes.

Els boxs de CrossFit tenen entre 5 i 10 AirBikes, depenent de la grandària del box. En una classe fàcilment hi poden haver 14 atletes realitzant la classe. Durant les classes que es fan servir aquestes AirBikes, anomenades classes "d'Endurance", no hi ha una AirBike per cada atleta i es busquen alternatives perquè tots els atletes puguin disposar d'una AirBike al llarg de la classe. Aquestes alternatives són per exemple fer classes en parelles la qual cosa en una classe de 14 atletes només es necessitarien 7 AirBikes. Això, en molts boxs ja suposa tenir totes les AirBikes ocupades, si, a més a més, hi ha algunes que no estan operatives resulta molt difícil poder gestionar el correcte funcionament de la classe.

Davant aquesta situació, és necessària la cerca d'una alternativa al disseny actual de la peça per poder tenir operatives totes les AirBikes sempre, ja que els altres problemes que pateixen les AirBikes són en la part electrònica i es poden arreglar amb poc temps (un o dos dies màxim).

1.3.1. Història de l'AirBike

Els orígens de l'AirBike van lligats amb l'origen del CrossFit i els entrenaments d'alta intensitat, ja que aquesta pel seu disseny està pensada per ser utilitzada per l'atleta a altes revolucions.

Per entendre-ho millor, s'explicarà primer els orígens del CrossFit i en que consisteix aquest esport.

El CrossFit es un entrenament tipu HIIT (High Intensity Interval Training) en el qual es busca que l'atleta treballi a alta intensitat durant intervals curts de temps. El CrossFit, segons la informació trobada en la pàgina web del CrossFit Portixol, va néixer el 1974 a la costa de Califòrnia gràcies a Greg Glassman el qual va observar que els entrenaments

Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

que realitzaven els culturistes no eren eficients. Glassman va crear un entrenament centrat en moviments funcionals que es realitzarien a alta intensitat.

El 1995 es va obrir el primer gimnàs de CrossFit a Santa Cruz amb la finalitat d'entrenar a policies i militars.

L'any 2014 el CrossFit va popularitzar-se i expandir-se per tot el món gracies a la marca Reebok. Des de llavors el CrossFit ja no està destinat només a entrenament militar sinó que és un esport que combina les disciplines d'halterofília, entrenament metabòlic i moviments gimnàstics i les ha fet accessibles per totes les persones, independentment del seu sexe, edat i condició física. L'objectiu del CrossFit és buscar la millor versió d'un atleta, per aquest motiu, els guanyadors de la competició de CrossFit més important que se celebra cada any, els anomenats CrossFit Games, reben el títol de l'home o la dona més en forma del món (Fittest Man/Woman on Earth).

En els boxs de CrossFit, a diferència d'un gimnàs convencional, a part de les màquines de càrdio (rem, AirBike, SkiErg, BikeErg, etc.) no hi ha màquines per fer entrenaments de força. Tal com es veu en la Figura 1.3, en un box hi ha la part de les gàbies o "racks" des d'on es practiquen tots els moviments gimnàstics i alguns de força amb barra que necessiten el suport del "rack" i la part lliure del mig on es duen a terme la resta d'exercicis incloent-hi els entrenaments amb les màquines de càrdio.



Fig. 1. 3 Box de l'Alt Camp CFT. Font: Instagram AltCamp CFT.

La part principal dels entrenaments de CrossFit, l'anomenat Workout of the day (WOD), generalment té una duració d'entre 20 i 30 minuts. Dins d'aquest temps l'atleta a d'aconseguir fer una sèrie d'exercicis a alta intensitat. En els entrenaments on hi entren en joc les AirBikes, l'atleta, per aconseguir entrar a temps l'objectiu marcat, ha de



Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

revolucionar el màxim possible l'AirBike. En aquestes bicicletes l'entrenament és efectiu quan es porta a altes revolucions, és per això que són tan utilitzades en el CrossFit, ja que l'atleta es veu obligat a anar a altes velocitats.

1.3.1.1. Models existents en el mercat

En el mercat coexisteixen varis models d'AirBikes diferents. Tot i la gran diversitat que hi ha, els boxs de CrossFit opten per només tres models que són els que es detallen a continuació.

1.3.1.1.1. Rogue Echo Bike

Aquest model, que es pot veure en la Figura 1.4., fabricat per l'empresa Rogue és el més robust del mercat. Les especificacions tècniques d'aquest model són les següents:

- Pes de l'equip: 57.6 kg
- Mides de l'equip: 1480x750x1340 mil·límetres
- Massa corporal permesa: 350 lb (159 kg aproximadament)
- Transmissió: per corretja
- Preu: 998.25€



Fig. 1. 4 Echo Bike. Font: pàgina web de Echo Bike.

1.3.1.1.2. Assault AireBike

Aquest model, que es pot veure en la Figura 1.5., és l'estudiat en aquest projecte. Si el comparem amb el model anterior que s'ha descrit, ja es pot veure a simple vista que és molt més lleuger.

- Pes de l'equip: 44.5 kg



Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

- Mides de l'equip: 1300x600x1230 mil·límetres
- Massa corporal permesa: 155 kg
- Transmissió: per cadena
- Preu: 1162.3€



Fig. 1. 5 Assault AirBike Classic. Font: pàgina web de Assault Fitness.

1.3.1.1.3. Maniak AirBike

Aquest model, que s'observa a la Figura 1.6., és molt semblant a l'estudiat en aquest projecte.

- Pes de l'equip: 49 kg
- Mides de l'equip: 1330x590x1300 mil·límetres
- Massa corporal permesa: 100 kg
- Transmissió: per cadena
- Preu: 778,94€



Fig. 1. 6 Maniak Bike. Font: pàgina web de Maniak.



1.4. Normes i referències

1.4.1. Disposicions legals i normes aplicades

- Norma UNE 157001. Criterios generales para la elaboración de proyectos.
- UNE-EN ISO 20957 – 1:2014. Equipos fijos para entrenamiento. Requisitos generales de seguridad y métodos de ensayo.

1.4.2. Programes de càlcul i de disseny

- Autodesk Inventor 2023
- Microsoft Excel
- Autodesk AUTOCAD 2023
- SketchUp Pro 2022



1.5. Definicions i abreviatures

A continuació es detallen les definicions dels diferents component de l'AirBike i de conceptes utilitzats en les màquines d'entrenament per tal d'aclarir el significat dels conceptes que van apareixent al llarg del projecte. Algunes de les definicions que es detallen a continuació són extretes de la norma UNE-EN ISO 20957 – 1:2014 esmentada anteriorment en l'apartat de normes i referències.

1.5.1. Definicions genèriques màquines d'entrenament

1.5.1.1. Equip fix d'entrenament

Equip que no es desplaça durant el seu ús i que s'emplaça lliurement a terra, o bé s'assegura a un terra, paret, sostre o una altra estructura fixe.

1.5.1.2. Massa corporal

Pes màxim establert de l'usuari, com es descriu en el manual de l'usuari, o 100 kg, prenent el valor màxim d'ambdós.

1.5.1.3. Carrega intrínseca

Carrega produïda per la massa corporal.

1.5.1.4. Carrega extrínseca

Carrega aplicada a l'equip d'origen diferent de la massa corporal.

1.5.1.5. Equip d'entrenament dependent de la velocitat

Equip d'entrenament on la resistència no es pot regular i és directament proporcional a la velocitat.

1.5.1.6. Cicle

Moviment associat a una operació completa d'un sol element, d'inici a inici d'un procés repetitiu.

1.5.1.7. Velocitat aeròbica màxima o VAM

És la velocitat en què el consum d'oxigen de l'atleta és màxim.

1.5.2. Components mecànics de l'AirBike

1.5.2.1. Parts mòbils

Part de l'AirBike que tenen un moviment relatiu entre elles. Entre les parts mòbils de l'AirBike es troba el subconjunt del manillar-biela-pedal que serveix perquè l'usuari pugui accionar la bicicleta i la part de transmissió del moviment que està compost per un



Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

sistema de rodes dentades amb transmissió per cadena i el ventilador de la roda davantera.

1.5.2.2. Parts fixes

Part de l'AirBike que no té cap moviment. La funció d'aquestes parts és mantenir l'estabilitat de l'AirBike durant el seu ús, proporcionar confort a l'atleta i mostrar informació.

Entre les parts fixes trobem la bancada fixe que suporta el pes de l'usuari i on es recolzen les parts mòbils. Damunt d'aquesta bancada fixe hi ha el seient regulable on es posiciona l'usuari i la pantalla on es mostra la informació relativa a l'entrenament (revolucions, potència, distància recorreguda, temps, etc.).

1.5.2.3. Pedal

Part de l'AirBike que s'observa en la Figura 1.7 per on l'usuari l'acciona amb la força realitzada amb les cames.



Fig. 1. 7 Pedal de la AirBike. Font: pàgina web Assault Fitness.

1.5.2.4. Manillar mòbil

Part de l'AirBike, que s'observa en la Figura 1.8, per on l'usuari l'acciona amb la força realitzada amb els braços.



Fig. 1. 8 Manillar mòbil de la AirBike. Font: pàgina web Assault Fitness

1.5.2.5. *Seient regulable*

Part de l'AirBike, que es mostra en la Figura 1.9, on l'usuari es pot seure.



Fig. 1. 9 Seient regulable de l'AirBike. Font: pàgina web Assault Fitness.

1.5.2.6. *Roda davantera*

Part de l'AirBike que proporciona la resistència a l'usuari. Està composta per un ventilador intern amb sis platines rectangulars, que es poden veure en la Figura 1.10, de 15 centímetres de llarg per 5,5 centímetres d'ample situades a l'extrem de sis radis units en un eix central. A més a més, hi ha una carcassa exterior en forma de gàbia feta d'acer per evitar que l'usuari pugui entrar en contacte amb les parts mòbils del ventilador d'aquesta roda.



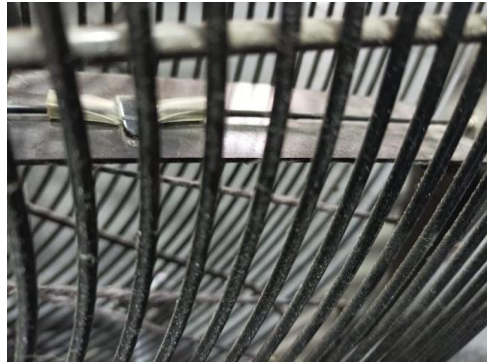


Fig. 1. 10 Platines roda davantera AirBike. Font: pàgina web Assault Fitness.

1.5.2.7. *Biela*

Part de l'AirBike, que es mostra en la Figura 1.11, que transmet el moviment del manillar mòbil a la part del pedal.



Fig. 1. 11 Biela d'una AirBike. Font: pàgina web Assault Fitness.

1.5.2.8. *Sistema de transmissió*

Conjunt de rodes dentades amb transmissió per cadena que transmeten el moviment fet per l'usuari a la roda davantera.

1.5.2.9. *Pantalla*

Monitor que s'observa en la Figura 1.12 on es visualitza tota la informació de l'entrenament a l'usuari.



Fig. 1. 12 Pantalla AirBike. Font: pròpia



Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

1.5.3. Elements del CrossFit

1.5.3.1. *Box*

Lloc físic, generalment són naus industrials, on els atletes realitzen els entrenaments de CrossFit.

1.5.3.2. *Workout of the day o WOD*

Part principal de l'entrenament de CrossFit.

1.5.3.3. *High Intensity Interval Training o HIIT*

Entrenament d'alta intensitat dut a terme en curts intervals de temps.

1.5.3.4. *Rack*

Part del box compost per barres, generalment d'acer, ancorades a la paret i a terra on es duen a terme els exercicis gimnàstics i alguns exercicis d'halterofília que necessiten tenir la barra suportada a una certa altura respecte al terra.



1.6. Requisits de disseny

Pel que fa al disseny final de l'AirBike s'han tingut en compte les diferents característiques que es detallen en aquest apartat. Per definir aquests requisits s'ha tingut en compte la seguretat de l'usuari, l'ergonomia de la bicicleta i la resistència d'aquesta.

En primer lloc, s'ha de diferenciar que l'AirBike la componen una part mòbil i una part fixe. En aquest projecte només s'han modificat alguns components de la part mòbil d'aquest equip d'entrenament fix.

Per una banda, en la part mòbil de l'AirBike, es troba el sistema que componen el manillar mòbil i el pedal. Aquest subconjunt és el que s'utilitza per accionar la AirBike i precisament és on es troba la peça que s'ha de redissenyar.

Per una altra banda, es té la roda davantera composta per uns radis i unes platines de 150 x 55 mil·límetres que generen una resistència a l'aire. Aquesta bicicleta estàtica no disposa d'un volant d'inèrcia com moltes altres bicicletes estàtiques que hi ha al mercat, sinó que és la pròpia resistència a l'aire que fa que l'atleta hagi de fer un esforç al pedalar. S'estaria parlant d'un equip d'entrenament que depèn de la velocitat a la que l'usuari pedala, ja que a més velocitat més resistència ofereix la AirBike. A més a més, hi ha quatre rodes dentades unides amb dues cadenes que permeten la transmissió del moviment que l'usuari fa durant la utilització de l'AirBike.

Tots els models d'AirBike que hi ha en el mercat tenen el mateix funcionament i s'ha de garantir que en totes s'hagi de fer un esforç molt semblant a l'hora d'utilitzar-les, ja que en les competicions es pot donar el cas que hi hagi dos models diferents d'AirBikes i s'ha d'aconseguir que no hi hagi pràcticament diferència per l'atleta a l'utilitzar un model o l'altre. Per aquest motiu, en aquest projecte es faran les modificacions mínimes per solucionar el problema de la peça que trenca i s'evitarà modificar la part del sistema de transmissió del moviment i la roda davantera si no és estrictament necessari.

1.6.1. Subconjunt pedal-biela-manillar

El subconjunt pedal-biela-manillar tal com el seu nom indica és el subconjunt de l'AirBike format pel pedal el qual permet a l'usuari accionar l'AirBike amb el peu, pel manillar mòbil que permet a l'usuari accionar l'AirBike amb la força feta amb els braços i la biela que transmet el moviment del manillar al pedal.



En aquest subconjunt es poden fer els canvis que es considerin oportuns, no obstant, el manillar de la bicicleta ha de continuar sent un punt d'accionament i el moviment d'aquest ha de ser solidari amb el moviment del pedal.

1.6.2. Ergonomia de la AirBike

L'ergonomia és un dels aspectes que s'ha tingut en compte a l'hora de fer el redisseny de les peces. S'han tingut en compte dos aspectes. En primer lloc, la comoditat a l'hora d'agafar el manillar i per altra banda la comoditat a l'hora de pedalar.

1.6.2.1. Ergonomia del manillar

Per tal d'assegurar un bon disseny ergonòmic del manillar es tindran en compte dos aspectes.

En primer lloc, el diàmetre de la secció circular que té el punt per on l'usuari agafa el manillar tindrà unes mides que permetin a l'usuari tancar la mà per agafar el manillar. En el disseny actual, el diàmetre exterior actual del tub que forma el manillar de l'AirBike és de 30 mil·límetres. Es mantindrà aquesta mida en el redisseny.

I, en segon lloc, el rang de moviment del manillar no pot superar la màxima extensió del braç (mida número 8 de la Figura 1.13), el que correspondria a uns 58.5 centímetres ni pot ser inferior a la mínima extensió del braç (mida que correspon a la número 7 de la Figura 1.13) que correspondria a uns 30.5 centímetres. En la Figura 1.14 es poden veure les mides estàndard per un home i una dona.

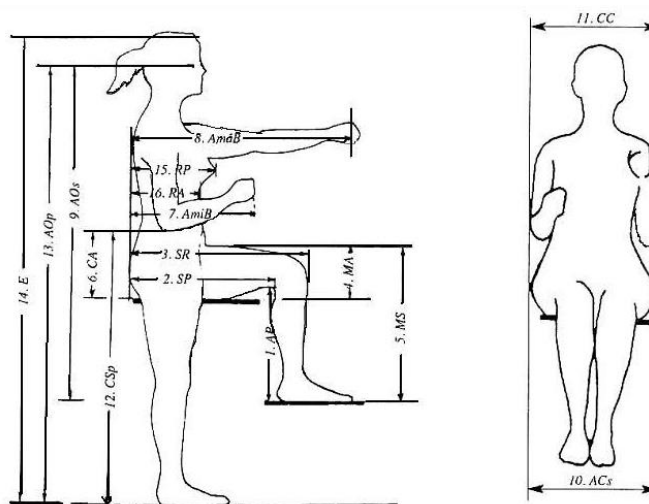


Fig. 1. 13 Mides antropomètriques. Font: pàgina web de QT.



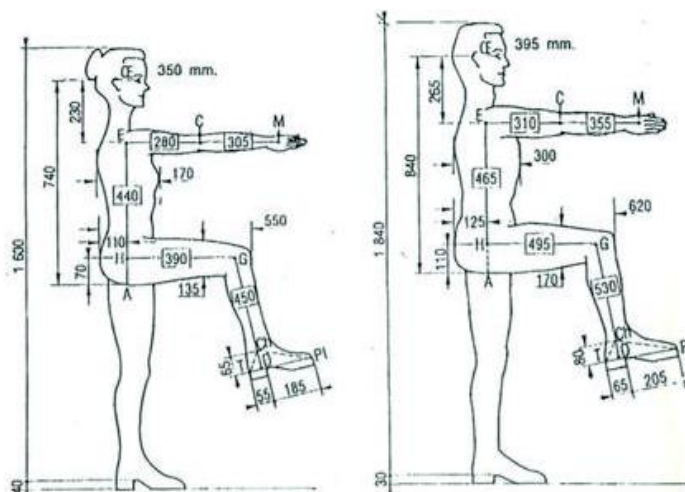


Fig. 1. 14 Mides antropomètriques (mides estàndard en mil·límetres). Font: pàgina web de QT.

1.6.2.2. Ergonomia del pedal

Per últim, la distància entre el seient i el punt inferior del pedal no pot superar la màxima extensió de les cames de l'usuari (mida número 12 menys la número 6 de la Figura 1.13) que correspondria a uns 100 centímetres i la distància entre el seient i el punt superior del pedal no pot ser inferior a la mida de la cama quan està amb el genoll doblegat i a l'altura dels malucs (mida número 5 menys la 4 de la Figura 1.13) que correspondria a uns 50 centímetres.

1.6.3. Seguretat de l'AirBike

La seguretat en aquest cas va molt lligada amb l'ergonomia del producte. En aquest cas s'evitarà que l'usuari pugui tenir qualsevol mena d'empresonament durant la utilització de l'AirBike i que l'usuari realitzi un rang de moviments que sigui lesiu a curt o llarg termini.

1.6.3.1. Evitar empresonament

Aquest aspecte és molt important a tenir en compte, ja que qualsevol classe d'empresonament de l'usuari durant la utilització de l'AirBike pot arribar a provocar una lesió.

En el cas que a l'hora de baixar de l'AirBike alguna part del cos de l'usuari es quedés atrapada amb alguna part de la bicicleta podria provocar que l'usuari caigués a terra i, a més a més, l'AirBike li caigués a sobre.

Per evitar que això passi s'ha d'evitar posar qualsevol sistema semblant al que es mostra en la Figura 1.15. Aquest tipus de pedals obligaria a l'usuari haver de baixar a poc a poc



Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

de la AirBike i, a més a més, faria que el moviment que s'ha de fer per baixar de la bicicleta no fos el natural per fer-ho.



Fig. 1. 15 Pedals bicicleta. Font: pàgina web del Decathlon.

S'optarà per una tipologia de pedals com els que s'utilitzen en les bicicletes de muntanya o carretera com els que es poden veure en la Figura 1.16.



Fig. 1. 16 Pedal convencional bicicleta. Font: pàgina web del Decathlon.

1.6.3.2. Rang de moviments no lesius

Lligat amb l'ergonomia del producte, si durant la utilització de l'AirBike l'usuari ha de treballar en rangs de moviment en els que ha de forçar alguna part del cos això pot arribar a ser lesiu per l'atleta a llarg i a curt termini.

Es per aquest motiu que per evitar que l'usuari faci moviments que puguin resultar lesius es tindran en compte les distàncies que es descriuen en l'apartat 1.6.2.1. i 1.6.2.2. d'aquest projecte.



1.7. Anàlisi del motiu de la ruptura

En primer lloc, en aquest projecte s'ha determinat quina és la causa de ruptura de la peça. Per aconseguir determinar-la amb exactitud s'ha hagut d'extreure informació sobre el material de la peça i saber quines són les forces aplicades per tal de calcular els esforços en els diferents punts de la secció de la peça.

Una vegada recopilada aquesta informació es comprova si el trencament es produeix per l'aplicació de càrregues estàtiques o si és un trencament per fatiga.

1.7.1. Material de la peça

La determinació correcte del material és clau per determinar el motiu de ruptura. Sabent el material es pot saber quin és el límit de ruptura i el límit elàstic del material.

S'han realitzat tres proves per determinar el material de la peça. En primer lloc, s'ha calculat de manera experimental la densitat, posteriorment s'ha buscat si el material té propietats magnètiques i finalment s'ha fet un assaig per extreure la duresa del material.

1.7.1.1. Densitat del material

Per tal de determinar la massa de la peça s'ha fet servir una balança de cuina i per trobar el volum de la peça s'ha submergit aquesta dins d'un líquid i s'ha mesurat la variació de volum del líquid. En aquest cas, el líquid que s'ha fet servir ha sigut aigua.

La variació de volum que s'ha obtingut és de $3.58 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$ i el pes de la peça és de 0.262 kg.

Amb aquesta informació i sabent que la densitat s'obté amb l'equació (1.1).

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1.1)$$

On ρ és la densitat en kg/m^3

On m és la massa en kg

On V és el volum en m^3

El material de la peça té la densitat de 7.318 g/cm^3 .

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{0.262}{3.58 \cdot 10^{-5}} = 7318,4 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = 7,318 \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right)$$

Davant d'aquest valor ja es pot afirmar que estem davant d'algun tipus d'acer.



1.7.1.2. Propietats magnètiques

Al comprovar les propietats magnètiques s'observa que aquest quan se li apropa un imant, la peça i l'imant s'atrauen tal com es pot veure a la Figura 1.17. Per tant, amb això es poden descartar tots aquells materials que no tenen propietats magnètiques.

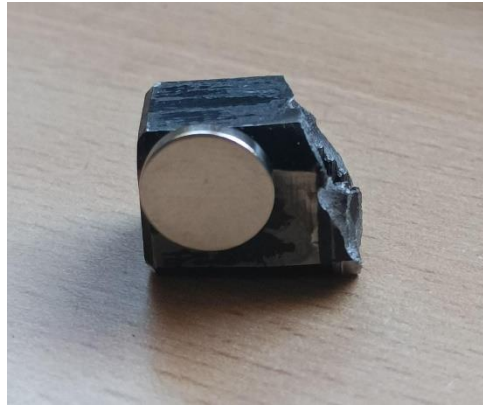


Fig. 1. 17 Comprovació propietats magnètiques material. Font: pròpia

1.7.1.3. Assaig de duresa

Finalment gràcies a l'assaig de duresa s'aconsegueix determinar de quin material està fabricada la peça.

Per aquest motiu s'ha fet un assaig de duresa Brinell sobre la peça d'estudi d'aquest projecte.

Per fer aquest assaig s'ha utilitzat la màquina per fer assajos de duresa Brinell de la Figura 1.18 que hi ha al laboratori d'Elasticitat i Resistència de Materials. Durant l'assaig s'ha aplicat una càrrega de 3000 kp durant 30 segons amb una bola de carbur de tungstè de 10 mil·límetres de diàmetre.



Fig. 1. 18 Màquina d'assaig duresa Brinell. Font: pròpia



Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

S'ha mesurat el diàmetre de la marca deixada sobre la peça després de realitzar l'assaig Brinell i s'ha observat un diàmetre de 3.2 mil·límetres.

Amb aquest diàmetre s'obté una duresa de 363.2 HB. Amb l'ajuda el gràfic de la Figura 1.19 s'observa que la resistència a la tracció del material és proper als 1200 MPa.

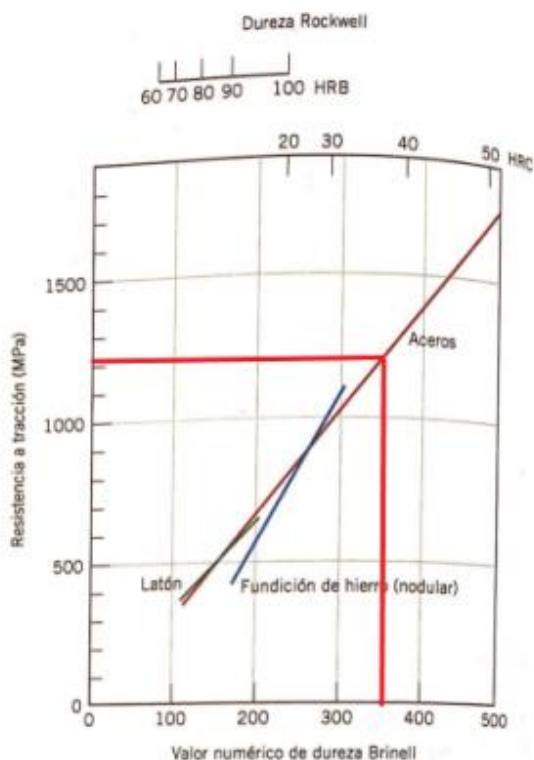


Fig. 1. 19 Gràfic on es mostra la relació entre la resistència a la tracció [MPa], el valor de la duresa Brinell [HB] i la duresa Rockwell [HRB]. Font: llibre Ciència e ingeniería de materiales.

Si es busca més detalladament un acer amb aquestes característiques es pot determinar, segons la Taula 1.1, que es tracta d'un acer 4340 normalitzat.

Taula 1. 1 Propietats mecàniques dels acers 4140 i 4340. Font: llibre Ciència e ingeniería de materiales.

Tabla B.4 (Continuación)

Material/condición	Límite elástico (MPa [ksi])	Resistencia (MPa [ksi])	Alargamiento
Acero 4140			
• Recocido (@ 815 °C)	417 (60,5)	655 (95)	25,7
• Normalizado (@ 870 °C)	655 (95)	1020 (148)	17,7
• Temple en aceite y revenido (@ 315 °C)	1570 (228)	1720 (250)	11,5
Acero 4340			
• Recocido (@ 810 °C)	472 (68,5)	745 (108)	22
• Normalizado (@ 870 °C)	862 (125)	1280 (185,5)	12,2
• Temple en aceite y revenido (@ 315 °C)	1620 (235)	1760 (255)	12



La densitat d'aquest acer és de 7.85 g/cm^3 i aquesta és la que s'utilitzarà pels càlculs en aquest projecte.

1.7.2. Determinació de les forces aplicades i esforços

1.7.2.1. Posició crítica

Per poder determinar les forces aplicades per l'usuari sobre la bicicleta i els esforços que pateix la secció d'aquesta peça degut a les forces aplicades, primer de tot s'ha estudiat la posició en què les forces aplicades són màximes, el que s'anomenarà posició crítica.

Aquest cas es dona quan el pedal es troba en una posició paral·lela al terra i més proper a la roda davantera, és a dir, quan està a 0° respecte a l'horitzontal. En aquesta posició, que és la que es pot veure en la Figura 1.20, l'usuari està posant tot el seu pes sobre el pedal per accionar l'AirBike i, a més a més, el moment que s'aplica en aquest moment és màxim, ja que la distància entre l'eix del pedal i el punt d'aplicació de la força és màxim.



Fig. 1. 20 Posició del pedal en angle 0° respecte a l'horitzontal (posició crítica). Font: pròpia.

1.7.2.2. Determinació de la velocitat aeròbica màxima

El pas següent és determinar la velocitat aeròbica màxima que l'usuari pot assolir, ja que aquesta serà a la velocitat màxima que l'usuari podrà revolucionar l'AirBike.

L'usuari va arribar a aconseguir utilitzar l'AirBike a una potència de 1141 W la qual cosa implica que la bicicleta estava anant a $10,71 \text{ rad/s}$.

Aquesta potència seria la potència assolida a la velocitat aeròbica màxima de l'usuari. Com que aquest ritme no es pot mantenir durant molt de temps s'hauria de calcular una potència inferior que correspondria al 90% de la potència màxima assolida, ja que segons un estudi és a la potència a la qual l'usuari és capaç de mantenir aquell ritme entre 10 i 30 minuts. No obstant a la realitat es comprova que per mantenir el ritme durant 30 minuts l'atleta hauria d'anar al 75% de la potència màxima assolida. Això correspondria a 855 W i a una velocitat angular de 9,55 rad/s.

1.7.2.3. Inèrcia i massa de les baules

Amb l'ajuda del programa Inventor s'ha aconseguit extreure la massa i la inèrcia de cada una de les baules.

En la Taula 1.2 es pot observar el resum dels valors trobats.

Taula 1. 2 Masses [kg] e inèrcies [kg·mm²] de les baules de l'AirBike.

BAULA	MASSA (kg)	INÈRCIA (kg·mm ²)
Baula 2 (manovella)	0.277	126.936
Baula 2 (pedal)	0.599	1818.478
Baula 3 (biela)	0.746	16713.956
Baula 4 (manillar)	3.559	373549.562

1.7.2.4. Acceleracions de la posició crítica

Per determinar les forces aplicades en cada baula s'ha utilitzat el mètode d'Alembert ja que la AirBike no es troba en el punt d'arrancada sinó que està en una situació de règim permanent i per tant el mètode de reducció o potències virtuals no es poden aplicar.

En el mètode d'Alembert, és important conèixer les inèrcies de cada baula i les acceleracions en el centre de masses de cada baula.

Les acceleracions per els dos punts de funcionament estudiats en aquest projecte són els que es poden observar en la Taula 1.3.

Taula 1. 3 Valors de les acceleracions absolutes [m/s²] de l'AirBike per a una potència d'ús de 1141 W i 855 W.

PUNT	ACCELERACIÓ ABSOLUTA (m/s ²)	
	P = 1141 W	P = 855 W
A	4.59	3.65
B	19.5	15.5
C	1.61	1.25



D	10.35	8.06
G3	3.1	2.45
G4	4.37	3.4

1.7.2.5. Forces aplicades en la posició crítica

Amb tota la informació que s'ha determinat ja es poden trobar les forces aplicades en cada baula amb el mètode d'Alembert.

Els diagrames de sòlid lliure de les baules són els que es poden veure en la Figura 1.21, la Figura 1.22. i la Figura 1.23.

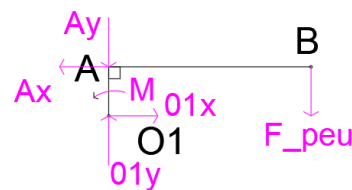


Fig. 1. 21 Diagrama del sòlid lliure de la baula formada per la manovella i el pedal.
Font: pròpia

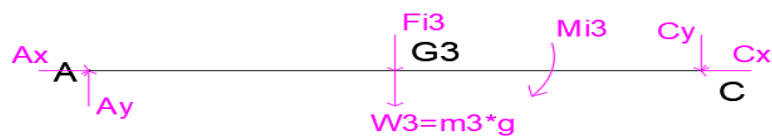


Fig. 1. 22 Diagrama del sòlid lliure de la biela. Font: pròpia



Fig. 1. 23 Diagrama del sòlid lliure del manillar mòbil. Font: pròpia

El diagrama del sòlid lliure pel conjunt de la AirBike és el de la Figura 1.24.

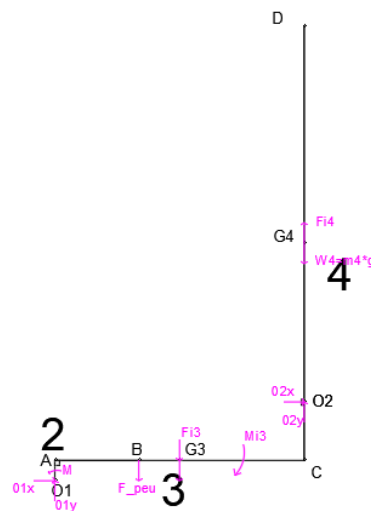


Fig. 1. 24 Diagrama del sòlid lliure del conjunt de baules de l'AirBike. Font: pròpia
 Les forces trobades després de fer l'equilibri de forces de cada baula per a cada una de les potències estudiades en aquest projecte són les que apareixen en la Taula 1.4.

Taula 1. 4 Valor de les forces i reaccions [N] aplicades en l'AirBike per a les potències d'ús de 1141 W i 855 W.

FORÇA/REACCIÓ	VALOR (N)	
	P = 1141 W	P = 855 W
01x	0	0
01y	649.87	546.63
Ax	0	0
Ay	4.37	4.23
Fpeu	645.5	542.4
02x	0	0
02y	24.62	27.71
Cx	0	0
Cy	5.26	4.29

A banda d'aquestes forces també apareix una força de tracció exercida pel cargol que va roscat a l'interior de la peça que trenca. La força que fa aquest cargol assenyalat en la Figura 1.25 sobre la peça és a la que correspon a la força de muntatge. En aquest cas té un valor de 3190.5 N.





Fig. 1. 25 Cargol del pedal de la AirBike. Font: pàgina web Assault Fitness

1.7.2.6. Esforços aplicats en la posició crítica

Finalment es poden determinar els esforços que pateix la secció de la peça amb les forces que se li apliquen. Per això es necessita mirar en detall la secció de la peça.

Dels apartats anteriors es pot afirmar que la distribució de les forces a sobre de la part de la peça que trenca és com es pot veure a la Figura 1.26 per una potència del 100% i a la Figura 1.27 per una potència del 75%.

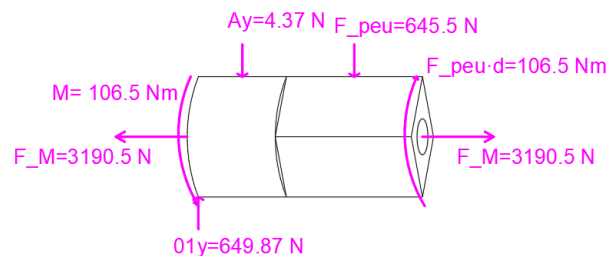


Fig. 1. 26 Distribució de les forces sobre la secció de la peça que trenca de l'AirBike per una potència d'ús del 100%. Font: pròpia



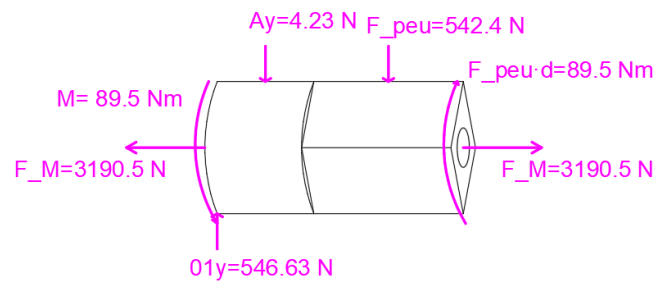


Fig. 1. 27 Distribució de les forces sobre la secció de la peça que trenca de l'AirBike per una potència d'ús del 75%. Font: pròpia

Per una potència del 100% la variació de la força de tracció, el moment torsor, la força tallant i el moment flector són els que es poden veure en les Figures 1.28, 1.29, 1.30 i 1.31 respectivament.

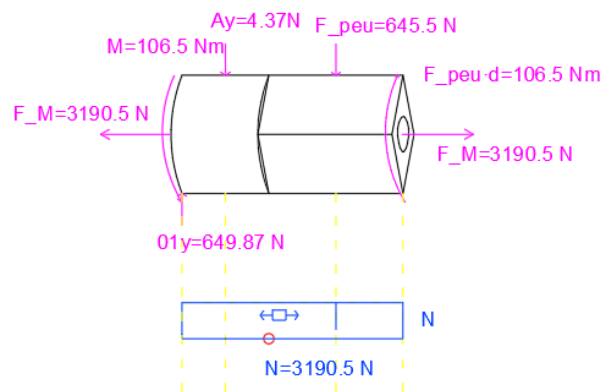


Fig. 1. 28 Força de tracció al llarg de la peça que trenca de l'AirBike. Font: pròpia.

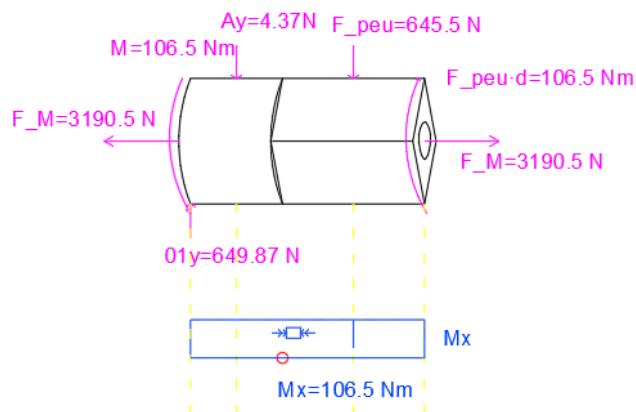


Fig. 1. 29 Moment torsor al llarg de la peça que trenca de l'AirBike. Font: pròpia



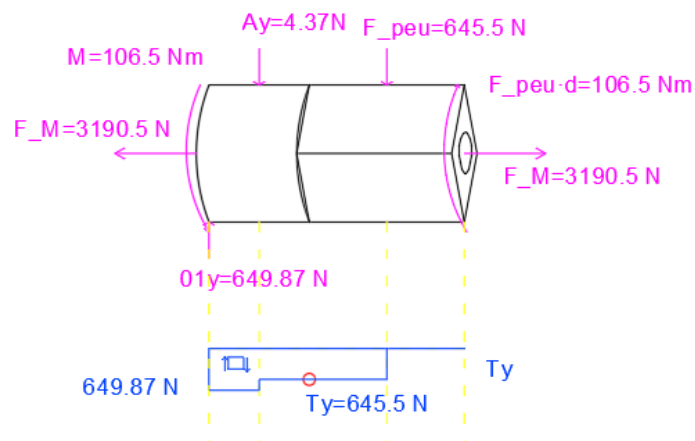


Fig. 1. 30 Força tallant al llarg de la peça que trenca de l'AirBike. Font: pròpia

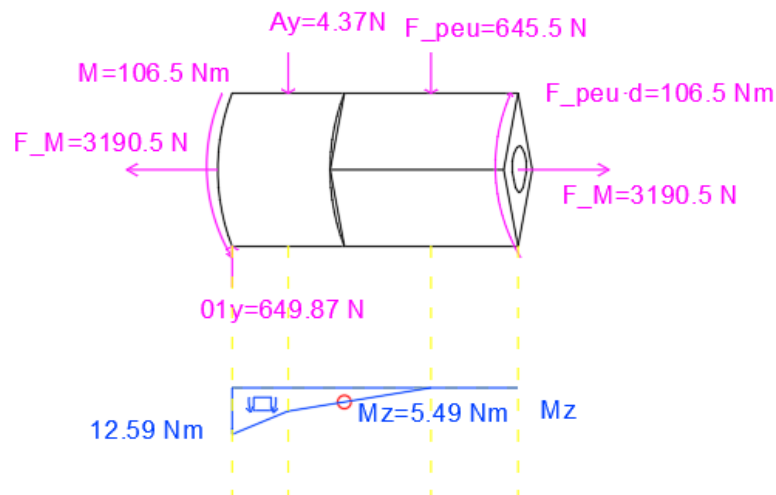


Fig. 1. 31 Moment flector al llarg de la peça que trenca de l'AirBike. Font: pròpia.

En aquest cas, en el punt de trencament de la peça, que es troba just on hi ha un canvi de secció, hi ha una força de tracció de 3190.5 N, una força tallant de 645.5 N, un moment flector de 5.49 Nm i un moment torsor de 106.5 Nm.

Amb aquests valors, amb una inèrcia de la secció de 990.5 mm^4 i amb una inèrcia polar de la secció de 1981 mm^4 s'obté un esforç de tracció de 37.9 MPa en tots els punts de la secció de la peça, un esforç normal de tracció de 41.6 MPa en el punt superior de la secció de la peça, un esforç normal de compressió de 41.6 MPa en el punt inferior de la secció de la peça, un esforç tallant de 403.2 MPa en tots els punts exteriors de la secció de la peça i un esforç tallant de 5.89 MPa en els punts que es troben a una altura mitjana entre el punt inferior i superior de la secció de la peça.

Els valors dels esforços que pateix la peça quan l'AirBike funciona a 1141 W s'utilitzaran per determinar el trencament estàtic, ja que aquests esforços seran els màxims que



s'aplicaran. Els esforços que pateix la peça quan la AirBike funciona a 855 W s'utilitzen per comprovar el trencament per fatiga. Per tant, només es busquen els valors dels esforços generats pel moment torsor i el moment flector que són els que varien al llarg de tot el cicle.

Per tant, per una potència del 75% la variació del moment torsor i el moment flector és la que hi ha representada en les Figures 1.32 i 1.33 respectivament.

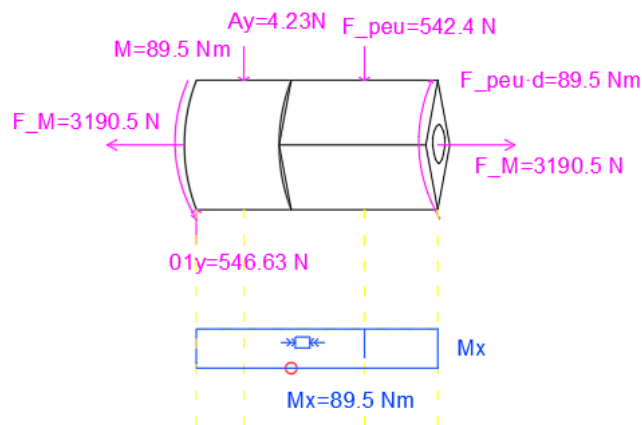


Fig. 1. 32 Moment torsor al llarg de la peça que trenca de l'AirBike. Font: pròpia.

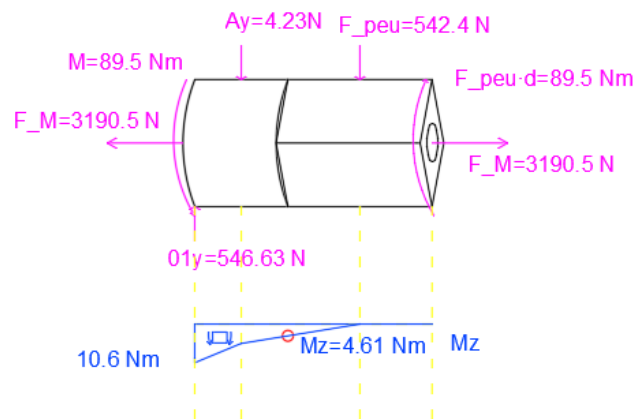


Fig. 1. 33 Moment flector al llarg de la peça que trenca de l'AirBike. Font: pròpia.

En el punt de ruptura de la peça hi ha un moment torsor de 89.5 Nm i un moment flector de 4.61 Nm. Per tant, amb la mateixa inèrcia de la secció de 990.5 mm^4 i una inèrcia polar de la secció de 1981 mm^4 , té un esforç tallant de 338.8 MPa i l'esforç normal del moment flector és de 34.9 MPa.



1.7.3. Anàlisi de trencament estàtic

Ara que ja s'han extret els valors dels esforços màxims de la secció s'observa que el punt més crític de la secció serà el que està situat a la part superior o el del costat dret de la secció vista des de davant. Aquests punts es poden veure en la Figura 1.34.

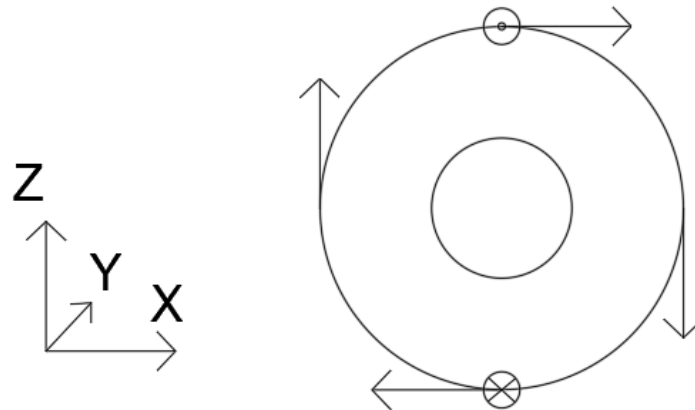


Fig. 1. 34 Representació dels esforços sobre la secció de la peça que trenca de l'AirBike. Font: pròpia.

S'han extret les tensions principals per als dos punts esmentats. Aquestes són les que hi ha en la Figura 1.35 pel punt superior i en la Figura 1.36 pel punt del lateral dret.

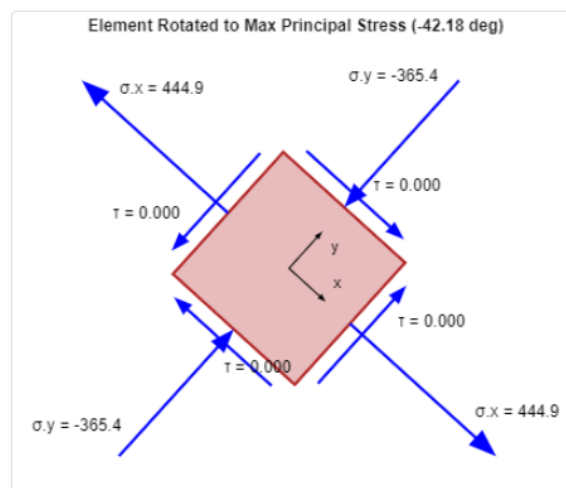


Fig. 1. 35 Tensions principals del punt superior de la secció. Font: página web MechaniCalc



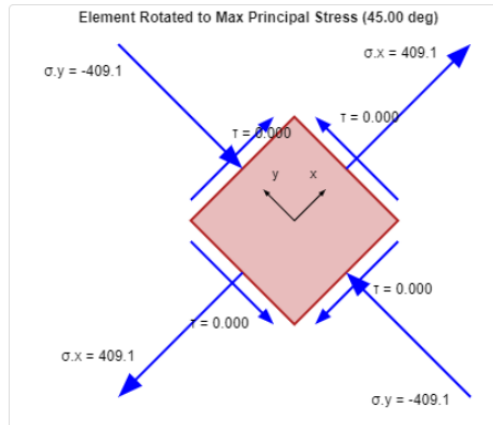


Fig. 1. 36 Tensions principals del punt dret de la secció. Font: pàgina web MechaniCalc

Les tensions de Von Mises pel punt superior té un valor de 702.9 MPa i les tensions de Von Mises pel punt del lateral dret és de 708.6 MPa.

Per tant, el punt crític és el punt del costat on hi ha la tensió tallant màxima generada pel torsor i per l'esforç tallant.

Tenint en compte que el límit elàstic del material és de 862 MPa, ja que es tracta d'un acer 4340 normalitzat, s'observa que la peça en qüestió, treballant a aquestes sol·licitacions, està treballant lluny del límit elàstic i es troba molt lluny del límit de ruptura que és de 1280 MPa.

1.7.4. Anàlisis de trencament per fatiga

Observant que el trencament no es produeix per l'aplicació de càrregues estàtiques, es procedeix a mirar si el trencament pot ser causat per la fatiga del material.

De l'apartat anterior se sap que la peça pateix un esforç tallant de 338.8 MPa i l'esforç normal del moment flector és de 34.9 MPa. Per tant, només s'ha tingut en compte l'esforç tallant del moment torsor, ja que l'altre es pot considerar negligible.

L'esforç tallant del torsor varia de manera pulsatòria, és a dir passa de un valor màxim a un valor mínim el qual és zero. En la Figura 1.37 es pot veure l'evolució d'aquest esforç al llarg del temps.

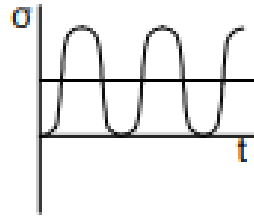


Fig. 1. 37 Esforç amb variació pulsatòria. Font: llibre La fatiga dels elements mecànics. Amb aquestes dades, com que la τ_{min} és zero, la tensió mitjana i l'amplitud de tensió tindran el mateix valor. Aquest valor és de 169.4 MPa.

A continuació s'han extret els coeficients per calcular el límit de fatiga de la peça. Els coeficients trobats amb les característiques de la peça són els següents:

- Coeficient de tipus de càrrega (k_l) = 0.58
- Coeficient de grandària (k_d) = 0.85
- Coeficient acabat superficial (k_s) = 0.68
- Coeficient concentració de tensions (k_f) = 1.32
- Límit de fatiga de la proveta estàndard (S_f') = 640 MPa

Amb aquestes dades s'obté un valor de 162.5 MPa del límit de fatiga. Amb un valor de σ_a' de 387.3 MPa i de σ_m' de 293.4 MPa es pot representar el gràfic de la Figura 1.38.

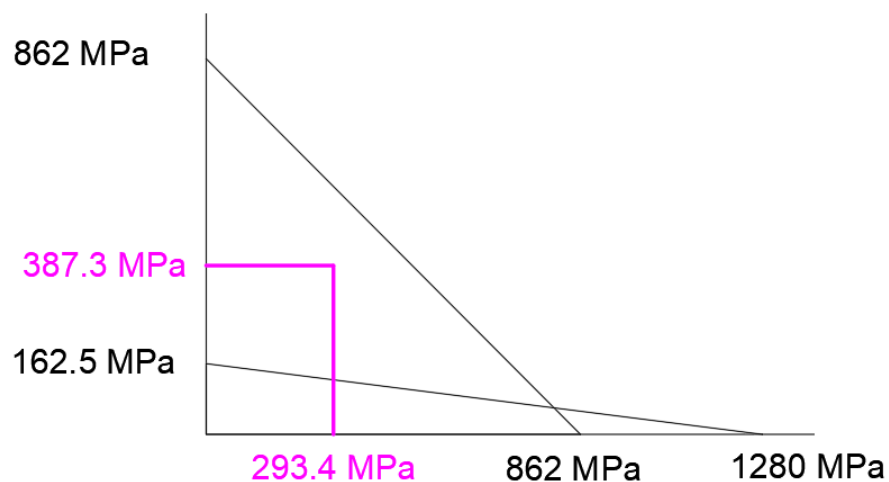


Fig. 1. 38 Gràfic de resistència a la fatiga a vida infinita de la peça que trenca de l'AirBike. Font: pròpia.

Com es pot observar la peça no aguanta a vida infinita. Per aquest motiu es calcula quants cicles de fatiga pot aguantar la peça.

Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

Amb coeficient k_f de 1.144 s'obté el gràfic de la Figura 1.39.

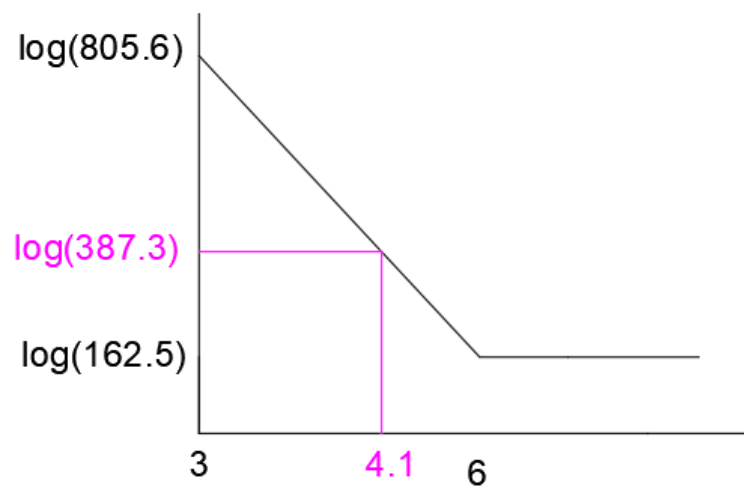


Fig. 1. 39 Gràfic de resistència a la fatiga a vida finita de la peça que trenca de l'AirBike. Font: pròpia.

Així doncs, la peça aguanta 12589 cicles a aquesta potència. S'ha observat que les potències de funcionament normal de l'AirBike varien entre els 400 i 900 W segons el sexe i la forma física de l'atleta. Per tant, realment estariem parlant que l'AirBike d'aquest model trencaria per fatiga, però aguantaria més de 12589 cicles.

Si s'analitza la secció trencada en la Figura 1.40 es pot veure que la resposta trobada s'ajusta a la realitat, ja que es pot veure que en la secció hi ha una part molt llisa i aplanada que correspondria a la part on es va començar a trencar per fatiga. A més a més, la torsió és la causant d'aquesta ruptura, ja que el trencament forma un angle de 45° la qual cosa indica que el trencament ha estat causat per un esforç tallant.



Fig. 1. 40 Secció trencada de la peça. Font: pròpia.



1.8. Proposta d'alternatives

Ara que ja s'ha determinat que la ruptura és causada per la fatiga del material es proposen un seguit d'alternatives per trobar una solució al problema detectat. En concret es proposen tres alternatives, una fent un canvi de material de la peça que trenca, un altre fent un canvi de geometria i finalment un altre fent una modificació de les dimensions de la peça.

Les alternatives que es buscaran perquè això no torni a succeir es basaran en reduir la fatiga de la peça, és a dir, es buscarà que la peça pugui aguantar molts més cicles de fatiga, a poder ser, que aguantés a vida infinita.

En les tres alternatives només es farà el càlcul per comprovar que aguanta a fatiga, ja que es dona per suposat que, al proposar condicions més resistents, la peça no trenca per l'aplicació de càrregues estàtiques.

1.8.1. Alternativa 1: canvi de material

La primera alternativa que es proposa per augmentar el nombre de cicles de fatiga és fer un canvi de material de la part de la peça que s'ha trencat. L'objectiu és buscar un material amb una resistència a la ruptura i un límit elàstic superior al material del que està feta actualment la peça.

S'ha optat per escollir un altre acer, per tant, s'ha buscat un acer de la Taula 1.5 que tingui un límit elàstic i de ruptura superior al d'un acer 4340 normalitzat.

Taula 1. 5 Propietats mecàniques de l'acer 4140 i 4340. Font: llibre *Ciència e ingeniería de materiales*.

Tabla B.4 (Continuación)

Material/condición	Límite elástico (MPa [ksi])	Resistencia (MPa [ksi])	Alargamiento
Acero 4140			
• Recocido (@ 815 °C)	417 (60,5)	655 (95)	25,7
• Normalizado (@ 870 °C)	655 (95)	1020 (148)	17,7
• Temple en aceite y revenido (@ 315 °C)	1570 (228)	1720 (250)	11,5
Acero 4340			
• Recocido (@ 810 °C)	472 (68,5)	745 (108)	22
• Normalizado (@ 870 °C)	862 (125)	1280 (185,5)	12,2
• Temple en aceite y revenido (@ 315 °C)	1620 (235)	1760 (255)	12

Es prova d'agafar un acer 4340 però aquesta vegada templat en oli i revingut. Aquest és un acer molt versàtil i és utilitzat per esforços de fatiga i corrosió. Té una gran resistència a l'impacte, a la fatiga i a l'abradió. És interessant que agunti a la corrosió,



Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

ja que moltes vegades aquestes AirBikes es troben en naus amb una humitat elevada i el manteniment que se'ls hi fa és, en general, deficient.

Els coeficients que es tenen ara per treure el límit de resistència a la fatiga són els següents:

- Coeficient de tipus de càrrega (k_l) = 0.58
- Coeficient de grandària (k_d) = 0.85
- Coeficient acabat superficial (k_s) = 0.9 (rectificat)
- Coeficient concentració de tensions (k_f) = 1.32
- Límit de fatiga de la proveta estàndard (S_f) = 700 MPa

Amb aquestes dades s'obté un valor de 235.3 MPa del límit de fatiga. Amb un valor de σ_a' de 387.3 MPa i de σ_m' de 293.4 MPa es pot representar el gràfic de la Figura 1.41.

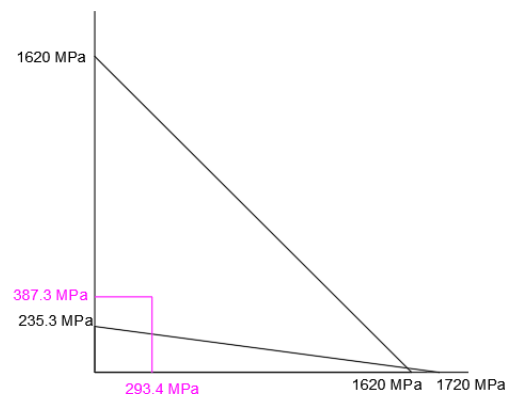


Fig. 1. 41 Gràfic de resistència a la fatiga a vida infinita de la peça que trenca de l'AirBike aplicant un canvi de material. Font: pròpia

Tal com es pot apreciar tot i el canvi de material la peça encara no aguantaria a vida infinita. Amb un coeficient k_f' de 1.1952 s'obté el gràfic de la Figura 1.42.

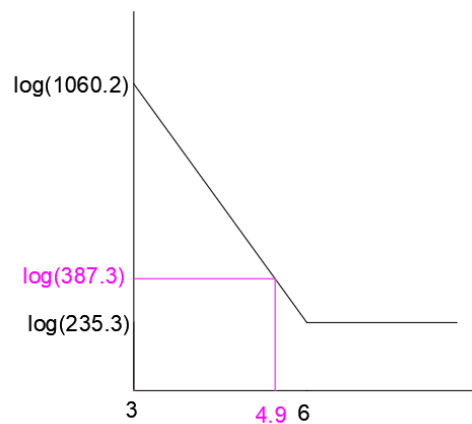


Fig. 1. 42 Gràfic de resistència a la fatiga a vida finita de la peça que trenca de l'AirBike aplicant un canvi de material. Font: pròpia.

Això equivaldria a que la peça pot aguantar 79432 cicles a una potència de 855 W.

Amb el canvi de material s'aconsegueix que la peça allargui la seva vida 6,3 vegades, tot i així, la peça encara no resisteix a vida infinita.

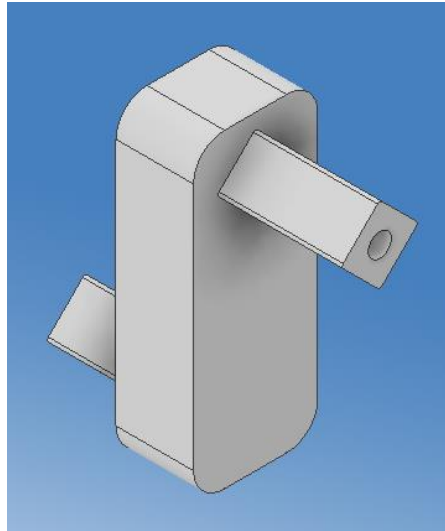
1.8.2. Alternativa 2: canvi de geometria

Una altra alternativa que es planteja és la de canviar la geometria de la part de la peça que s'ha trencat per tal de augmentar el màxim possible límit de resistència a la fatiga S_f i disminuir els esforços que pateix la peça.

Per tal d'augmentar el límit de resistència a la fatiga de la peça S_f sense canviar el material d'aquesta es pot fer fent variar els coeficients que modifiquen el límit de resistència a la fatiga de la proveta estàndard. Aquests coeficients venen donats pel tipus de càrrega (K_l), la grandària (K_d), l'acabat superficial (K_s) i la concentració de tensions (K_t).

Per altra banda, per disminuir els esforços que pateix la peça el que es pot fer es fer augmentar la inèrcia de la secció. Per augmentar la inèrcia de la secció s'ha proposat que la diagonal de la secció quadrada tingui un valor de 25 mil·límetres i s'ha mantingut el forat de 6 mil·límetres de diàmetre. Amb aquests canvis la inèrcia de la secció és de 8161.6 mm^4 i una inèrcia polar de 16323.1 mm^4 .

Els únics coeficients que s'han modificat són els de concentració de tensions (k_f) i el de l'acabat superficial (k_s). S'ha imposat que l'acabat superficial de la peça seria un rectificat i que s'eliminarien les concentracions de tensions fent que no hi hagi cap variació en la secció al llarg de la peça tal i com es pot apreciar en la Figura 1.43.



*Fig. 1. 43 Proposta de canvi de geometria de la peça que trenca de l'AirBike.
Font:pròpia*

Per tant els valors per calcular el límit de resistència a la fatiga són els següents:

- Coeficient de tipus de càrrega (k_l) = 0.58
- Coeficient de grandària (k_d) = 0.85
- Coeficient acabat superficial (k_s) = 0.9 (rectificat)
- Coeficient concentració de tensions (k_f) = 1
- Límit de fatiga de la proveta estàndard (S_f') = 640 MPa

Aquests paràmetres donen com a resultat un límit de resistència a la fatiga de 283.9 MPa. Amb un valor de σ_a' de 59.4 MPa i de σ_m' de 59.4 MPa es pot representar el gràfic de la Figura 1.44.

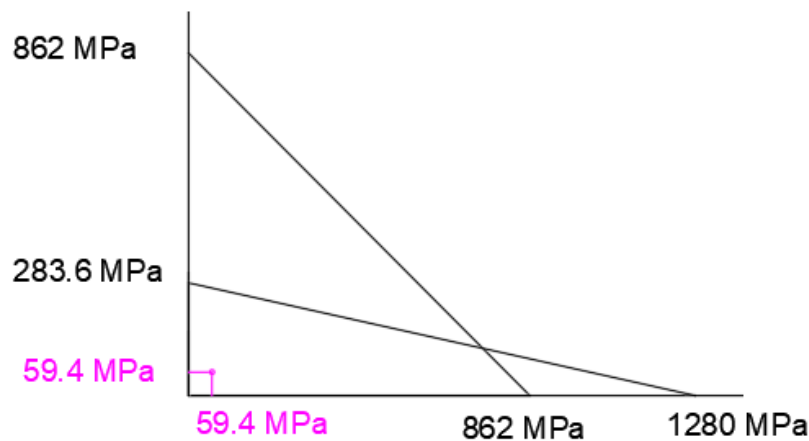


Fig. 1. 44 Gràfic de resistència a la fatiga a vida infinita de la peça que trenca de l'AirBike aplicant un canvi de geometria. Font: pròpia

Com es pot veure els canvis aplicats a la peça són molt efectius. Amb aquestes modificacions la peça aguanta a vida infinita, per tant, és una bona alternativa a tenir en compte.

1.8.3. Alternativa 3: modificació de les dimensions de la peça

Una de les alternatives que es planteja és mantenir la geometria actual però augmentant la secció de la peça. És a dir, augmentar la inèrcia de la secció mantenint els paràmetres per fer el càlcul de la fatiga.

Es prova de fer els càlculs per un diàmetre de 25 mil·límetres de la part rodona de la peça i una diagonal de 25 mil·límetres en la secció quadrada de la peça per aprofitar els càlculs de la inèrcia de l'annex anterior. Es manté també el forat pel cargol de mètrica 6.

La inèrcia de la secció per les noves dimensions proposades és de 8161.6 mm^4 i la inèrcia polar és de 16323.1 mm^4 .

Els nous coeficients per calcular el límit de resistència a la fatiga són els següents:

- Coeficient de tipus de càrrega (k_l) = 0.58
- Coeficient de grandària (k_d) = 0.85
- Coeficient acabat superficial (k_s) = 0.68 (rectificat)
- Coeficient concentració de tensions (k_f) = 1.261
- Límit de fatiga de la proveta estàndard (S_f') = 640 MPa



Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

Amb aquestes dades s'obté un valor de 170.1 MPa del límit de fatiga. Amb un valor de σ_a' de 74.9 MPa i de σ_m' de 59.4 MPa es pot representar el gràfic de la figura 1.45.

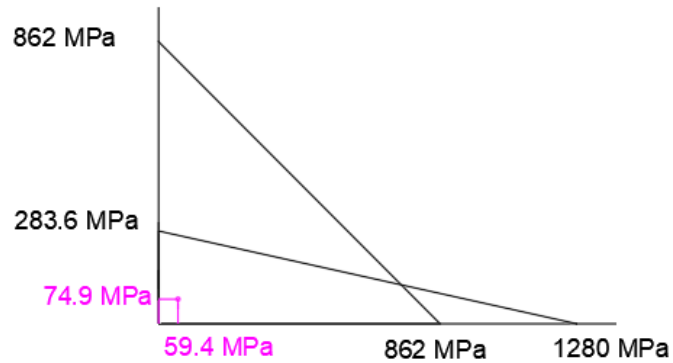


Fig. 1. 45 Gràfic de resistència a la fatiga a vida infinita de la peça que trenca de l'AirBike aplicant un canvi de secció. Font: pròpia

Com es pot observar, la peça fent aquest canvi també aguanta a vida infinita. Per tant, és una altra alternativa interessant a tenir en compte.



1.9. Anàlisi de l'alternativa escollida i resultats finals

1.9.1. Alternativa escollida

Després d'analitzar les diferents alternatives proposades s'ha arribat a la conclusió que la millor alternativa és la segona en la que es proposa el canvi de geometria per eliminar la concertació de tensions de la peça que precisament tenen lloc en el punt on trenca la peça.

S'ha decidit per tant mantenir el material actual de la peça, l'acer 4340 normalitzat. S'ha volgut optar també per un disseny que permet ser reparat fàcilment en el cas que es produeixi el desgast o s'hagi de fer el canvi d'alguna peça. A més a més, s'ha optat per posar peces que es puguin mecanitzar i no s'hagin de fer per emmotllament.

En les Figures 1.46 i 1.47 es pot veure el disseny final de la part del pedal de l'AirBike.

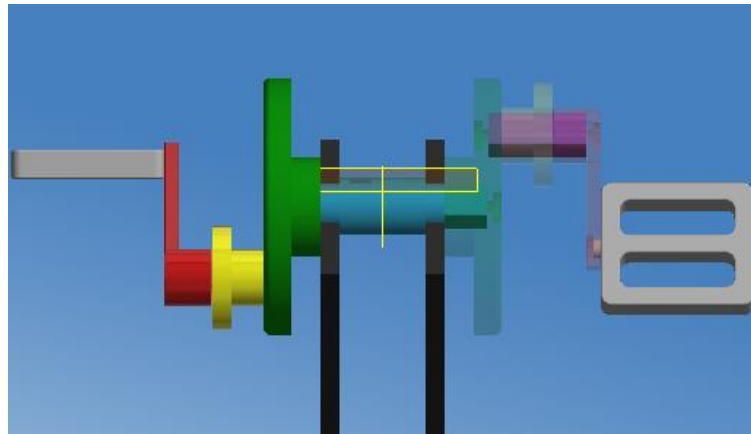


Fig. 1. 46 Proposta de disseny final de la part del pedal de l'AirBike. Font: pròpia

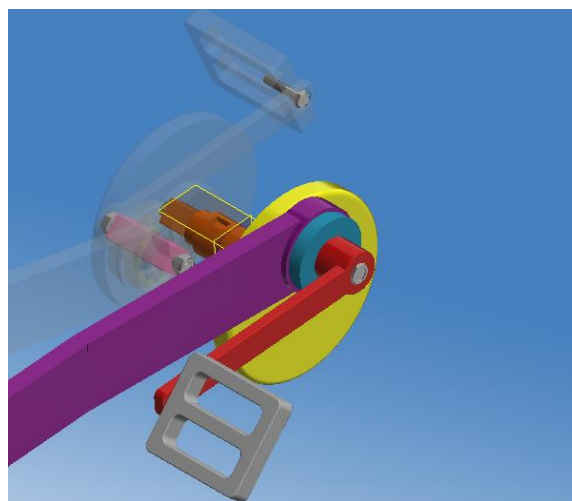


Fig. 1. 47 Proposta de disseny final de la part de l'AirBike (2). Font: pròpia

La peça que forma la manovella en el disseny actual de l'AirBike passa a estar composta per tres peces que es comenten a continuació.

1.9.1.1. Peça 1

es tracta d'un disc que es connecta a l'eix que fa girar les rodes dentades que componen l'AirBike i a la vegada es connecta a la peça 2 d'aquesta manovella. Aquesta connexió es fa gràcies a la forma quadrada que tenen la secció de l'eix i el forat tal com es pot veure en la Figura 1.48. A més a més, hi ha un cargol de mètrica 6 que manté unit l'eix amb la peça 1 de la manovella.

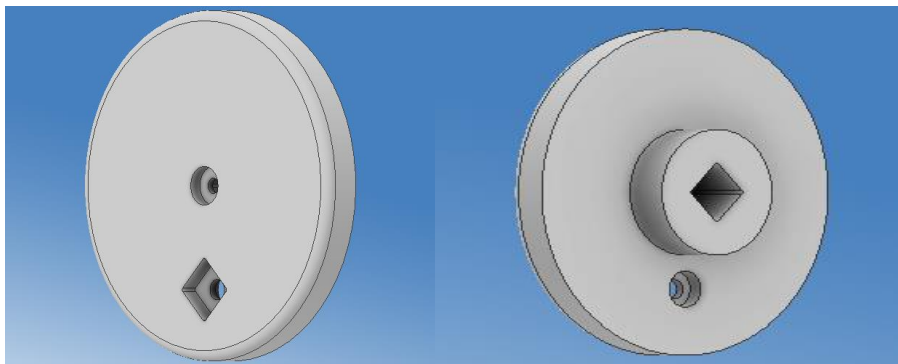


Fig. 1. 48 Disseny de la peça 1 del disseny final. Font: pròpia.

En la Figura 1.49 es pot veure com és la connexió d'aquesta peça amb la peça 2 de la manovella i amb l'eix de la primera roda dentada.

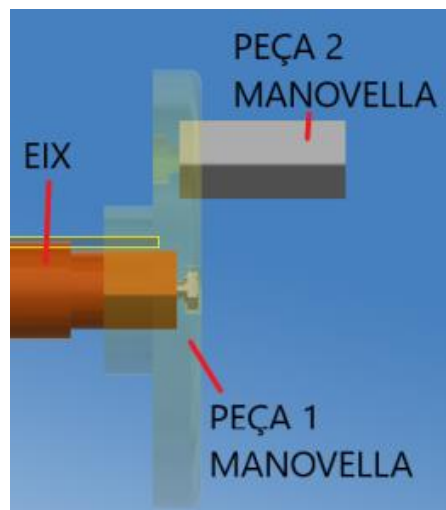


Fig. 1. 49 Unió entre les peces 1,2 i l'eix del pedal. Font: pròpia.

1.9.1.2. Peça 2

Aquesta peça és un eix de secció quadrada amb un forat al mig per fer-hi passar un cargol de mètrica 8. Aquesta peça es pot observar en la Figura 1.50.

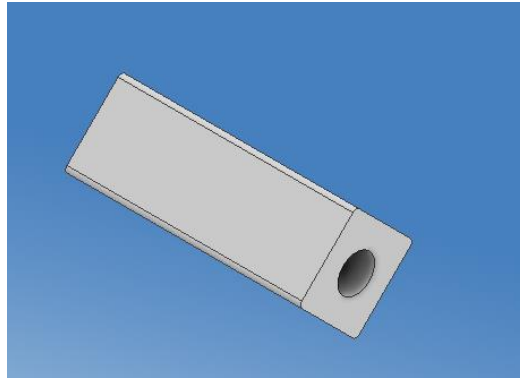


Fig. 1. 50 Disseny de la peça 2 del nou disseny de l'AirBike. Font: pròpia.

1.9.1.3. Peça 3

Aquesta peça permet la unió de la biela la qual transmet el moviment del manillar mòbil a la primera roda dentada de l'AirBike. Igual que s'ha comentat abans aquesta peça es connecta gràcies a la secció quadrada que té el forat del centre de la peça. Aquesta peça es pot observar en la Figura 1.51.

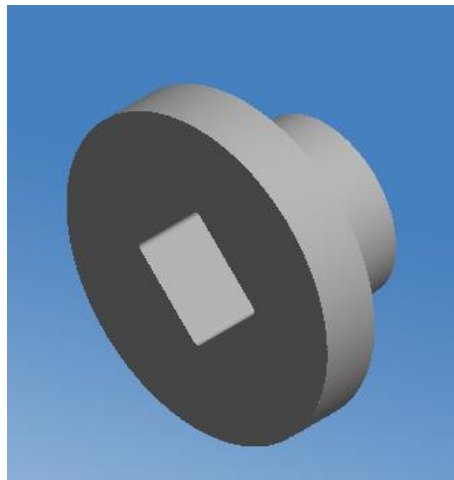


Fig. 1. 51 Disseny de la peça 3 del nou disseny de l'AirBike. Font: pròpia.

Sobre aquesta peça 3 de la manovella hi ha un rodament SKF 6006 i a sobre d'aquest rodament es troba la biela. La connexió d'aquestes peces es pot veure en la Figura 1.52.

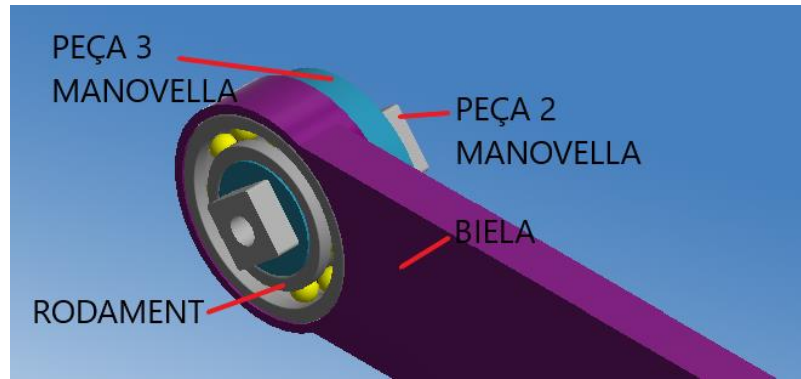


Fig. 1. 52 Unió de les peces 2, 3, biela i rodament. Font:pròpia.

Finalment, en la peça 2 de la manovella s'hi connecta el pedal i tot es troba unit amb un cargol passant de mètrica 8 i una femella. En el disseny anterior ja hi havia un cargol en aquest punt de la peça, però fent que sigui un cargol passant s'aconsegueix que les peces estiguin comprimides i no pateixin una tracció generada pel cargol que el que feia era afavorir a que qualsevol fissura del material s'anés obrint. La unió de totes aquestes peces es pot veure en la Figura 1.53.

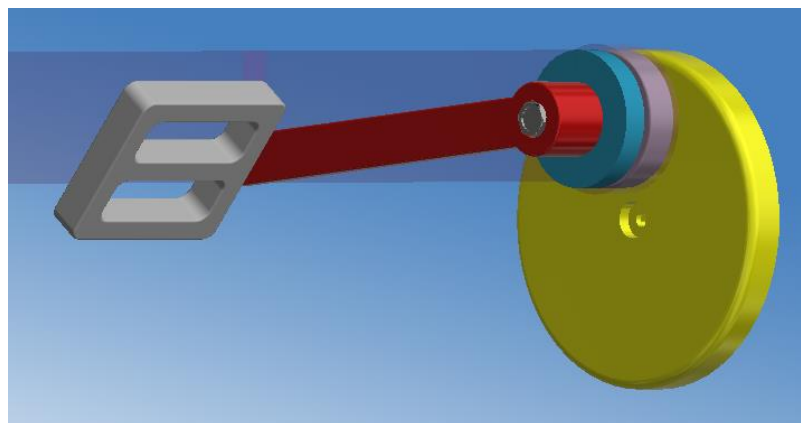


Fig. 1. 53 Unió de totes les peces del nou disseny del pedal de l'AirBike. Font:pròpia.

Pel que fa a la resta de peces s'han conservat les mides que té l'AirBike actualment. No obstant, algunes de les mides de la biela i del manillar mòbil s'han vist afectades per les noves dimensions de les peces de la part del pedal.

1.9.2. Resultats finals

Amb les noves dimensions de la peça s'obté una inèrcia de la secció de 1738 mm^4 i una inèrcia polar de 3476 mm^4 .

Els valors per calcular el límit de resistència a la fatiga són els mateixos que en l'alternativa 2 i, per tant, els següents:

Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

- Coeficient de tipus de càrrega (k_l) = 0.58
- Coeficient de grandària (k_d) = 0.85
- Coeficient acabat superficial (k_s) = 0.9 (rectificat)
- Coeficient concentració de tensions (k_f) = 1
- Límit de fatiga de la proveta estàndard (S_f') = 640 MPa

Aquests paràmetres donen com a resultat un límit de resistència a la fatiga de 283.9 MPa. Amb un valor de σ_a' de 195.2 MPa i de σ_m' de 195.2 MPa es pot representar el gràfic de la Figura 1.54.

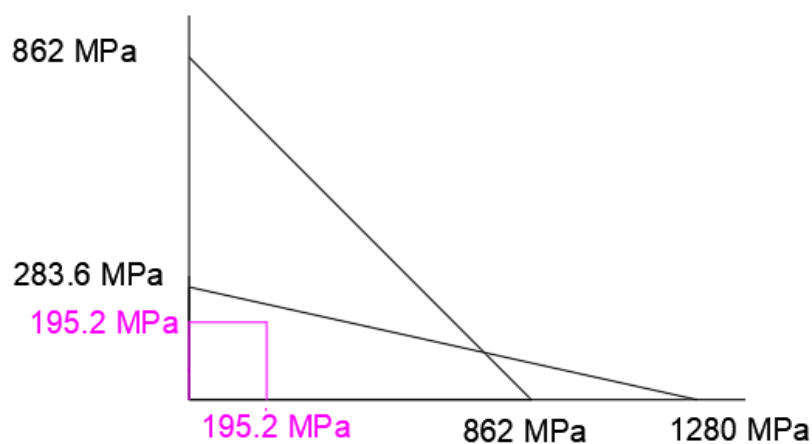


Fig. 1. 54 Gràfic de resistència a la fatiga a vida infinita pel disseny final de la peça que trenca de l'AirBike. Font: pròpia

Amb les noves dimensions la peça continua tenint una resistència a la fatiga a vida infinita i el coeficient de seguretat de fatiga de la peça amb les noves dimensions és de 2.2.

Amb aquest coeficient de seguretat es pot assegurar que el disseny final escollit de la peça es adequat perquè aquesta no torni a trencar.

Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

1.10. Resum del pressupost

En el pressupost d'aquest projecte hi ha indicats els preus dels diferents conceptes per cada unitat d'AirBike. No obstant, com que l'empresa fabrica les AirBike en sèrie s'ha fet el pressupost suposant la fabricació d'una sèrie de 100 AirBike, repartint així els costos fixes d'enginyeria per a cada peça.

RESUM DEL PRESSUPOST

CAPITOL	RESUM	IMPORT	%
CAPITOL 01	SUBCONJUNT PEDAL AIRBIKE	238,77	61%
CAPITOL 02	SUBCONJUNT BIELA-MANILLAR AIRBIKE	151,96	39%
	PRESSUPOST D'EXECUSIÓ MATERIAL	390,73	
	13,00% Despeses generals	50,79	
	6,00% Benefici industrial	23,44	
	SUMA DE D.G. I B.I.	74,24	
	PRESSUPOST BASE DE LICITACIÓ SENSE IVA	464,97	
	21% IVA	97,643427	
	PRESSUPOST BASE DE LICITACIÓ	562,61	

Puja el pressupost l'esmentada quantitat de CINQ-CENTS SEIXATA-DOS EUROS amb SEIXANTA-UN CÈNTIMS

Tarragona, 2 de gener de 2023



Alba Sanabra Miquel



1.11. Bibliografia

Assault AirBike. (<https://www.assaultbike.es/> 9 d'agost de 2022)

BIGORDÀ PEIRÓ, J.; FENOLLOSA I CORAL, J. (1993) *La fatiga dels elements mecànics*, Barcelona, Edicions UPC

CrossFit Portixol. "De dónde viene el CrossFit? Un poco de historia." (<https://www.crossfit-portixol.es/donde-viene-crossfit-poco-historia/> 10 de desembre 2022)

D. CALLISTER, W. ; G. RETHWISCH, D. (2015) *Ciencia e ingeniería de materiales*, Barcelona, Ed. Reverté

Decathlon. (<https://www.decathlon.es/es/> 5 de desembre de 2022)

Echo Bike. (<https://www.rogueeurope.eu/rogue-echo-bike-eu?locale=es-ES/> 20 agost de 2022)

FONOLLOSA CORAL, J. (2016) *Unions cargolades*, Barcelona, Edicions UPC.

Ingemecanica. "Ensayos de Dureza en los Materiales". (<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn218.html> 10 d'octubre 2022)

LINKUN. (<http://ca.lksteelpipe.com/4340-alloy-steel-bar> 10 d'octubre 2022)

Maniak AirBike. (<https://maniakfitness.com/bicicleta-maniak-airbike-p56/> 20 agost de 2022)

Manual Assault Air Bike. (<https://www.manualpdf.es/assault-bike/air-bike/manual?p=1> 9 d'agost de 2022)

MechaniCalc. (<https://mechanicalc.com/calculators/mohrs-circle/> 1 de desembre 2022)

QT "Medidas antropométricas y tallaje". (<https://www.quintatrends.com/2015/03/medidas-antropometricas-y-tallaje-como.html> 25 de novembre 2022)

Rodamientos FAG. "Catálogo Rodamientos FAG". (<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/objetos/figutut214/FAG.pdf> 28 de desembre 2022)

RS Components. (<https://es.rs-online.com/web/> 28 de desembre de 2022)

SKF. (<https://www.skf.com/pe/products/rolling-bearings> 28 de desembre de 2022)

THE PULSE PROGRAM. *Zona de potencia en máquinas*. (<https://www.thepulseprogram.com/zonas-de-potencia-en-maquinas/> 17 de setembre de 2022)

ZIKLOLAND. "Eficiencia de pedaleo: El máximo partido a nuestro potenciómetro". (<https://www.zikloland.com/eficiencia-pedaleo-maximo-partido-potenciometro/> 5 de setembre de 2022)



Treball de Fi de Grau
Enginyeria Mecànica



**Millora del disseny del pedal d'una
Assault Bike
Treball Fi de Grau**

Document 3: Annexes

Autor: Alba Sanabra Miquel
Director: Iván García Sierra
Data: Gener 2023



ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR
D'ENGINYERIA QUÍMICA
Universitat Rovira i Virgili

etsEQ

2.	ANNEXES	2
2.1.	Annex determinació del material de la peça a estudiar (propietats del material)	2
2.1.1.	Comprovació de la densitat del material	2
2.1.2.	Comprovació de les propietats magnètiques del material	4
2.1.3.	Comprovació de la duresa del material	5
2.2.	Annex relació i funcionament dels components mòbils de l'AirBike	10
2.3.	Annex forces externes aplicades segons l'angle de pedalada	13
2.3.1.	Posició amb el pedal situat a 0º respecte a l'horitzontal	13
2.3.2.	Posició amb el pedal situat a 270º respecte a l'horitzontal	14
2.3.3.	Posició amb el pedal situat a 180º respecte a l'horitzontal	16
2.3.4.	Posició amb el pedal situat a 90º respecte a l'horitzontal	17
2.4.	Annex determinació de les forces externes aplicades	20
2.4.1.	Determinació de les masses e inèrcies de les baules del mecanisme	25
2.4.2.	Estudi cinemàtic del mecanisme	27
2.4.3.	Determinació forces (Mètode Alembert)	38
2.5.	Annex càlcul de la força exercida pel cargol	45
2.6.	Annex carregues que actuen sobre el punt de trencament	48
2.7.	Annex per l'estudi del trencament de la peça (càlcul estàtic i a fatiga)	52
2.7.1.	Trencament estàtic	52
2.7.2.	Trencament per fatiga	64
2.8.	Annex estudi d'alternatives	76
2.8.1.	Estudi alternativa 1: canvi de material	76
2.8.2.	Estudi alternativa 2: canvi de geometria	81
2.8.3.	Estudi alternativa 3: modificació de les dimensions actuals	87
2.9.	Annex resultats de l'alternativa escollida	91
2.9.1.	Càlcul inèrcies de la secció	95
2.9.2.	Resistència del disseny final	97
2.9.3.	Càlcul de rodaments	99



2. ANNEXES

2.1. Annex determinació del material de la peça a estudiar (propietats del material)

En aquest annex es troben detallades totes les proves que s'han fet a la peça de la bicicleta que ha trencat per saber el material d'aquesta. La finalitat de trobar el material de la peça és poder fer un estudi més precís del motiu de la ruptura.

Les proves que s'han realitzat per saber el tipus de material de la peça han sigut les següents:

- Comprovació de la densitat del material
- Comprovació de les propietats magnètiques del material
- Comprovació de la duresa del material

Una vegada determinat el material de la peça es poden dir quines són les propietats del material. D'aquesta manera es pot decidir si el motiu de la ruptura és degut a una mala elecció del material, si és degut a un mal disseny de la secció de la peça o si les càrregues aplicades en el pedal de la bicicleta són majors a les que el material pot suportar.

2.1.1. Comprovació de la densitat del material

Amb aquesta prova relativament senzilla es pot fer una aproximació al material real de la peça. Amb la densitat obtinguda ja es poden descartar tot els materials que no tinguin una densitat pròxima a l'obtinguda.

Es pot definir l'equació (2.1) per a calcular la densitat d'un material qualsevol.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2.1)$$

On ρ és la densitat en kg/m^3 .

On m és la massa en kg.

On V és el massa en m^3 .

Per tal de determinar la massa de la peça s'ha fet servir una balança de cuina i per trobar el volum de la peça s'ha submergit aquesta dins d'un líquid i s'ha mesurat la variació de volum del líquid. En aquest cas, el líquid que s'ha fet servir ha sigut aigua.



Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

Després de pesar la peça, s'ha obtingut una massa de 0,262 kg. Posteriorment, s'ha omplert un recipient amb aigua i s'ha calculat el volum inicial (V_i), quan ja s'ha agafat aquesta mesura s'ha submergit la peça dins del líquid i s'ha comprovat quin és el volum final (V_f).

Per mesurar el volum inicial i el volum final primer s'han pres mides del recipient per determinar l'àrea (A), l'altura del líquid abans de posar-hi la peça (h_i) i l'altura després de posar-hi la peça (h_f).

Els volums inicial i final es calculen mitjançant les equacions (2.2) i (2.3) respectivament.

$$V_i = A * h_i \quad (2.2)$$

$$V_f = A * h_f \quad (2.3)$$

L'àrea, degut a que el recipient és cilíndric, es calcula amb l'equació (2.4).

$$A = \pi * \frac{d^2}{4} \quad (2.4)$$

On d és el diàmetre interior del recipient en m.

El volum desplaçat (V) serà doncs la variació entre el volum final i el volum inicial. Per tant es calcula amb l'equació (2.5).

$$V = V_f - V_i \quad (2.5)$$

Les mesures obtingudes són les següents:

- Diàmetre $d = 0,078$ m
- Altura inicial $h_i = 0,07$ m
- Altura final $h_f = 0,0775$ m

L'àrea obtinguda amb aquest diàmetre amb l'equació (2.4) és:

$$A = \pi * \frac{d^2}{4} = \pi * \frac{0.078^2}{4} = 4.778 \cdot 10^{-3} \text{ (m}^2\text{)}$$

Així doncs, amb les equacions (2.2), (2.3) i (2.5) s'obtenen els volums següents:

$$V_i = A * h_i = 4.778 \cdot 10^{-3} * 0.07 = 3.345 \cdot 10^{-4} \text{ (m}^3\text{)}$$

$$V_f = A * h_f = 4.778 \cdot 10^{-3} * 0.0775 = 3.703 \cdot 10^{-4} \text{ (m}^3\text{)}$$



Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

$$V = V_f - V_i = 3.703 \cdot 10^{-4} - 3.345 \cdot 10^{-4} = 3.58 \cdot 10^{-5} \text{ (m}^3\text{)}$$

La densitat calculada amb l'equació (2.1) per tant és:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{0.262}{3.58 \cdot 10^{-5}} = 7318,4 \left(\frac{kg}{m^3}\right) = 7,318 \left(\frac{g}{cm^3}\right)$$

Si es compara la densitat obtinguda amb les de la Figura 2.1 on es mostren les densitats pròpies de cada tipus material es pot veure que el material és un ferro o un acer.

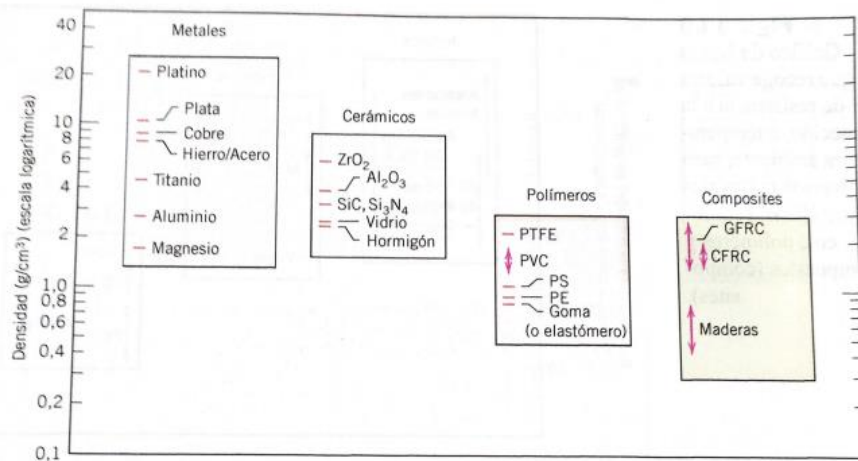


Fig. 2. 1 Gràfic que relaciona els diferents materials amb la densitat [g/cm³]. Font: llibre Ciència e ingeniería de materiales.

2.1.2. Comprovació de les propietats magnètiques del material

S'ha volgut comprovar si el material presenta propietats magnètiques. En el cas de no presentar-ne es podria dir que es tracta d'un acer inoxidable.

Aquesta comprovació s'ha fet amb l'ajuda d'un imant de neodimi. S'ha observat que a l'apropar l'imant a la peça, l'imant se sentia atret i s'enganxava directament a la peça tal com es pot veure en la Figura 2.2. Així doncs, es pot dir que estem davant d'un material magnètic i, per tant, no es pot assegurar que sigui un acer inoxidable.





Fig. 2. 2 Comprovació propietats magnètiques material. Font: pròpia

2.1.3. Comprovació de la duresa del material

Amb la comprovació de la densitat del material ja es pot fer una aproximació del material que es tracta i el resultat de les propietats magnètiques del material dona lloc a fer més proves, ja que encara no es pot saber si es tracta d'una fosa, d'un acer baix en carboni, d'un acer alt en carboni o un acer inoxidable.

Per aquest motiu s'ha fet un assaig de duresa Brinell sobre la peça d'estudi d'aquest projecte.

Per fer aquest assaig s'ha utilitzat la màquina per fer assajos de duresa Brinell de la Figura 2.3 que hi ha al laboratori d'Elasticitat i Resistència de Materials.



Fig. 2. 3 Màquina d'assaig duresa Brinell. Font: pròpia



Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

Durant l'assaig s'ha aplicat una càrrega de 3000 kp durant 30 segons amb una bola de carbur de tungstè de 10 mil·límetres de diàmetre que es pot veure en la Figura 2.4.



Fig. 2. 4 Bola de carbur de tungstè de 10 mil·límetres de diàmetre de la màquina d'assaig de Duresa Brinell. Font: pròpia.

El procediment que s'ha seguit per fer l'assaig és el següent:

1. S'ha posat la mostra de la peça a analitzar de manera plana sobre la plataforma de la màquina.
2. Amb l'ajuda de la palanca situada al costat dret de la màquina, s'ha d'anar baixant l'identador fins a tocar a la proveta.
3. Una vegada entren en contacte la peça i la bola s'ha de continuar accionant la palanca fins a aconseguir aplicar una càrrega de 3000 kp.
4. En arribar a aquest valor de càrrega es manté la força a 3000 kp durant 30 segons.
5. Passat aquest temps s'ha d'obrir la vàlvula per alliberar la càrrega.

En la Figura 2.5 es pot veure la marca que l'identador ha deixat damunt de la peça.





Fig. 2. 5 Marca deixada per l'identador sobre la peça a analitzar després de realitzar l'assaig de duresa Brinell. Font: pròpia

S'ha mesurat el diàmetre de la marca deixada sobre la peça i s'ha observat un diàmetre de 3.2 mil·límetres.

La duresa de Brinell s'obté amb l'equació (2.6).

$$HB = \frac{2P}{\pi D^2} \cdot \left[\frac{1}{1 - \sqrt{1 - \frac{d^2}{D^2}}} \right] \quad (2.6)$$

On P és la càrrega aplicada durant l'assaig en kp.

On D és el diàmetre de la bola de carbur de tungstè en mil·límetres.

On d és el diàmetre de la marca que es deix sobre la peça en mil·límetres.

Així doncs, la duresa Brinell calculada amb l'equació (2.6) és:

$$HB = \frac{2 \cdot 3000}{\pi \cdot 10^2} \cdot \left[\frac{1}{1 - \sqrt{1 - \frac{3.2^2}{10^2}}} \right] = 363.2$$

Del gràfic de la Figura 2.6, extret del llibre de "Ciencia e ingeniería de materiales", es pot veure que la resistència a la tracció d'aquest acer és de 1200 MPa aproximadament.



Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

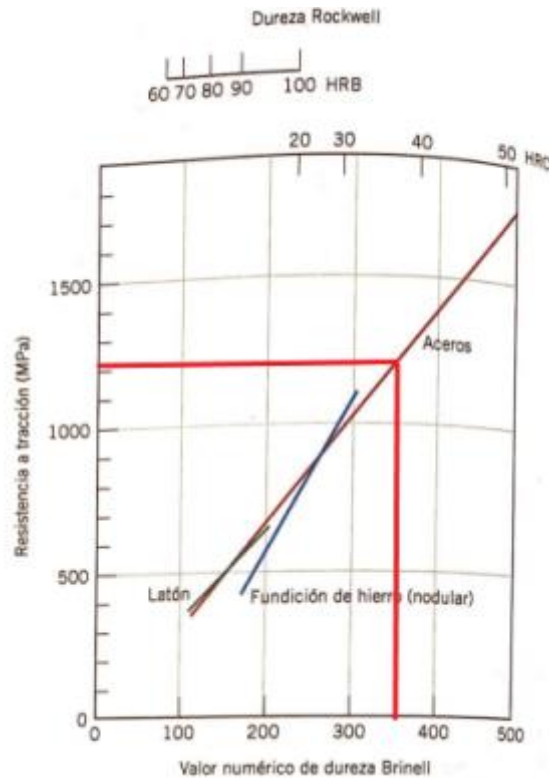


Fig. 2. 6 Gràfic on es mostra la relació entre la resistència a la tracció [MPa], el valor de la duresa Brinell [HB] i la duresa Rockwell [HRC]. Font: llibre Ciència e ingeniería de materiales.

Si es busca més detalladament un acer amb aquestes característiques es pot determinar segons la Taula 2.1 que es tracta d'un acer 4340 normalitzat.

Taula 2. 1 Propietats mecàniques dels acers 4140 i 4340. Font: llibre Ciència e ingeniería de materiales

Tabla B.4 (Continuación)

Material/condición	Límite elástico (MPa [ksi])	Resistencia (MPa [ksi])	Alargamiento
Acero 4140			
• Recocido (@ 815 °C)	417 (60,5)	655 (95)	25,7
• Normalizado (@ 870 °C)	655 (95)	1020 (148)	17,7
• Temple en aceite y revenido (@ 315 °C)	1570 (228)	1720 (250)	11,5
Acero 4340			
• Recocido (@ 810 °C)	472 (68,5)	745 (108)	22
• Normalizado (@ 870 °C)	862 (125)	1280 (185,5)	12,2
• Temple en aceite y revenido (@ 315 °C)	1620 (235)	1760 (255)	12

La densitat d'aquest acer és de 7.85 g/cm³ tal i com indica la Taula 2.2. A afectes de càlcul s'utilitzarà aquest valor i no el trobat en el primer punt d'aquest annex, ja que l'experiment realitzat per determinar la densitat es va fer amb utilatges de cuina dels



Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

quals es desconeix el grau d'exactitud de les mesures, tot i que va ser suficient per trobar una aproximació al resultat.

Taula 2. 2 Valors de les densitats [g/cm^3] i [lb_m/in^3] per a acers al carboni, de baixa aleació i acers inoxidables. Font: llibre Ciència e ingeniería de materiales

Tabla B.1
Valores de densidad a temperatura ambiente para diversos materiales de ingeniería

Material	Densidad	
	g/cm^3	lb_m/in^3
METALES Y ALEACIONES		
Aceros al carbono y de baja aleación		
Acero A36	7,85	0,283
Acero 1020	7,85	0,283
Acero 1040	7,85	0,283
Acero 4140	7,85	0,283
Acero 4340	7,85	0,283
Aceros inoxidables		
Acero inoxidable 304	8,00	0,289
Acero inoxidable 316	8,00	0,289
Acero inoxidable 405	7,80	0,282
Acero inoxidable 440A	7,80	0,282
Acero inoxidable 17-7PH	7,65	0,276



2.2. Annex relació i funcionament dels components mòbils de l'AirBike

En aquest annex es troba explicat, amb l'ajuda d'un esquema de les baules que componen el mecanisme mòbil de la bicicleta, quina és la relació i funcionament dels components mòbils de l'AirBike.

En la Figura 2.7 hi ha representades les baules que formen el mecanisme d'un dels costats de l'AirBike. Analitzar un dels dos costats de la bicicleta ja és suficient, ja que l'altre costat té els mateixos components i funcionen de la mateixa manera, però el pedal i el manillar es troben en posicions simètriques en tot moment, és a dir, quan el pedal es troba en posició vertical situat en el punt més allunyat del terra, a l'altre costat es troba en posició vertical però situat en el punt més proper a terra.

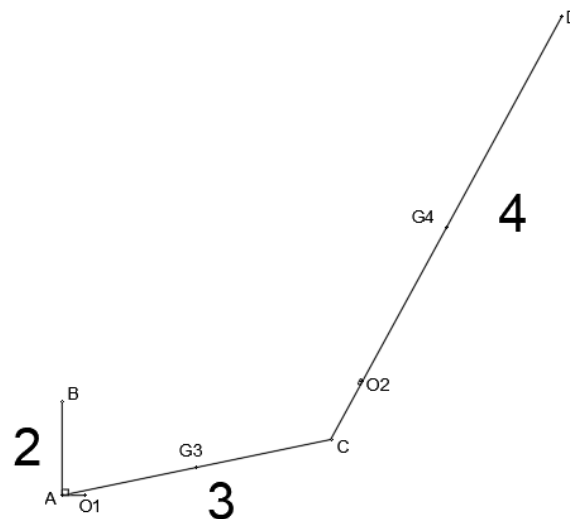


Fig. 2. 7 Baules que componen el subconjunt del pedal-biela-manillar de l'AirBike.
Font: pròpia

El mecanisme en qüestió està compost per 3 baules i una bancada:

- Baula 1: bancada
- Baula 2: manovella (peça d'estudi d'aquest projecte) + pedal
- Baula 3: biela del manillar mòbil
- Baula 4: manillar mòbil

Per altra banda, el mecanisme s'uneix a bancada a través de dos punts (O_1 i O_2). El punt O_1 és on s'uneix el mecanisme amb la roda dentada del pedal i el punt O_2 és el punt on el manillar mòbil s'uneix a bancada i pivota al seu voltant.

A més a més, hi ha el punt A on s'uneixen les baules 2 i 3. Aquest punt A és on es troba el trencament que s'està estudiant en aquest projecte. El punt B és el lloc d'aplicació de

Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

la força exercida pel peu de l'usuari. El punt C és per on s'uneix el manillar mòbil amb la seva biela i, finalment, el punt D és on s'aplica la força exercida amb la mà per moure el manillar.

La baula 2 que correspon a la peça d'estudi d'aquest projecte està formada per dues parts, el pedal i la manovella. Es considera com una sola baula, ja que s'uneixen mitjançant una secció quadrada tal com es mostra en la Figura 2.8 la qual cosa fa que sempre hi hagi un angle de 90° entre les dues peces.



Fig. 2. 8 Secció quadrada de la part de la peça de l'AirBike que trenca. Font: pròpia.

Pel contrari, la baula 3 si que té una articulació en aquesta part del mecanisme, ja que s'uneix a la peça mitjançant una secció circular tal com es mostra en la Figura 2.9.



Fig. 2. 9 Secció circular de la part de la peça de l'AirBike que trenca. Font: pròpia.

Aquestes tres baules es troben unides en aquest punt amb l'ajuda d'un cargol de mètrica 6 mil·límetres i llargada de 16 mil·límetres.

La baula 2, per tant, estaria formada per una part que s'anomenarà manovella i per una altra part que s'anomenarà pedal. En la Figura 2.10 es pot identificar quina part correspon a la manovella i quina part correspon al pedal.

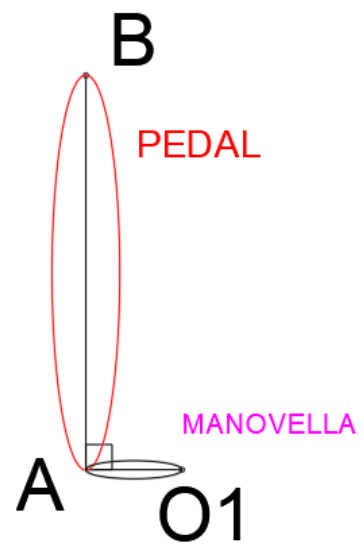


Fig. 2. 10 Parts que componen la baula 2. Font: pròpia.



2.3. Annex forces externes aplicades segons l'angle de pedalada

Durant un cicle complet del recorregut de la bicicleta, les forces exercides van variant segons la posició on es troben el manillar i el pedal. En aquest annex es determinen quines són aquestes forces segons l'angle de pedalada.

Es pren com a referència els 0° quan el pedal es troba en horitzontal, paral·lel al terra i situat a la part frontal respecte l'eix de gir de la roda dentada on va connectat aquest. Així doncs, les posicions estudiades són les següents:

- Posició amb el pedal situat a 0° respecte a l'horitzontal
- Posició amb el pedal situat a 270° respecte a l'horitzontal
- Posició amb el pedal situat a 180° respecte a l'horitzontal
- Posició amb el pedal situat a 90° respecte a l'horitzontal

A continuació es mostren les característiques per a cada una de les posicions. Només s'analitza les posicions d'un costat de la bicicleta i s'ha optat per mirar el costat dret.

2.3.1. Posició amb el pedal situat a 0° respecte a l'horitzontal

En aquesta posició que es troba l'AirBike de la Figura 2.11 s'observa que la manovella de la baula 2 es troba en una posició vertical i l'extrem d'aquesta peça es troba en la part superior més allunyada del terra.



Fig. 2. 11 Posició del pedal en angle 0° respecte a l'horitzontal. Font: pròpia

En l'esquema de la figura 2.12 es pot veure les forces aplicades en aquesta posició.

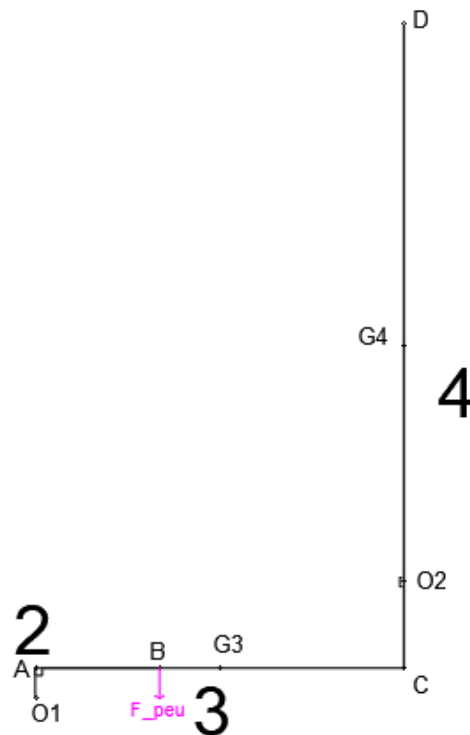


Fig. 2. 12 Esquema de baules per la posició en que el pedal forma un angle de 0° respecte a l'horitzontal. Font: pròpia.

En aquesta posició en concret la força feta amb els peus és totalment perpendicular al pedal i paral·lela a l'eix de la roda dentada on hi ha unit el pedal. Per altra banda, el manillar es troba a la meitat del seu recorregut en el qual la velocitat que té és la màxima. La trajectòria del manillar va cap a l'usuari i aquest fa la força cap a ell acompanyant el moviment. Aquesta força feta amb la mà es considera que és la mínima que s'exerceix durant tot el recorregut i és pràcticament nul·la, per tant, es considerarà zero a efectes de càlcul.

2.3.2. Posició amb el pedal situat a 270° respecte a l'horitzontal

El pedal de la bicicleta en la Figura 2.13 es troba en una posició vertical formant un angle de 270° respecte a l'horitzontal. Com a conseqüència la manovella es troba en una posició horitzontal amb l'extrem que s'uneix amb el pedal situat a la meitat frontal de la roda dentada.



Fig. 2. 13 Posició del pedal en angle de 270° respecte a l'horitzontal. Font: pròpia
L'esquema de forces de la Figura 2.14 mostra amb més claredat aquestes posicions i les forces que actuen.

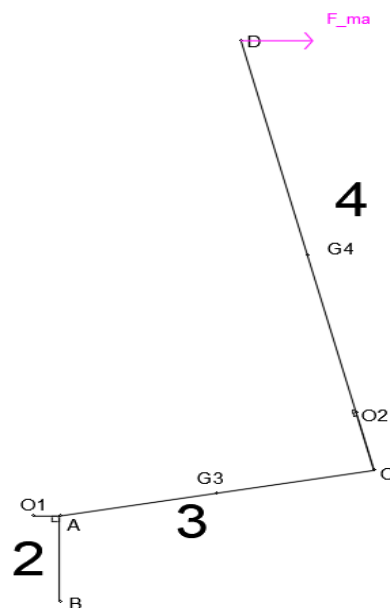


Fig. 2. 14 Esquema de baules per la posició en que el pedal forma un angle de 270° respecte a l'horitzontal. Font: pròpia.

En aquesta posició es veu com el pedal arriba al punt més baix del seu recorregut i es considera que la força que es fa sobre aquest amb el peu ja és nul·la. Per altra banda, el manillar es troba en el punt del recorregut més proper a l'usuari si es compara amb les altres tres posicions estudiades i la seva velocitat és pràcticament zero, ja que és un punt on recentment ha canviat la seva trajectòria. És per aquest motiu que l'usuari fa una força amb la mà cap endavant per ajudar al manillar a fer aquest canvi de trajectòria el més ràpid possible. La força exercida amb la mà és màxima en aquest punt.



Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

En aquesta posició no es pot considerar que la velocitat del manillar sigui zero, ja que la posició de canvi es troba quan la manovella i la baula 3 formen un angle de 180 graus entre elles.

2.3.3. Posició amb el pedal situat a 180° respecte a l'horitzontal

En aquesta posició de la figura 2.15 el pedal es troba a 180° respecte a l'horitzontal i la manovella està en una posició vertical. L'extrem de la manovella que s'uneix amb el pedal es troba a la meitat inferior de la roda dentada, és a dir, en la posició més propera a terra.



Fig. 2. 15 Posició del pedal en angle de 180° respecte a l'horitzontal. Font: pròpia
L'esquema de forces de la Figura 2.16 mostra amb més claredat aquestes posicions i les forces que actuen.

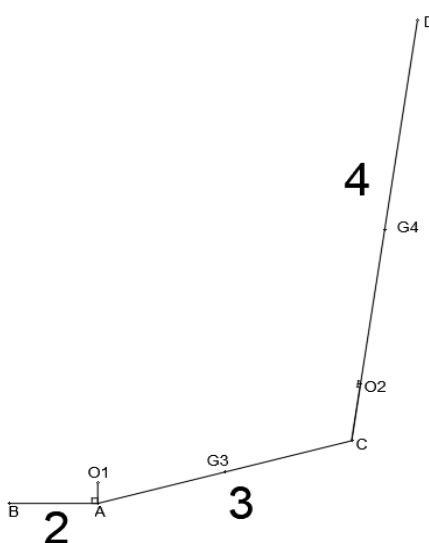


Fig. 2. 16 Esquema de baules per la posició en que el pedal forma un angle de 180° respecte a l'horitzontal. Font: pròpia.



Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

En l'esquema de baules s'observa que el pedal es troba en una posició horitzontal amb el terra. Com que està realitzant un recorregut ascendent, el peu no hi fa cap força a sobre. El manillar es troba en les mateixes condicions que en la posició del pedal a 0° , però en aquest cas l'usuari fa una força cap endavant seguint la trajectòria del manillar. Aquesta força exercida amb la mà és mínima i es considera que és nul·la.

2.3.4. Posició amb el pedal situat a 90° respecte a l'horitzontal

En aquesta posició de la Figura 2.17 el pedal es troba de manera vertical formant un angle de 90° respecte a l'horitzontal. La manovella està col·locada horitzontalment amb l'extrem d'unió amb el pedal situat a la meitat posterior de la roda dentada.



Fig. 2. 17 Posició del pedal en angle de 90° respecte a l'horitzontal. Font: pròpia

L'esquema de forces de la Figura 2.18 mostra amb més claredat aquestes posicions i les forces que actuen.



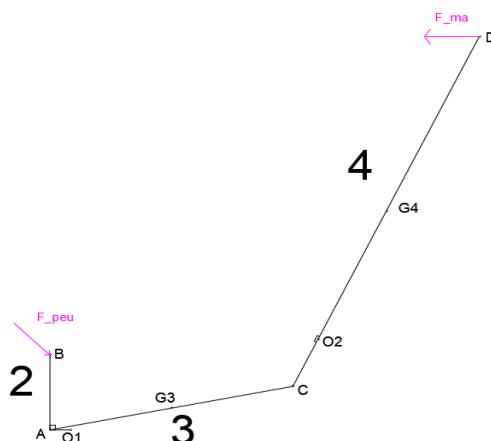


Fig. 2. 18 Esquema de bales per la posició en que el pedal forma un angle de 90° respecte a l'horitzontal. Font: pròpia.

Per últim, en aquesta posició la força del peu sobre el pedal forma un angle de 45° respecte a l'horitzontal per poder generar una component de força tangencial per fer girar el pedal. A més a més, el manillar es troba molt a prop d'un extrem de la seva trajectòria, per tant, l'usuari aplica el màxim de força amb la mà per ajudar al manillar a canviar de trajectòria el més ràpid possible.

No es pot considerar que la bala 4 es trobi en una posició extrema, ja que aquesta es troba quan la manovella i la bala 3 formen un angle de 0 graus entre elles.

Segons un article sobre l'eficiència de pedalada la torsió màxima aplicada durant el cicle de pedaleig es dona quan el pedal es troba a 0 graus respecte a l'horitzontal tal com es mostra en la Figura 2.19.

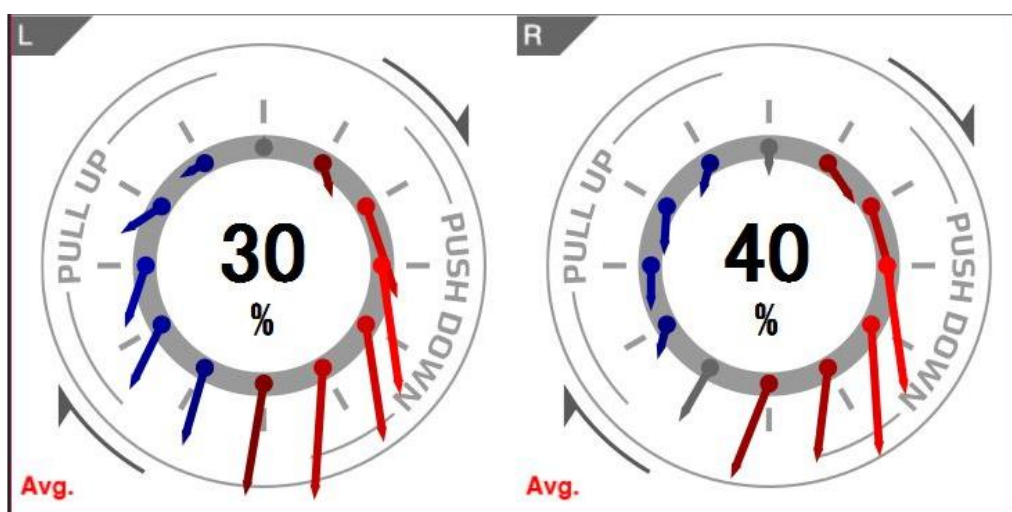


Fig. 2. 19 Eficiència de la pedalada. Torsió en els diferents punts del cicle de pedalada. Font: pàgina web de ZIKLOLAND



Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

En aquesta posició on la torsió és màxima, la distància entre el punt d'aplicació de la força i l'eix de la roda dentada que transmet el moviment a la roda davantera és màxima, i, per tant, el parell aplicat és màxim.

S'ha tingut en compte només el punt on la força de torsió generada pel peu és màxima, ja que la potència generada per la força feta amb la mà sobre el manillar té un valor inferior respecte a la potència que es genera amb la força del peu sobre el pedal. Aquests valors es poden veure en l'annex de determinació de les forces externes aplicades.

Per tant, les forces aplicades que es tindran en compte al llarg d'aquest projecte són les que tenen lloc quan el pedal de l'AirBike es troba a 0 graus respecte a l'horitzontal.

En la Taula 2.3 es pot observar el resum de les forces externes aplicades segons la posició del pedal.

Taula 2. 3 Forces externes aplicades segons la posició del pedal.

ANGLE PEDAL	FORÇA PEU	FORÇA MÀ
0°	Diferent de zero	Zero
90°	Zero	Màxima (cap a l'usuari)
180°	Zero	Zero
270°	Diferent de zero	Màxima (direcció contrària a l'usuari)



2.4. Annex determinació de les forces externes aplicades

En aquest annex es troba detallat com s'han determinat les forces externes que actuen en la bicicleta. En concret les forces que es volen conèixer són les que s'apliquen amb els peus damunt dels pedals i les que s'apliquen amb les mans al manillar mòbil de la bicicleta.

Durant un entrenament, quan s'utilitza l'AirBike, el més comú és utilitzar la força dels peus per fer moure els pedals acompanyada per la força de les mans que ajuden al moviment de vaivé que té el manillar en tot moment.

Com moltes de les màquines de gimnàs que existeixen, l'AirBike disposa d'una pantalla que es pot veure en la Figura 2.20 on es van motoritzant les següents dades:

- Temps d'activitat en segons
- Distància recorreguda en metres
- Calories consumides
- Potència en Watts
- Velocitat lineal en metres/segon
- Velocitat angular en revolucions per minut



Fig. 2. 20 Pantalla AirBike. Font: pròpia

La bicicleta disposa d'un sensor de velocitat, com es pot veure en la Figura 2.21 col·locat a un lateral de la roda davantera.





Fig. 2. 21 Sensor de velocitat AirBike. Font: pròpia.

Tenint en compte les dades que s'obtenen, concretament la potència i la velocitat angular, es pot arribar a determinar quina és la força que fa l'usuari sobre els pedals i sobre el manillar. Aquesta força té com objectiu vèncer la resistència de l'aire que es produeix degut a sis platines rectangulars que es poden veure en la Figura 2.22 de 15 centímetres de llarg per 5,5 centímetres d'ample situades a l'extrem de sis radis de la roda davantera.

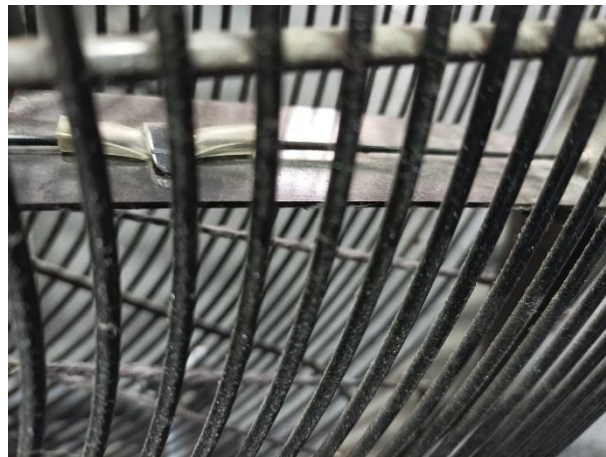


Fig. 2. 22 Platines roda davantera AirBike. Font: pàgina web Assault Fitness.

Quan l'atleta utilitza aquesta bicicleta en els entrenaments, aquest regula la velocitat a la que pedala per tal de poder arribar a l'objectiu de la sessió d'entrenament. En general, s'utilitza de manera explosiva, és a dir, l'atleta intenta aconseguir fer el màxim de calories en el menor temps possible. En la Figura 2.23 hi ha representat un esquema on indica a quina potència ha d'anar l'atleta segons el temps que estarà pedalant segons la informació extreta de la pàgina de *The pulse program*.





Fig. 2. 23 Zones d'entrenament segons la intensitat de l'exercici i el temps [min] dedicat . Font: pàgina web The pulse program

El que indica l'esquema anterior és que pedalant al 100% de la potència que l'atleta és capaç de generar, és a dir pedala a la velocitat aeròbica màxima (VAM), aquest podrà mantenir aquest ritme durant un màxim de 30 segons. Si per exemple ha d'estar entre 3 i 10 min pedalant hauria de mantenir la potència al 90% de la potència màxima que és capaç de generar.

S'ha demanat a un atleta que, utilitzant només la força exercida pels peus sobre els pedals, aconseguís revolucionar al màxim la bicicleta. Aquesta prova es va fer un dilluns abans de començar la sessió d'entrenament per tal d'assegurar que l'atleta en qüestió no estigués fatigat i pogués donar el màxim resultat possible. L'atleta va aconseguir arribar als 925 W.

Aquesta prova es va tornar a repetir un altre dilluns amb unes condicions de l'atleta similars però aquesta vegada fent força només al manillar de la bicicleta. En aquest cas es va aconseguir arribar als 345 W.

Es va repetir una tercera vegada la prova amb el mateix atleta un altre dilluns amb unes condicions similars. Aquesta vegada es va demanar a l'atleta que utilitzes la bicicleta de manera normal, és a dir, utilitzant la força de les mans i els peus. En aquest últim cas es va aconseguir una potència de 1141 W.

S'han pres un seguit de dades de potència i velocitat angular per fer una gràfica on es veu la relació entre aquestes dues variables. Abans de fer la gràfica s'ha fet un canvi d'unitats i s'ha passat les revolucions per minut a radianys per segons.



Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

De la gràfica de la Figura 2.24 es pot observar que la corba que relaciona la potència amb la velocitat angular segueix un comportament potencial. L'equació (2.7) és la que segueix la corba del gràfic.

$$\omega = 0.6507 \cdot P^{0.3979} \quad (2.7)$$

On P és la potència en W

On ω és la velocitat angular en rad/s

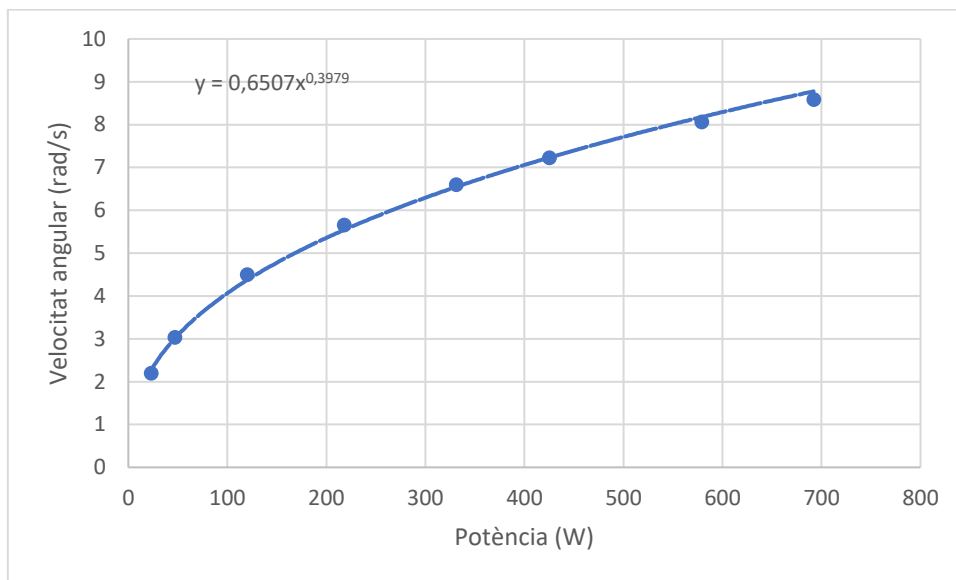


Fig. 2. 24 Gràfic que relaciona la potència que marca la pantalla de l'AirBike [W] i la velocitat angular a la que gira [rad/s]. Font: pròpia.

Després d'observar els resultats obtinguts en les tres proves, s'ha determinat que la major força que es fa per accionar la bicicleta és l'exercida amb els peus sobre els pedals. Tot i així, en els càlculs s'ha utilitzat la potència generada utilitzant les mans i els peus, ja que és la manera habitual en que els usuaris fan servir l'AirBike.

De manera general, en els entrenaments de CrossFit, els usuaris utilitzen l'AirBike entre el 75% i el 100% de la potència màxima que poden generar. Per tant, s'analitzarà el trencament per a una potència de 1141 W (100% de la potència màxima) i 855 W (75% de la potència màxima), ja que es considera que pedalar durant 30 minuts al 90% de la potència màxima que pot assolir l'usuari està lleugerament exagerat per als usuaris de CrossFit que practiquen aquest esport com a *amateurs*.

Amb l'ajuda del gràfic anterior es pot treure els radians de les potències obtingudes en les dues proves fetes. Per una potència de 1141 W amb l'equació (2.7) s'obté:

$$\omega = 0.6507 \cdot 1141^{0.3979} = 10.71 \text{ rad/s}$$



Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

Per una potència de 855 W amb l'equació (2.7) s'obté:

$$\omega = 0.6507 \cdot 855^{0.3979} = 9.55 \text{ rad/s}$$

La velocitat angular que es mostra per pantalla, segons el manual de la bicicleta AirBike de la marca AssaultBike, és la velocitat de gir que té la roda dentada connectada al pedal (roda dentada 1 segons la Figura 2.25). La pròpia màquina agafa les dades que capta el sensor de velocitat i, mitjançant la relació de transmissió que hi ha entre les diferents cadenes i rodes dentades, n'extreu la velocitat angular del pedal. A continuació es poden veure les rodes dentades que componen la bicicleta i com estan connectades entre elles.

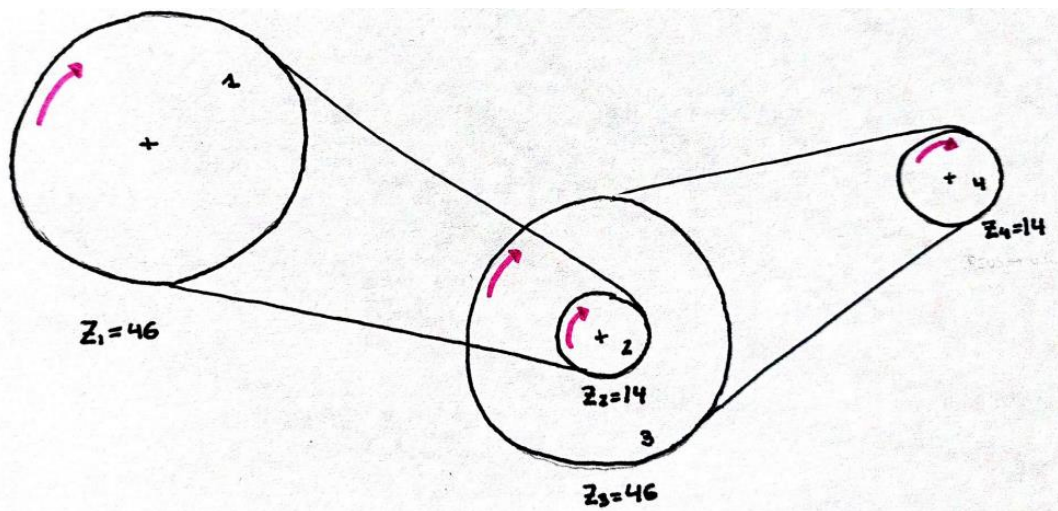


Fig. 2. 25 Sistema de transmissió del moviment de l'AirBike. Font: pròpia.

Segons el manual que facilita el fabricant, la potència que es mostra per pantalla és la que l'usuari genera. El parell es calcula amb l'equació (2.8).

$$\Gamma = \frac{P}{\omega} \quad (2.8)$$

Així doncs, el parell aplicat en l'eix de la roda dentada per una potència de 1141 W calculat amb l'equació (2.8) és el següent:

$$\Gamma = \frac{P}{\omega} = \frac{1141}{10.71} = 106.5 \text{ Nm}$$

Per una potència de 855 W calculat amb l'equació (2.8) és la següent:

$$\Gamma = \frac{P}{\omega} = \frac{855}{9.55} = 89.5 \text{ Nm}$$



Per determinar les càrregues externes aplicades es farà mitjançant el mètode d'Alembert, ja que és un dels mètodes que es pot aplicar quan el mecanisme es troba en una situació diferent a la d'arrancada. Per fer els càlculs es considerarà com si es mantingués tota l'estona la mateixa velocitat angular i la mateixa potència.

En primer lloc, es farà un estudi cinemàtic del mecanisme per determinar les acceleracions dels centres de gravetat de les diferents baules necessàries per poder determinar quines són les forces i moments d'inèrcia que es generen.

La posició d'estudi és per quan el pedal es troba en una posició de 0° respecte a l'horitzontal tal i com es mostra en la Figura 2.26.

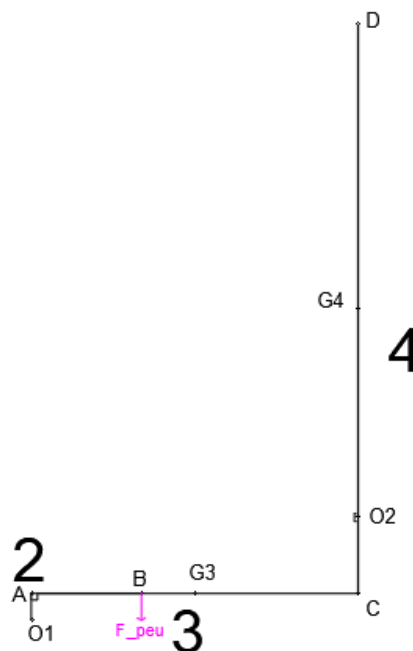


Fig. 2. 26 Esquema de baules del mecanisme per la posició crítica (pedal a 0° respecte a l'horitzontal). Font: pròpia.

2.4.1. Determinació de les masses e inèrcies de les baules del mecanisme

Per poder aplicar el mètode d'Alembert, primer de tot és necessari extreure quina és la massa i la inèrcia de cada una de les baules que componen el mecanisme.

Degut a la complexitat geomètrica de les peces, s'ha optat per utilitzar l'Inventor per determinar-ne aquests valors.

Les masses e inèrcies de la manovella i el pedal s'han considerat negligibles, ja que són menyspreables enfront de les masses e inèrcies de les baules 3 i 4. En les Figures 2.27, 2.28, 2.29 i 2.30 es poden veure les masses i les inèrcies de les diferents peces.



Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

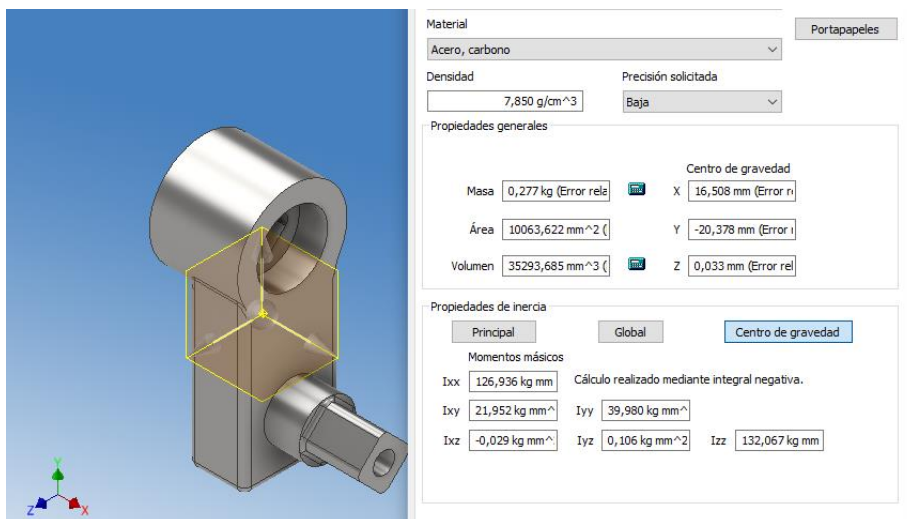


Fig. 2. 27 Masses e inèrcies de la manovella de l'AirBike. Font: pròpia.

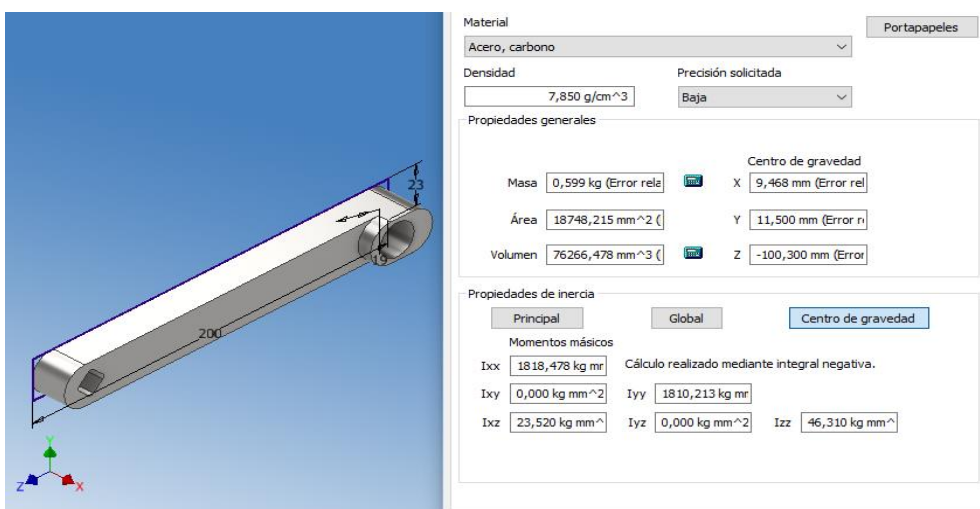


Fig. 2. 28 Masses e inèrcies del pedal de l'AirBike. Font: pròpia.

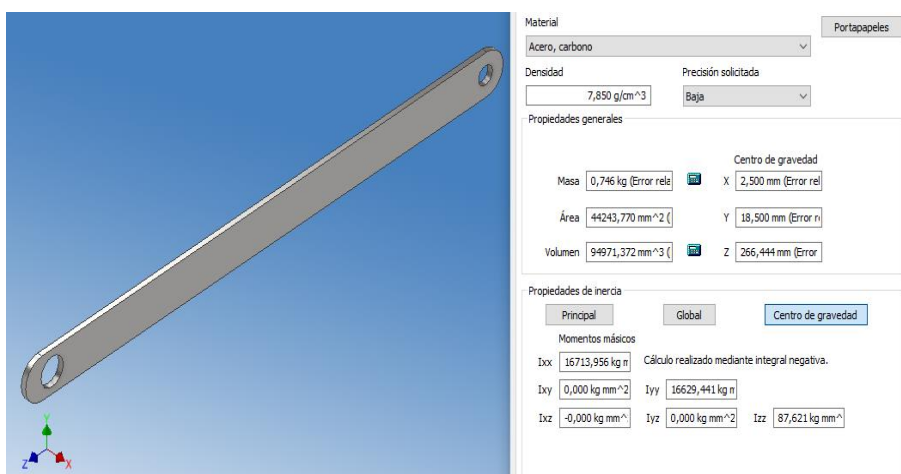


Fig. 2. 29 Masses e inèrcies de la biela de l'AirBike. Font: pròpia.

Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

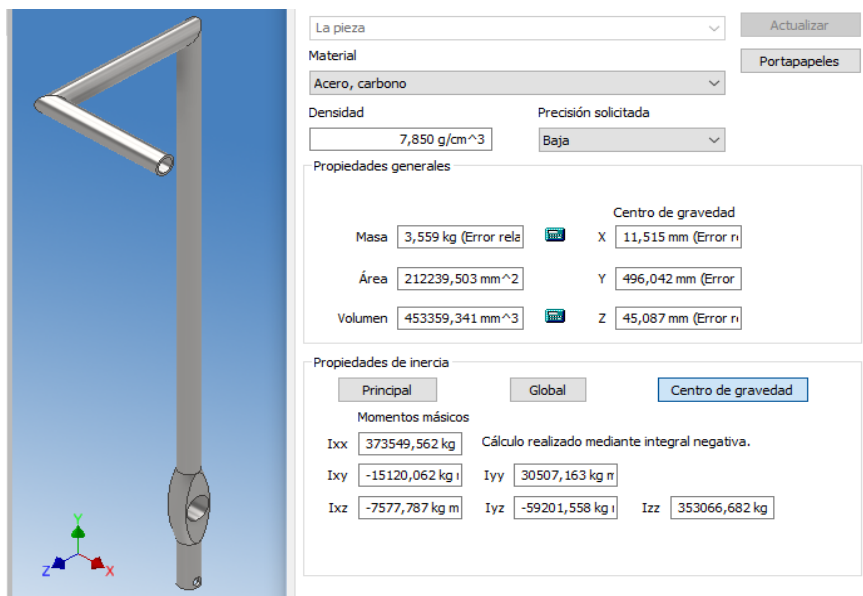


Fig. 2. 30 Masses e inèrcies del manillar de l'AirBike. Font: pròpia.

En la següent Taula 2.4 es troben resumits aquests valors per a cada baula.

Taula 2. 4 Masses [kg] e inèrcies [kg·mm²] de les baules que componen el subconjunt pedal-biela-manillar de l'AirBike.

BAULA	MASSA (kg)	INÈRCIA (kg·mm ²)
Baula 2 (manovella)	0.277	126.936
Baula 2 (pedal)	0.599	1818.478
Baula 3 (biela)	0.746	16713.956
Baula 4 (manillar)	3.559	373549.562

2.4.2. Estudi cinemàtic del mecanisme

L'estudi cinemàtic del mecanisme determinarà quines són les velocitats i acceleracions que té el mecanisme en la posició estudiada.

Primer de tot es posicionen els centres instantanis de rotació (CIR) de totes les baules, a continuació es farà el càlcul de les velocitats angulars de cada baula i velocitats angulars de cada punt. Finalment es trobaran les acceleracions angulars i lineals.

En l'esquema de la Figura 2.31 es poden veure els CIRs de les baules que componen el mecanisme.



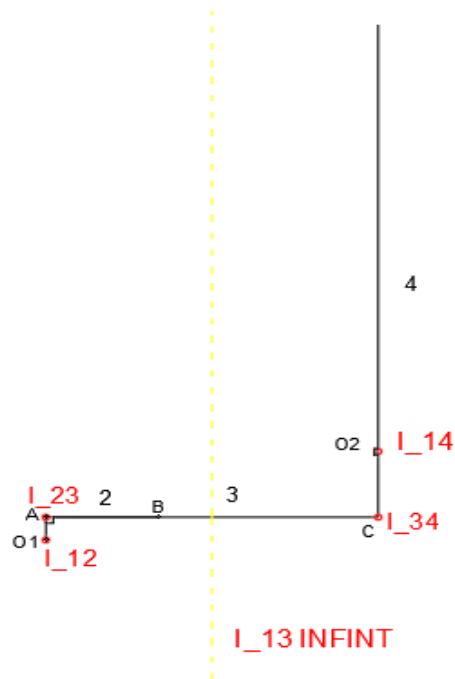


Fig. 2. 31 Esquema dels CIRs del subconjunt pedal-biela-manillar de l'Assault Bike. Font: pròpia.

El CIR entre bancada i la baula 2 (I_{12}), entre bancada i la baula 4 (I_{14}), entre la baula 2 i la baula 3 (I_{23}) i entre la baula 3 i la baula 4 (I_{34}) es poden col·locar directament en l'esquema de baules, ja que es troben en el punt on s'uneixen aquestes baules entre elles.

Per buscar el CIR de la baula 3 amb la bancada s'ha traçat una recta entre els CIRs I_{14} i I_{34} i una altra recta entre els CIRs I_{23} i I_{12} , el punt on tallen aquestes dues rectes és allà on es troba el CIR de la baula 3 amb la bancada (I_{13}). En aquest cas en particular, s'observa que les dues rectes traçades són paral·leles, així doncs el CIR I_{13} es troba a l'infinit. Això vol dir que en aquesta posició la baula 3 només té un moviment de translació i no de rotació.

En l'esquema del mecanisme representat en la Figura 2.32 hi ha representades les velocitats lineals i angulars de les baules. La baula 2 gira en sentit horari i amb una velocitat angular constant de 10.71 rad/s quan es manté una potència de 1141 W i de 9.55 rad/s quan es manté una potència de 855 W. La baula 3 no té velocitat angular ja que només té moviment de translació. Pel contrari, la baula 4 té una velocitat angular (ω_4) en sentit antihorari.



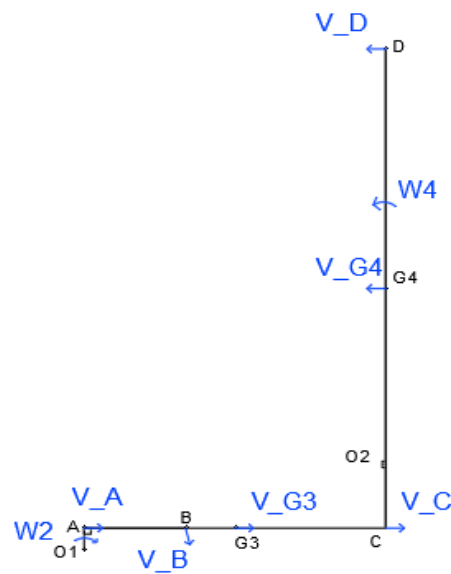


Fig. 2. 32 Velocitats lineals i angulars de les diferents bales. Font: pròpia.

Les velocitats angulars i les velocitats lineals es calculen amb l'equació (2.9).

$$\omega_i = \frac{v_P}{I_{1-i}P} \quad (2.9)$$

On:

ω_i és la velocitat angular de la baula en rad/s

v_P és la velocitat lineal d'un punt pertanyent a la baula en m/s

$I_{1-i}P$ és la distància entre el CIR a bancada de la baula i el punt pertanyent a la baula

2.4.2.1. Càlcul de velocitats ($P=1141 \text{ W}$)

De la baula 2 es coneix la velocitat angular ($\omega_2 = 10.71 \text{ rad/s}$) i la posició del CIR de la baula 2 amb la bancada (I_{12}). Amb aquestes dades es pot extreure les velocitats lineals del punt A i del punt B amb l'equació (2.9).

$$v_A = \omega_2 \cdot \overline{I_{12}A} = 10.71 \cdot 0.04 = 0.43 \text{ m/s}$$

$$v_B = \omega_2 \cdot \overline{I_{12}B} = 10.71 \cdot 0.17 = 1.82 \text{ m/s}$$

De la baula 3 es coneix la velocitat lineal del punt A ($v_A = 0.43 \text{ m/s}$), la velocitat lineal del punt B ($v_B = 1.82 \text{ m/s}$) i la posició del CIR de la baula 3 amb la bancada (I_{13}). En el cas de la velocitat angular de la baula 3 se sap que és 0, ja que aquesta té un moviment de translació ($\omega_3=0 \text{ rad/s}$). Amb aquestes dades es pot extreure la velocitat del punt G3



Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

(v_{G3}) i del punt C (v_C) que en aquest cas es mouran a la mateixa velocitat lineal que el punt A ($v_{G3} = v_C = v_A = 0.43$ m/s).

Finalment, de la baula 4 es coneix el valor de la velocitat lineal del punt C ($v_C = 0.43$ m/s) i la posició del CIR de la baula 4 amb la bancada. Amb aquestes dades es pot extreure la velocitat angular de la baula 4 (ω_4) i les velocitats lineals dels punts G4 (v_{G4}) i D (v_D) amb l'equació (2.9).

$$\omega_4 = \frac{v_C}{I_{14}C} = \frac{0.43}{0.115} = 3.74 \text{ rad/s}$$

$$v_{G4} = \omega_4 \cdot \overline{I_{14}G4} = 3.74 \cdot 0.3125 = 1.17 \text{ m/s}^2$$

$$v_D = \omega_4 \cdot \overline{I_{14}D} = 3.74 \cdot 0.740 = 2.77 \text{ m/s}^2$$

2.4.2.2. Càlcul de velocitats ($P=855$ W)

De la baula 2 es coneix la velocitat angular ($\omega_2 = 9.55$ rad/s) i la posició del CIR de la baula 2 amb la bancada (I_{12}). Amb aquestes dades es pot extreure les velocitats lineals del punt A i del punt B amb l'equació (2.9).

$$v_A = \omega_2 \cdot \overline{I_{12}A} = 9.55 \cdot 0.04 = 0.38 \text{ m/s}^2$$

$$v_B = \omega_2 \cdot \overline{I_{12}B} = 9.55 \cdot 0.17 = 1.62 \text{ m/s}^2$$

De la baula 3 es coneix la velocitat lineal del punt A ($v_A = 0.382$ m/s), la velocitat lineal del punt B ($v_B = 1.62$ m/s) i la posició del CIR de la baula 3 amb la bancada (I_{13}). En el cas de la velocitat angular de la baula 3 se sap que és 0, ja que aquesta té un moviment de translació ($\omega_3=0$ rad/s). Amb aquestes dades es pot extreure la velocitat del punt G3 (v_{G3}) i del punt C (v_C) que en aquest cas es mouran a la mateixa velocitat lineal que el punt A ($v_{G3} = v_C = v_A = 0.38$ m/s).

Finalment, de la baula 4 es coneix el valor de la velocitat lineal del punt C ($v_C = 0.38$ m/s) i la posició del CIR de la baula 4 amb la bancada. Amb aquestes dades es pot extreure la velocitat angular de la baula 4 (ω_4) i les velocitats lineals dels punts G4 (v_{G4}) i D (v_D) amb l'equació (2.9).

$$\omega_4 = \frac{v_C}{I_{14}C} = \frac{0.38}{0.115} = 3.3 \text{ rad/s}$$

$$v_{G4} = \omega_4 \cdot \overline{I_{14}G4} = 3.3 \cdot 0.3125 = 1.03 \text{ m/s}^2$$

$$v_D = \omega_4 \cdot \overline{I_{14}D} = 3.3 \cdot 0.740 = 2.44 \text{ m/s}^2$$



Les velocitats per tant són les de la Taula 2.5.

Taula 2. 5 Velocitats lineals [m/s] i velocitats angulars [rad/s] de cada baula per les potències de 1141 W i 855 W.

	P = 1141 W	P = 855 W
V_A (m/s)	0.43	0.38
V_B (m/s)	1.82	1.62
V_{G3} (m/s)	0.43	0.38
V_C (m/s)	0.43	0.38
V_{G4} (m/s)	1.17	1.03
V_D (m/s)	2.77	2.44
ω₂ (rad/s)	10.71	9.55
ω₃ (rad/s)	0	0
ω₄ (rad/s)	3.74	3.3

A continuació es mostra el càlcul de les acceleracions angulars i lineals de cada baula. Les acceleracions es calculen de forma vectorial amb l'equació 2.10.

$$a_p = a_{ref} + a_{p/ref}^n + a_{p/ref}^t \quad (2.10)$$

On:

a_p és l'acceleració lineal en format vectorial del punt a estudiar en m/s^2

a_{ref} és l'acceleració lineal en format vectorial del punt de referència de la baula en m/s^2

$a_{p/ref}^n$ és l'acceleració normal en format vectorial del punt a estudiar respecte el punt de referència en m/s^2

$a_{p/ref}^t$ és l'acceleració tangencial en format vectorial del punt a estudiar respecte el punt de referència en m/s^2

El càlcul de les acceleracions normal es farà amb l'equació (2.11).

$$a_{p/ref}^n = \omega_i^2 \cdot \overline{P ref} \quad (2.11)$$

On:

Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

$a_{p/ref}^n$ és l'acceleració normal en format vectorial del punt a estudiar respecte el punt de referència en m/s^2

ω_i^2 és la velocitat angular de la baula corresponent al punt a estudiar en rad^2/s^2

P_{ref} és la distància entre el punt a estudiar i el punt de referència en m

El càlcul de les acceleracions tangencials es farà amb l'equació (2.12).

$$a_{p/ref}^t = \alpha_i \cdot \overline{P_{ref}} \quad (2.12)$$

On:

$a_{p/ref}^t$ és l'acceleració tangencial en format vectorial del punt a estudiar respecte el punt de referència en m/s^2

α_i és la velocitat angular de la baula corresponent al punt a estudiar en rad/s^2

P_{ref} és la distància entre el punt a estudiar i el punt de referència en m

S'utilitzarà el polígon d'acceleracions per determinar les acceleracions desconegudes.

En l'esquema de la Figura 2.33 es mostren les acceleracions de la baula 2. Es pren com a punt de referència el punt O1.

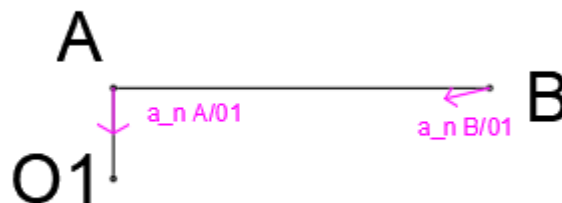


Fig. 2. 33 Esquema acceleracions baula 2. Font: pròpia.

Les acceleracions dels punts A i B, representades com l'equació (2.10), són les de les equacions (2.13) i (2.14) respectivament.

$$a_A = a_{01} + a_{A/01}^n + a_{A/01}^t \quad (2.13)$$

$$a_B = a_{01} + a_{B/01}^n + a_{B/01}^t \quad (2.14)$$

Com que la velocitat angular de la baula és coneguda es poden determinar les acceleracions normals dels dos punts. A més, gira a velocitat constant, això implica que

l'acceleració tangencial és zero. Com que el punt 01 es troba unit a bancada, l'acceleració en aquell punt és zero també.

En l'esquema de la Figura 2.34 es mostren les acceleracions de la baula 3. Es pren com a punt de referència el punt A del qual, després de calcular les acceleracions per la baula 2, ja se sap l'acceleració que té.

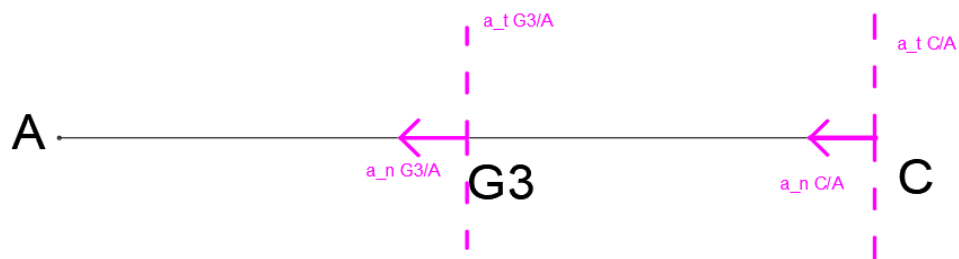


Fig. 2. 34 Esquema d'acceleracions de la baula 3. Font: pròpia.

Les acceleracions dels punts G3 i C, representades com l'equació (2.10), són les de les equacions (2.15) i (2.16) respectivament.

$$a_{G3} = a_A + a_{G3/A}^n + a_{G3/A}^t \quad (2.15)$$

$$a_C = a_A + a_{C/A}^n + a_{C/A}^t \quad (2.16)$$

La baula 3 només té moviment de translació, això implica que les acceleracions normals dels punts G3 i C són igual a zero. En aquest cas, es desconeix les acceleracions angulars i ,per tant, s'han de determinar les acceleracions tangencials de manera gràfica. Per fer-ho, fa falta representar les acceleracions de la baula 4.

En l'esquema de la Figura 2.35 es mostren les acceleracions de la baula 4. Es pren com a punt de referència el punt 02 del qual l'acceleració que té és zero perquè es troba unit a bancada.

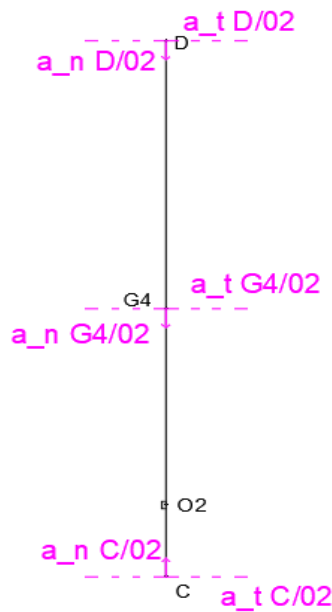


Fig. 2. 35 Esquema acceleracions baula 4. Font: pròpia.

Les acceleracions dels punts C, G4 i D, representades com l'equació (2.10), són representades per les equacions (2.17), (2.18) i (2.19) respectivament.

$$a_C = a_{02} + a_{C/02}^n + a_{C/02}^t \quad (2.17)$$

$$a_{G4} = a_{02} + a_{G4/02}^n + a_{G4/02}^t \quad (2.18)$$

$$a_D = a_{02} + a_{D/02}^n + a_{D/02}^t \quad (2.19)$$

2.4.2.3. Càlcul d'acceleracions ($P=1141 \text{ W}$)

Les acceleracions dels punts A i B tenen el mateix valor que les acceleracions normals en aquests punts. S'aplica l'equació (2.11) per al càlcul de totes les acceleracions normals.

$$a_{A/01}^n = \omega_2^2 \cdot \overline{A 01} = 10.71^2 \cdot 0.04 = 4.59 \text{ m/s}^2$$

$$a_{B/01}^n = \omega_2^2 \cdot \overline{B 01} = 10.71^2 \cdot 0.17 = 19.5 \text{ m/s}^2$$

L'acceleració del punt 02 és zero. Les acceleracions normals dels diferents punts tenen els següents valors:

$$a_{C/02}^n = \omega_4^2 \cdot \overline{C 02} = 3.74^2 \cdot 0.115 = 1.61 \text{ m/s}^2$$

$$a_{G4/02}^n = \omega_4^2 \cdot \overline{G4 02} = 3.74^2 \cdot 0.3125 = 4.37 \text{ m/s}^2$$

$$a_{D/02}^n = \omega_4^2 \cdot \overline{D 02} = 3.74^2 \cdot 0.74 = 10.35 \text{ m/s}^2$$



Taula 2. 6 Acceleracions normals $[m/s^2]$, tangencials $[m/s^2]$ i absolutes $[m/s^2]$ dels diferents punts del subconjunt pedal-biela-manillar.

PUNT	ACCELERACIÓ NORMAL (m/s^2)	ACCELERACIÓ TANGENCIAL (m/s^2)	ACCELERACIÓ ABSOLUTA (m/s^2)
A	4.59	0	4.59
B	19.5	0	19.5
C (respecte A)	0	6.2	1.61
C (respecte 02)	1.61	0	
D	10.35	0	10.35
G3	0	3.1	3.1
G4	4.37	0	4.37

2.4.2.4. Càlcul d'acceleracions ($P=855 W$)

Les acceleracions dels punts A i B tenen el mateix valor que les acceleracions normals en aquests punts. S'aplica l'equació (2.11) per al càlcul de totes les acceleracions normals.

$$a_{A/01}^n = \omega_2^2 \cdot \overline{A 01} = 9.55^2 \cdot 0.04 = 3.65 \text{ m/s}^2$$

$$a_{B/01}^n = \omega_2^2 \cdot \overline{B 01} = 9.55^2 \cdot 0.17 = 15.5 \text{ m/s}^2$$

L'acceleració del punt 02 és zero. Les acceleracions normals dels diferents punts tenen els següents valors:

$$a_{C/02}^n = \omega_4^2 \cdot \overline{C 02} = 3.3^2 \cdot 0.115 = 1.25 \text{ m/s}^2$$

$$a_{G4/02}^n = \omega_4^2 \cdot \overline{G4 02} = 3.3^2 \cdot 0.3125 = 3.4 \text{ m/s}^2$$

$$a_{D/02}^n = \omega_4^2 \cdot \overline{D 02} = 3.3^2 \cdot 0.74 = 8.06 \text{ m/s}^2$$

Les acceleracions tangencials s'han de determinar gràficament ja que es desconeix l'acceleració angular de la baula 4.

El polígon d'acceleracions és el que es pot veure en la Figura 2.37.



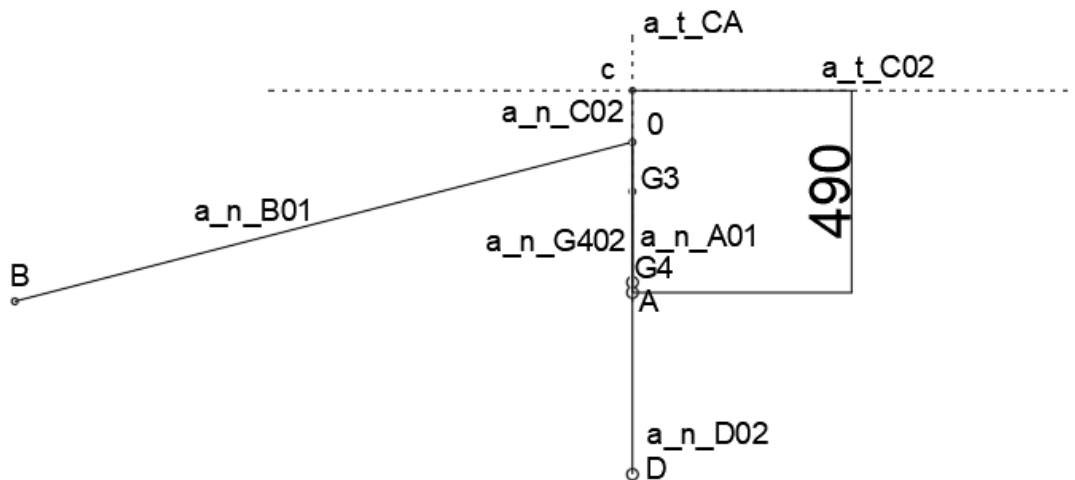


Fig. 2. 37 Polígon d'acceleracions de l'AirBike quan aquesta funciona a 1141 W. Font: pròpia.

Del polígon d'acceleracions es poden extreure les acceleracions tangencials del punt C. El valor d'aquesta acceleració tangencial és el següent:

$$a_{C/O2}^t = 0 \text{ m/s}^2$$

$$a_{C/A}^t = 4.9 \text{ m/s}^2$$

Per tant les acceleracions angulars, tenint en compte l'equació (2.12), de les baules 3 i 4 seran les següents:

$$\alpha_4 = \frac{a_{C/O2}^t}{C O2} = 0 \text{ rad/s}^2$$

$$\alpha_3 = \frac{a_{C/A}^t}{CA} = \frac{4.9}{0.49} = 10 \text{ rad/s}^2$$

Amb aquestes acceleracions angulars es pot extreure el valor de l'acceleració tangencial de G3 amb l'equació (2.12)..

$$a_{G3/A}^t = \alpha_3 \cdot \overline{G3A} = 10 \cdot 0.245 = 2.45 \text{ m/s}^2$$

Les acceleracions dels diferents punts es troben resumides en la Taula 2.7.

Taula 2. 7 Acceleracions normals [m/s²], tangencials [m/s²] i absolutes [m/s²] dels diferents punts del subconjunt pedal-biela-manillar per una potència de 855 W.

PUNT	ACCELERACIÓ NORMAL (m/s ²)	ACCELERACIÓ TANGENCIAL (m/s ²)	ACCELERACIÓ ABSOLUTA (m/s ²)



A	3.65	0	3.65
B	15.5	0	15.5
C (respecte A)	0	4.9	1.25
C (respecte 02)	1.25	0	
D	8.06	0	8.06
G3	0	2.45	2.45
G4	3.4	0	3.4

Per finalitzar aquest apartat en la Taula 2.8 es pot observar el resum de les acceleracions absolutes dels diferents punts per les dues potències analitzades.

Taula 2. 8 Comparació acceleracions absolutes [m/s²] per a les potències d'ús de 1141 W i 855 W.

PUNT	ACCELERACIÓ ABSOLUTA (m/s ²)	
	P = 1141 W	P = 855 W
A	4.59	3.65
B	19.5	15.5
C	1.61	1.25
D	10.35	8.06
G3	3.1	2.45
G4	4.37	3.4

2.4.3. Determinació forces (Mètode Alembert)

Ara que ja es tenen les acceleracions dels centres de gravetat, les masses i les inèrcies de cada baula es pot determinar mitjançant el mètode d'Alembert les forces externes aplicades en la posició del pedal a 0 graus respecte l'horitzontal.

Primer de tot s'han representat els diagrames de sòlid lliure de cada baula i del conjunt del mecanisme. Aquests esquemes es poden veure en les Figures 2.38, 2.39, 2.40 i 2.41.



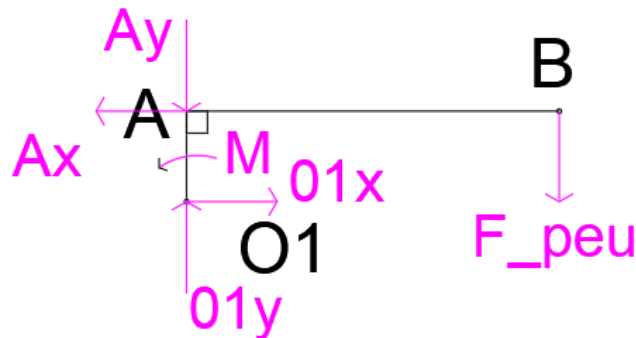


Fig. 2. 38 Diagrama del sòlid lliure de la baula formada per la manovella i el pedal.
Font: pròpia.

Degut a que el mecanisme es manté a velocitat constant s'ha de platejar l'equilibri de forces i igualar-lo a zero.

$$\sum F_x = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

$$\sum M_p = 0$$

De l'equilibri de forces per la baula 2 en surt l'equació (2.13) per l'equilibri en l'eix x, l'equació (2.14) per l'equilibri de forces de l'eix y i l'equació (2.15) per l'equilibri de moments.

- Les forces en l'eix x: $-Ax + 01x = 0$ (2.13)
- Les forces en l'eix y: $01y - Ay - F_{peu} = 0$ (2.14)
- Els moments respecte el punt O1: $M + Ax \cdot 0.04 - F_{peu} \cdot 0.165 = 0$ (2.15)

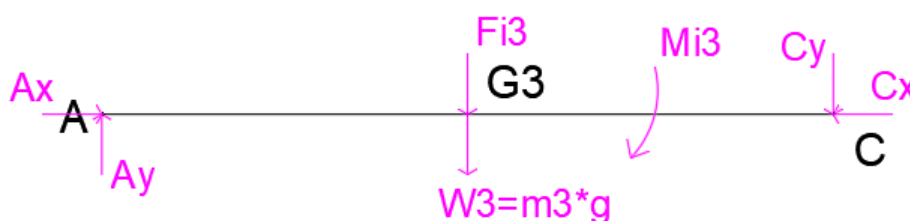


Fig. 2. 39 Diagrama del sòlid lliure de la baula formada per la biela. Font: pròpia.

Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

De l'equilibri de forces per la baula 3 en surt l'equació (2.16) per l'equilibri en l'eix x, l'equació (2.17) per l'equilibri de forces de l'eix y i l'equació (2.18) per l'equilibri de moments.

- Les forces en l'eix x: $Ax = Cx$ (2.16)
- Les forces en l'eix y: $Ay - Cy - Fi3 - m3 \cdot g = 0$ (2.17)
- Moments respecte el punt A: $W3 \cdot 0.245 - Fi3 \cdot 0.245 - Mi3 - Cy \cdot 0.49 = 0$ (2.18)



Fig. 2. 40 Diagrama del sòlid lliure de la baula formada pel manillar. Font: pròpia.

De l'equilibri de forces per la baula 4 en surt l'equació (2.19) per l'equilibri en l'eix x, l'equació (2.20) per l'equilibri de forces de l'eix y i l'equació (2.21) per l'equilibri de moments.

- Les forces en l'eix x: $02x + Cx = 0$ (2.19)
- Les forces en l'eix y: $Cy + 02y - W4 + Fi4 = 0$ (2.20)
- Els moments respecte el punt O2: $Cx \cdot 0.115 = 0$ (2.21)



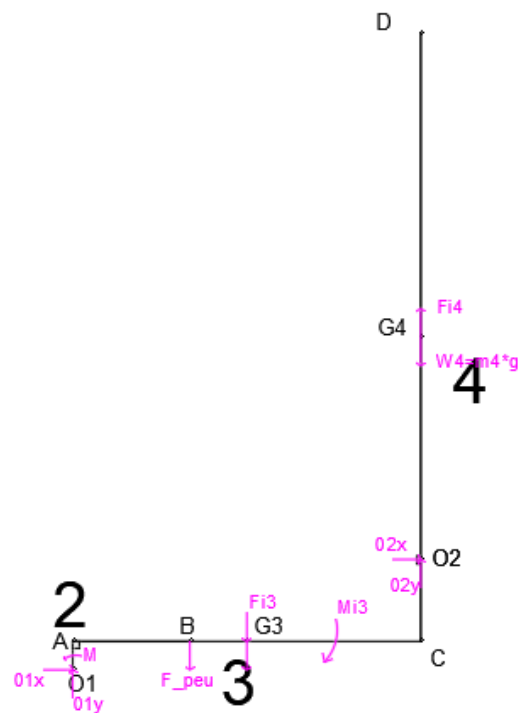


Fig. 2. 41 Diagrama del sòlid lliure de la baula formada pel subconjunt pedal-bielamanillar. Font: pròpia.

De l'equilibri de forces pel conjunt en surt l'equació (2.22) per l'equilibri en l'eix x, l'equació (2.23) per l'equilibri de forces de l'eix y i l'equació (2.24) per l'equilibri de moments.

- Les forces en l'eix x: $01x + 02x = 0$ (2.22)
- Les forces en l'eix y: $01y + 02y - F_{peu} - W_3 - Fi_3 + Fi_4 = 0$ (2.23)
- Els moments respecte el punt O1:

$$M - Mi_3 - F_{peu} \cdot 0.165 - W_3 \cdot 0.245 - Fi_3 \cdot 0.245 + 02y \cdot 0.49 - W_4 \cdot 0.49 + Fi_4 \cdot 0.49 = 0 \quad (2.24)$$

2.4.3.1. Càlcul de forces externes ($P=1141 \text{ W}$)

Segons les inèrcies que s'han extret del programa Inventor i les acceleracions calculades, les forces i moments d'inèrcia són els que es veuen a continuació.

Amb l'equació (2.25) es calcula les forces d'inèrcia.

$$F_{i3} = m_3 \cdot a_{G3} \quad (2.25)$$

On F_i és la força d'inèrcia en N.

On m_i és la massa de la baula en kg.



Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

On a_G és l'acceleració lineal del centre de masses de la baula en m/s^2 .

Amb l'equació (2.26) es calculen els moments d'inèrcia.

$$M_{i3} = I_3 \cdot \alpha_3 \quad (2.26)$$

On M_i és el moment d'inèrcia en Nm

On I_i és la inèrcia massica de la secció en $kg \cdot mm^2$

On α_i és l'acceleració angular de la baula en rad/s^2

Així doncs amb l'equació (2.25) i l'equació (2.26) es poden calcular les forces i els moments d'inèrcia següents:

$$F_{i3} = m_3 \cdot a_{G3} = 0.746 \cdot 3.1 = 2.31 \text{ N}$$

$$M_{i3} = I_3 \cdot \alpha_3 = \frac{16713,956}{1000000} \cdot 12.65 = 0.211 \text{ Nm}$$

$$F_{i4} = m_4 \cdot a_{G4} = 3.559 \cdot 4.37 = 15.55 \text{ N}$$

De les equacions resultants de fer l'equilibri del mecanisme s'extreuen els següents valors:

$$C_x \cdot 0.115 = 0; C_x = 0$$

$$02x + C_x = 0; 02x = 0$$

$$01x + 02x = 0; 01x = 0$$

$$A_x = C_x; A_x = 0$$

$$M + A_x \cdot 0.04 - F_{peu} \cdot 0.165 = 0; F_{peu} = \frac{M}{0.165} = \frac{106.5}{0.165} = 645.5 \text{ N}$$

$$M - M_{i3} - F_{peu} \cdot 0.165 - W_3 \cdot 0.245 - F_{i3} \cdot 0.245 + 02y \cdot 0.49 - W_4 \cdot 0.49 + F_{i4} \cdot 0.49 = 0; 02y = 24.62 \text{ N}$$

$$C_y + 02y - W_4 + F_{i4} = 0; C_y = W_4 - F_{i4} - 02y = 34.9 - 15.55 - 24.62 = -5.26 \text{ N}; C_y = -5.26 \text{ N}$$

$$A_y - C_y - F_{i3} - m_3 \cdot g = 0; A_y = m_3 \cdot g + C_y + F_{i3} = 0.746 \cdot 9.81 - 5.26 + 2.31 = 4.37 \text{ N}; A_y = 4.37 \text{ N}$$

$$01y - A_y - F_{peu} = 0; 01y = A_y + F_{peu} = 4.37 + 645.5 = 649.87 \text{ N};$$



$$01y = 649.87 \text{ N}$$

2.4.3.2. Càlcul de forces externes ($P=855 \text{ W}$)

Segons les inèrcies que s'han extret del programa Inventor i les acceleracions calculades, les forces i moments d'inèrcia, calculats amb l'equació (2.25) i l'equació (2.26) són els següents:

$$F_{i3} = m_3 \cdot a_{G3} = 0.746 \cdot 2.45 = 1.83 \text{ N}$$

$$M_{i3} = I_3 \cdot \alpha_3 = \frac{16713,956}{1000000} \cdot 10 = 0.167 \text{ Nm}$$

$$F_{i4} = m_4 \cdot a_{G4} = 3.559 \cdot 3.4 = 12.11 \text{ N}$$

De les equacions resultants de fer l'equilibri del mecanisme s'extreuen els següents valors:

$$Cx \cdot 0.115 = 0; Cx = 0$$

$$02x + Cx = 0; 02x = 0$$

$$01x + 02x = 0; 01x = 0$$

$$Ax = Cx; Ax = 0$$

$$M + Ax \cdot 0.04 - F_{peu} \cdot 0.165 = 0; F_{peu} = \frac{M}{0.165} = \frac{89.5}{0.165} = 542.4 \text{ N}$$

$$M - M_{i3} - F_{peu} \cdot 0.165 - W_3 \cdot 0.245 - F_{i3} \cdot 0.245 + 02y \cdot 0.49 - W_4 \cdot 0.49 + F_{i4} \cdot 0.49 = 0; 02y = 27.71 \text{ N}$$

$$Cy + 02y - W_4 + F_{i4} = 0; Cy = W_4 - F_{i4} - 02y = 34.9 - 12.11 - 27.71 = -4.91 \text{ N}; Cy = -4.91 \text{ N}$$

$$Ay - Cy - F_{i3} - m_3 \cdot g = 0; Ay = m_3 \cdot g + Cy + F_{i3} = 0.746 \cdot 9.81 - 4.91 + 1.83 = 4.23 \text{ N}; Ay = 4.23 \text{ N}$$

$$01y - Ay - F_{peu} = 0; 01y = Ay + F_{peu} = 4.23 + 542.4 = 546.63 \text{ N};$$

$$01y = 546.63 \text{ N}$$

En la Taula 2.9 es pot veure els valor de les forces i reaccions aplicats al mecanisme que s'han trobat.



Taula 2. 9 Comparació valors forces i reaccions aplicades per a les potències d'ús de 1141 W i 855 W.

FORÇA/REACCIÓ	VALOR (N)	
	P = 1141 W	P = 855 W
01x	0	0
01y	649.87	546.63
Ax	0	0
Ay	4.37	4.23
Fpeu	645.5	542.4
02x	0	0
02y	24.62	27.71
Cx	0	0
Cy	5.26	4.29



2.5. Annex càlcul de la força exercida pel cargol

En aquest annex es farà el càlcul de la força exercida pel cargol que va roscat dins de la peça que ha trencat.

Aquest cargol de mètrica 6 mil·límetres i llargada de 16 mil·límetres que es pot veure en la Figura 2.42 té la funció de mantenir a lloc el pedal i la biela. També contribueix a que no hi hagi joc entre les dues peces la qual cosa evita que hi hagi algun desgast innecessari en aquestes peces i, a més a més, evita que l'usuari no se senti còmode a l'hora d'utilitzar-la.



Fig. 2. 42 Cargol del pedal de la AirBike. Font: pàgina web Assault Fitness

S'ha considerat que la unió és una unió de qualitat normal. En aquest cas es té un cargol de classe 5, en concret un cargol 5.6.

Sabent això, es pot determinar el límit elàstic i el límit de ruptura del cargol. El límit de ruptura és de 500 MPa i el límit elàstic és de 300 MPa.

Tal i com està dissenyada aquesta peça, el cargol exerceix una força de tracció sobre la secció per on ha trencat la peça. Aquesta força equival a la força de muntatge del cargol.

La força de muntatge es pot determinar amb l'equació (2.27) que hi ha a continuació.

$$\frac{F_M}{A_T} \cdot 1,35 = \frac{\sigma_e}{F.S.} \quad (2.27)$$

On:



Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

F_M és la força de muntatge en N.

A_T és la secció resistent del cargol en mm^2

σ_e és el límit elàstic del material del cargol en MPa

F.S. és el factor de seguretat

Per trobar la secció resistent del cargol es pot calcular o sinó es pot trobar tabulat per cargols normalitzats. La secció resistent per al cargol que s'està analitzant és de 20,1 mm^2 tal i com es pot observar en la Taula 2.10.

Taula 2. 10 Seccions de cargols normalitzats. Font: Llibre Unions cargolades

Taula 1

Diàmetre nominal d	Pas P	Diàmetre de flancs d_2	Diàmetre de nucli d_s	Secció de nucli A_s	Secció resistent A_s
Rosca normal					
3	0,5	2,675	2,387	4,47	5,03
(3,5)	0,6	3,110	2,764	6,00	6,78
4	0,7	3,545	3,141	7,75	8,78
(4,5)	0,75	4,013	3,580	10,1	11,3
5	0,8	4,480	4,019	12,7	14,2
6	1	5,350	4,773	17,9	20,1
(7)	1	6,350	5,773	26,2	28,9
8	1,25	7,188	6,466	32,8	36,6
10	1,5	9,026	8,160	52,3	58,0
12	1,75	10,863	9,853	76,2	84,3
(14)	2	12,701	11,546	105	115
16	2	14,701	13,546	144	157
(18)	2,5	16,376	14,933	175	192
20	2,5	18,376	16,933	225	245
(22)	2,5	20,376	18,933	282	303
24	3	22,051	20,319	324	353
(27)	3	25,051	23,319	427	459
30	3,5	27,727	25,706	519	561
(33)	3,5	30,727	28,706	647	694
36	4	33,403	31,093	759	817
39	4	36,402	34,093	912	976

El factor de seguretat pel cas d'una unió de qualitat normal és de 1.4.

Amb tota aquesta informació i amb l'equació (2.27) s'obté la següent força de muntatge:

$$F_M = \frac{300 \cdot 20.1}{1.4 \cdot 1.35} = 3190.5 \text{ N}$$

Aquesta força és la que actua sobre la peça que ha trencat i provoca que la peça tingui un esforç de tracció amb el següent valor:

$$\sigma_{tracció_{peça}} = \frac{F_M}{A_{peça}} = \frac{3190.5}{10.5^2 - \pi \cdot 3^2} = 38.92 \text{ MPa}$$



Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

La àrea de la peça és la de la secció quadrada de costat 10.5 mil·límetres amb el forat de 6 mil·límetres de diàmetre.



2.6. Annex carregues que actuen sobre el punt de trencament

Amb la informació de l'annex anterior on es determinaven les forces externes aplicades i les reaccions de cada punt ara es busquen quines són les càrregues que hi ha aplicades en el punt A on es troba el punt de trencament de la peça.

En la Figura 2.43 hi ha representada la baula 2 amb el valor de les forces i reaccions aplicades sobre aquesta baula.

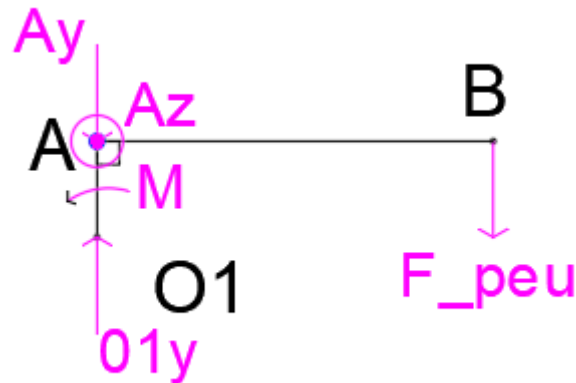


Fig. 2. 43 Forces i reaccions aplicades sobre la baula 2. Font: pròpia

Quan s'aplica el 100% de la potència els valors de l'esquema de forces són els representats en la Figura 2.44.

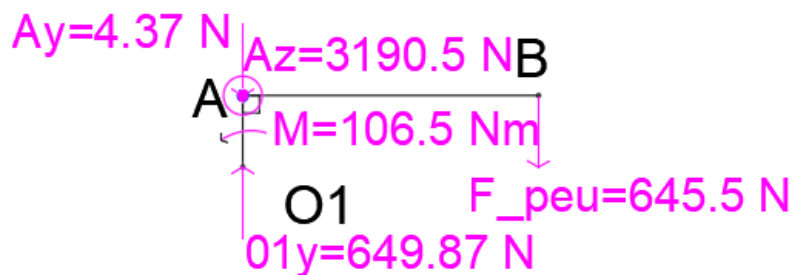


Fig. 2. 44 Forces i reaccions aplicades sobre la baula 2 per una potència d'ús de 1141 W. Font: pròpia

Quan s'aplica el 75% de la potència els valors de l'esquema de forces són els representats en la Figura 2.45.

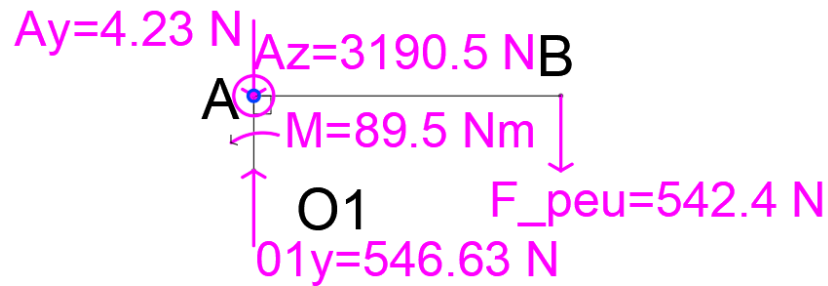


Fig. 2. 45 Forces i reaccions aplicades sobre la baula 2 per una potència d'ús de 855 W. Font: pròpia

En la Figura 2.46 es pot observar com és el perfil de la peça que representa el punt A. Els 17 mil·límetres amb la secció quadrada correspon al lloc on es troba unit el pedal. Aquesta secció impedeix que el pedal i la manovella tinguin moviment relatiu entre elles. En els 11 mil·límetres amb la secció circular es troba la unió de la baula 3 amb el punt A. Es considera que l'extrem lliure de la secció circular és un encastament ja que en la peça real es troba soldat a la resta de la peça.

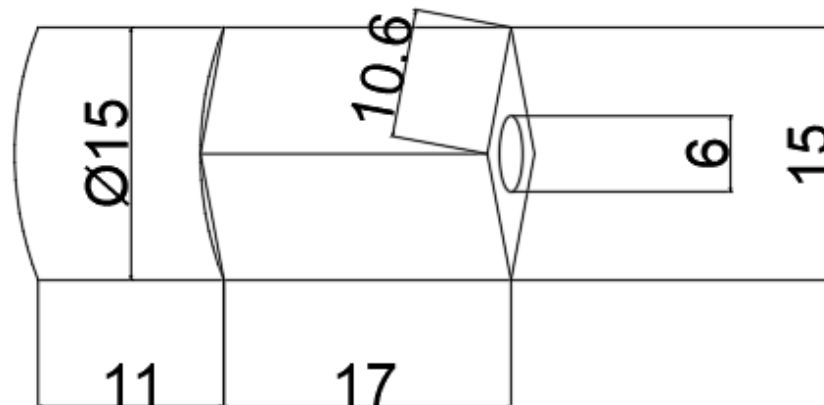


Fig. 2. 46 Perfil de la peça en el punt A. Font: pròpia.

A continuació, en la Figura 2.47 es representen les forces, moments i reaccions damunt de la secció del punt A.



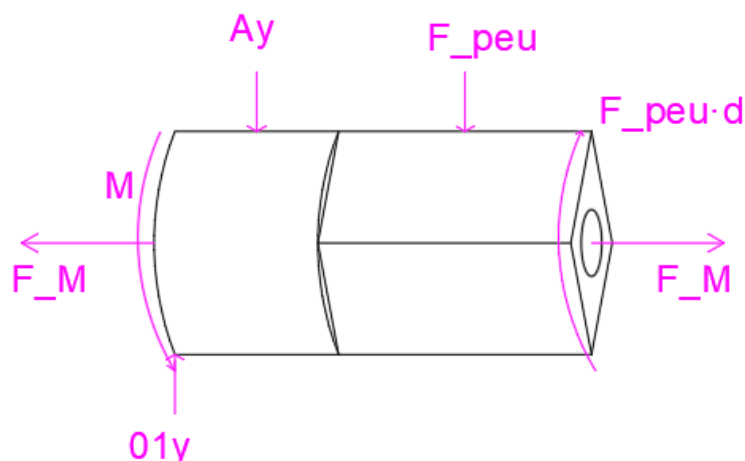


Fig. 2. 47 Forces i reaccions representades sobre la peça que trenca (punt A). Font: pròpia.

Tal com s'observa en la imatge anterior el parell M es troba just en l'encastament, ja que és el que es produeix a la roda dentada que es troba unida a la manovella. La reacció $01y$ també es troba en l'encastament, ja que aquesta reacció es dona en el punt de la manovella que s'uneix a bancada.

Per altra banda, tant la força del peu com la reacció del punt A (A_y) es troben situades a la meitat de la llargada de les seccions circular i quadrada. S'ha plantejat així per tal de simplificar els càlculs, ja que realment seria una força repartida al llarg de la llargada de cada una de les seccions. S'ha representat també la força de tracció feta pel cargol sobre la peça.

Finalment, com que la força del peu s'aplica a 165 mil·límetres del punt A, apareix sobre l'extrem lliure de la secció quadrada de la peça un moment que correspon a la força del peu multiplicada per la distància entre el punt d'aplicació de la força i el punt a estudiar.

Quan s'aplica el 100% de la potència (1141 W) els valors de l'esquema de forces són els representats en la Figura 4.48.



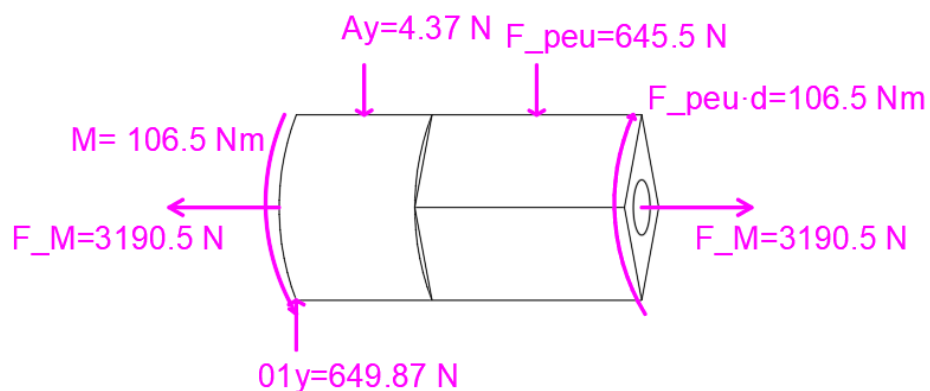


Fig. 2. 48 Forces aplicades sobre la part de la peça que trenca de l'AirBike per una potència d'ús de 1141 W. Font: pròpia.

Quan s'aplica el 90% de la potència (855 W) els valors de l'esquema de forces són els representats en la Figura 2.49.

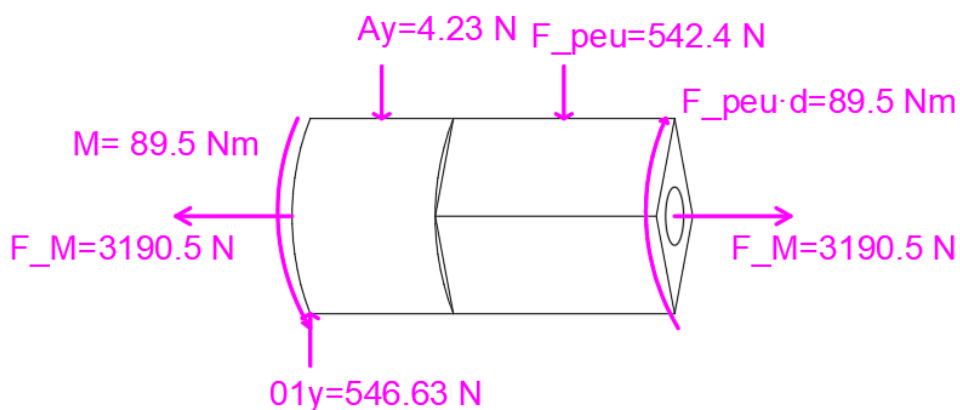


Fig. 2. 49 Forces aplicades sobre la part de la peça que trenca de l'AirBike per una potència d'ús de 855 W. Font: pròpia.



2.7. Annex per l'estudi del trencament de la peça (càlcul estàtic i a fatiga)

En aquest annex es troben els resultats dels càlculs realitzats per comprovar la resistència de la peça al trencament estàtic i per fatiga.

2.7.1. Trencament estàtic

En primer lloc s'ha comprovat si el material aguanta les forces i moments que se li apliquen quan s'utilitza la AirBike aplicant les forces i moments generats a 1141 W. Si el resultat d'aquest estudi de trencament estàtic indica que la peça aguanta a les sol·licitacions que està sotmesa quan s'aplica una potència de 1141 W no es procedirà a fer el càlcul de trencament estàtic per la potència de 855 W ja que les forces aplicades són menors.

S'ha determinat que el punt crític de la peça és el lloc on hi ha el canvi de secció, és a dir, el punt on passa de ser una secció circular a una secció quadrada. En aquest punt en concret té lloc una concentració de tensions i, a més a més, interessa estudiar aquest punt en concret ja que és per on la peça ha trencat.

En primer lloc, es fan els diagrames d'esforços per extreure el valor de la força de tracció, el tallant, el moment flector i el moment torsor del punt que s'està analitzant. Posteriorment, es busquen els esforços que generen aquestes forces i moments. Amb aquesta informació, es procedeix a calcular les tensions principals i sabent el límit elàstic i de ruptura del material es pot determinar si la peça aguanta o no aguanta.

El diagrames que resulten són els que es poden veure en la figura 2.50 pel diagrama de la força de tracció, en la figura 2.51 pel diagrama de moment torsor, en la figura 2.52 pel diagrama de tallants i en la Figura 2.53 pel diagrama de moments flectors.

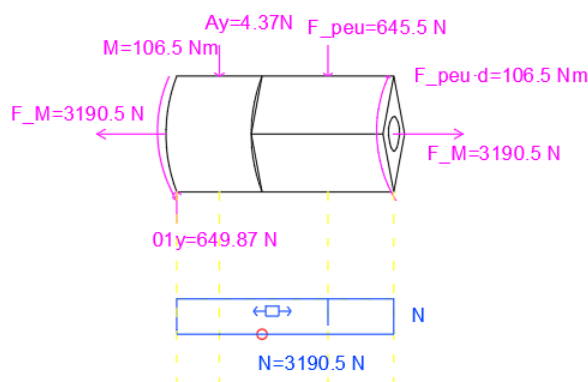


Fig. 2. 50 Força de tracció al llarg de la peça que trenca de l'AirBike. Font: pròpia

En el cas de la força de tracció, s'observa que és constant amb un valor de 3190.5 N al llarg de tota la peça i, per tant, en el punt on hi ha el canvi de secció el valor és de 3190.5 N.

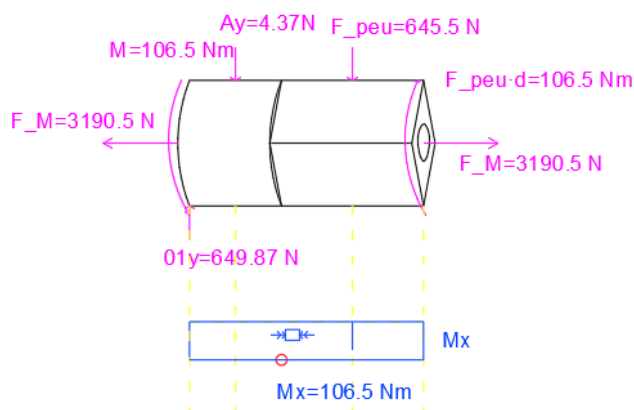


Fig. 2. 51 Moment torsor al llarg de la peça que trenca de l'AirBike. Font: pròpia.

En el cas del torsor, s'observa que el seu valor és constant de 106.5 Nm al llarg de tota la peça i, per tant, en el punt on hi ha el canvi de secció el valor és de 106.5 Nm.

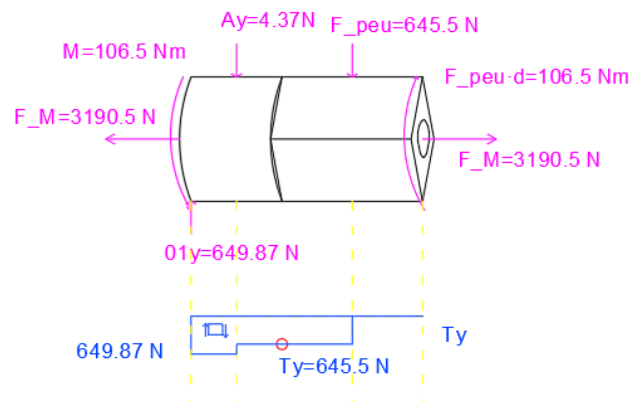


Fig. 2. 52 Força tallant al llarg de la peça que trenca de l'AirBike. Font: pròpia.

En el cas del tallant, es tenen dues zones diferenciades. La primera es la que hi ha entre la força del peu i la reacció A_y on el valor és constant i adopta el mateix valor que la força del peu, és a dir, 645.5 N. En aquesta zona és on es troba el punt crític de canvi de secció i per tant el valor del tallant en aquest punt és de 645.5 N. La segona zona comprèn la franja que hi ha entre la reacció O_{1y} i la reacció A_y . En aquesta zona el valor del tallant correspon a la suma de la força de peu més la reacció A_y , és a dir, 649.87 N.

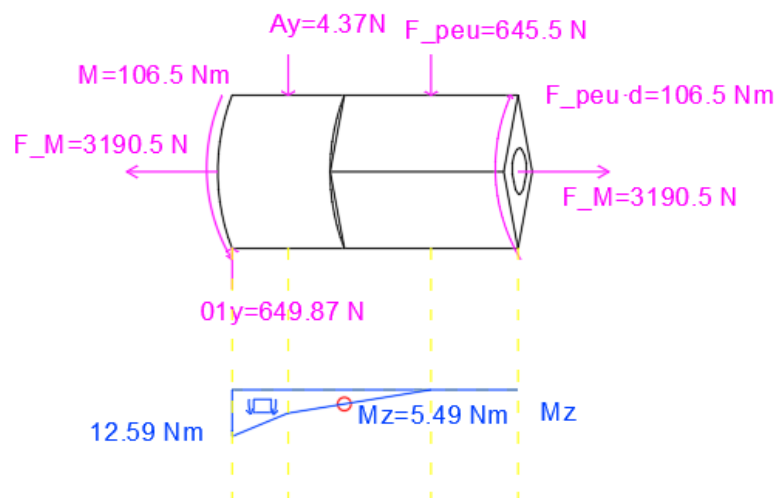


Fig. 2. 53 Moment flector al llarg de la peça que trenca de l'AirBike. Font: pròpia.

Per últim, pel que fa el moment flector també es diferencien dues zones idèntiques a les comentades en cas del tallant. La primera zona parteix de zero i s'incrementa fins a 9.04 Nm seguint l'equació (2.28) i la segona zona que parteix de 9.04 Nm fins a 12.59 Nm seguint l'equació (2.29).

$$M(x) = -F_{peu} \cdot (x - 8.5 \cdot 10^{-3}) \quad (2.28)$$

Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

$$M(x) = -F_{peu} \cdot (x - 8.5 \cdot 10^{-3}) - Ay \cdot (x - 22.5 \cdot 10^{-3}) \quad (2.29)$$

El moment flector del punt crític es calcula amb l'equació (2.28) i té el valor de 5.49 Nm.

Les equacions necessàries per trobar els valors dels esforços del punt crític de la peça són les que es poden observar a continuació.

Per l'esforç normal generat per la força de tracció s'utilitzarà l'equació (2.30).

$$\sigma_{max} = \frac{N}{A} \quad (2.30)$$

On:

N és la força de tracció en N

A és l'àrea de la secció del punt a estudiar en mm²

Per l'esforç normal generat pel moment flector s'utilitzarà l'equació (2.31).

$$\sigma_{max} = \frac{Mz}{I} \cdot y \quad (2.31)$$

On:

Mz és el moment flector en el punt a estudiar en Nmm

I és la inèrcia de la secció en mm⁴

y és la distància entre la fibra neutra de la peça i el punt més extern de la secció en mm

Per l'esforç tallant generat pel moment torsor s'utilitzarà l'equació (2.32).

$$\tau_{max(torsor)} = \frac{Mx \cdot R}{Ip} \quad (2.32)$$

On:

Mx és el moment torsor en el punt a estudiar en Nmm

R és el radi de la secció en mm

Ip és la inèrcia de la secció

Per l'esforç tallant generat pel tallant s'utilitzarà l'equació (2.33).

$$\tau_{max(tallant)} = \frac{V}{I} \cdot \frac{Q}{t} \quad (2.33)$$



On:

V és el valor de la força del tallant en el punt a estudiar en N

I és la inèrcia de la secció de la peça en mm⁴

Q és el moment de l'area que hi ha per damunt del punt on es vol saber el tallant en mm³

t és l'amplada del material per l'eix de tall en mm

2.7.1.1. Càlcul inèrcies de la secció

La inèrcia de la secció quadrada de 15 mil·límetres de diagonal amb un forat al seu centre de 6 mil·límetres de diàmetre s'ha calculat amb el teorema de Steiner.

Per aplicar el teorema d'Steiner primer de tot es dividirà la secció en figures geomètriques de les quals es conegui la inèrcia. En aquest cas s'ha agafat com a referència el triangle i la circumferència. L'equació (2.34) serveix per calcular la inèrcia del triangle mentre que l'equació (2.35) serveix per calcular la inèrcia de la circumferència.

Pel triangle la inèrcia respecte l'eix x és igual que per l'eix y ja que és un triangle rectangle amb el mateix valor per la base i l'altura tal i com es pot observar en la Figura 2.54. El centre de masses d'aquest triangle es troba a un terç de la base i a un terç de l'altura. Per tant, la equació per calcular la inèrcia d'un triangle és l'equació (2.34).

$$I_{OX} = I_{OY} = \frac{b \cdot h^3}{36} \quad (2.34)$$

On:

b és la mesura de la base en mil·límetres

h és la mesura de l'altura en mil·límetres



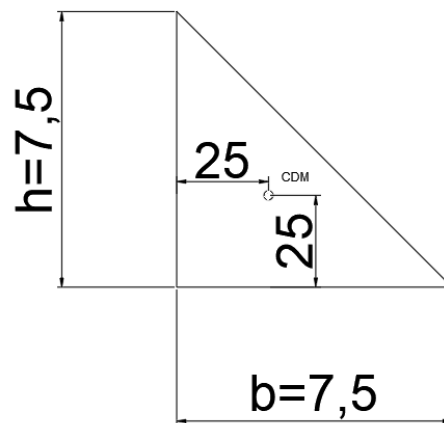


Fig. 2. 54 Mides d'un dels triangles en que es descompon la secció pel càlcul d'inèrcia.
Font: pròpia.

Pel que fa a la circumferència, el centre de masses es troba al centre de la circumferència tal i com es pot observar en la Figura 2.55. L'equació (2.35) s'utilitza per calcular la inèrcia d'una circumferència.

$$I_{OX} = I_{OY} = \frac{1}{4}\pi r^4 \quad (2.35)$$

On:

r és el radi de la circumferència en mil·límetres

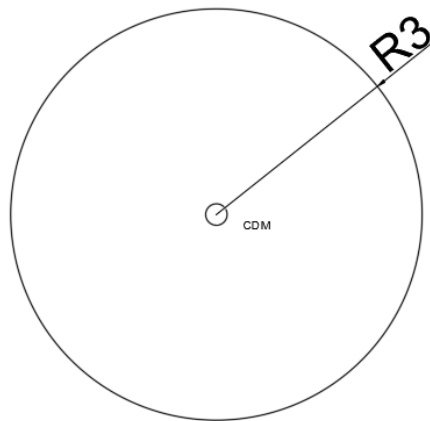


Fig. 2. 55 Mides la circumferència que representa el forat de la secció de la peça que trenca. Font: pròpia.

Les formules per aplicar el teorema de Steiner són les que es poden veure a continuació. L'equació (2.36) per la inèrcia respecte l'eix x i l'equació (2.37) per la inèrcia respecte l'eix y.



Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

$$I_x = \sum I_{Ox} + A \cdot dy^2 \quad (2.36)$$

$$I_y = \sum I_{Oy} + A \cdot dx^2 \quad (2.37)$$

En la Figura 2.56 es pot observar la divisió en figures geomètriques de la peça que s'ha fet per calcular la inèrcia total. El resultat de la divisió són 4 triangles d'igual base i altura i una circumferència.

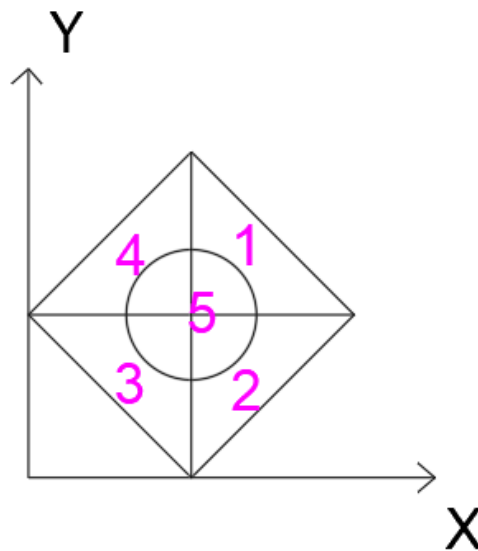


Fig. 2. 56 Composició de figures geomètriques de la secció pel càlcul de la inèrcia.
Font: pròpia.

En la Taula 2.11 hi ha les dades necessàries per calcular la inèrcia de la secció.

Taula 2. 11 Àrea [mm²] i coordenades del centre de masses de les diferents figures geomètriques de la secció [mm].

	Àrea (mm ²)	Coordenada x c.d.m (mm)	Coordenada y c.d.m (mm)
Triangle 1	28.1	10	10
Triangle 2	28.1	10	5
Triangle 3	28.1	5	5
Triangle 4	28.1	5	10
Circumferència	28.3	7.5	7.5

Amb les dades de la Taula 2.11 es calculen les inèrcies de cada una de les figures geomètriques que ha quedat dividida la peça com es pot veure a continuació:



Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

$$I_X = I_Y = 4 \cdot \left(\frac{7.5 \cdot 7.5^3}{36} + 28.1 \cdot 2.5^2 \right) - \left(\frac{\pi \cdot 3^4}{4} + 28.3 \cdot 0^2 \right) = 990.5 \text{ mm}^4$$

Per calcular la inèrcia polar es calcula amb l'equació (2.38).

$$I_P = I_X + I_Y \quad (2.38)$$

On:

I_P és la inèrcia polar en mm^4

I_X és la inèrcia respecte l'eix x en mm^4

I_Y és la inèrcia respecte l'eix y en mm^4

La inèrcia polar de la secció calculada amb l'equació (2.38) per tant serà la següent:

$$I_P = 990.5 + 990.5 = 1981 \text{ mm}^4$$

2.7.1.2. Càlcul dels esforços de la peça

Amb les inèrcies trobades en l'apartat anterior es poden extreure els esforços que pateix la peça en el punt que ha trencat. Els esforços calculats amb l'equació (2.30), l'equació (2.31), l'equació (2.32) i l'equació (2.33) són els següents:

$$\sigma_T = \frac{3190.5}{84.1} = 37.9 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{max} = \frac{Mz}{I} \cdot y = \frac{5490}{990.5} \cdot 7.5 = 41.6 \text{ MPa}$$

$$\tau_{max(torsor)} = \frac{Mx \cdot R}{I_P} = \frac{106500 \cdot 7.5}{1981} = 403.2 \text{ MPa}$$

$$\tau_{max(tallant)} = \frac{V}{I} \cdot \frac{Q}{t} = \frac{645.5}{990.5} \cdot \frac{\left(\frac{15 \cdot 7.5}{2} - \pi \cdot 3^2 \right) \cdot 2.91}{9} = 5.89 \text{ MPa}$$

El paràmetre t i Q per calcular la tensió del tallant s'han obtingut de manera gràfica i amb l'ajuda de programes CAD tal i com es mostra a la Figura 2.57.



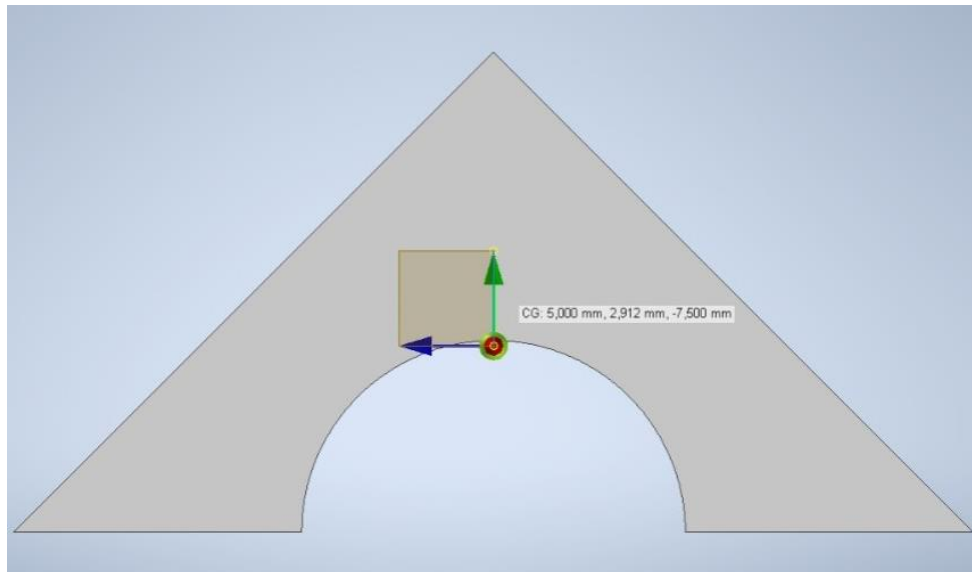


Fig. 2. 57 Secció per determinar els paràmetres de l'esforç tallant. Font: pròpia.

S'ha d'analitzar el punt més crític de la secció i veure si aquest aguanta els esforços que pateix. En la Figura 2.58 es pot observar que el l'esforç tallant per torsor té el seu màxim en tots els punts de la superfície i és zero en el centre de la secció. Pel que fa al moment flector, la tensió màxima es troba als punts superior i inferior de la peça. En aquest cas el punt superior es troba traccionat i l'inferior es troba comprimit. Tots els punts de la secció tenen el mateix valor d'esforç generat per la tracció. Finalment, l'esforç tallant generat per la força de cisalla és zero als punts superiors i inferiors i té el seu valor màxim als punts del centre de la secció.

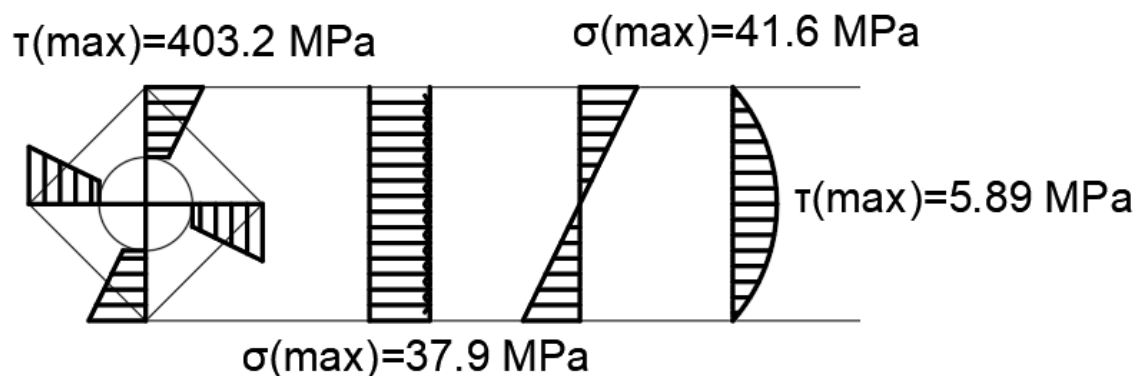


Fig. 2. 58 Representació de tots els esforços sobre la secció. Font: pròpia.

S'observa que el punt més crític de la secció serà el que està situat a la part superior o el del costat dret de la secció vista des de davant. Aquest punt es pot veure en la Figura 2.59.

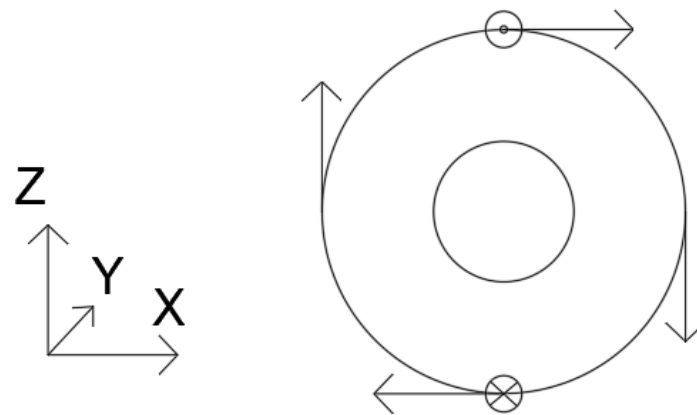


Fig. 2. 59 Representació dels esforços sobre la secció de la peça que trenca de l'AirBike, Font: pròpia.

En el punt superior apareix un esforç de tracció de 79.5 MPa que correspon a la suma dels esforços de tracció generada per la força de tracció i el moment flector i un esforç tallant provocat per la torsió de 403.2 MPa tal i com es pot veure en la Figura 2.60.

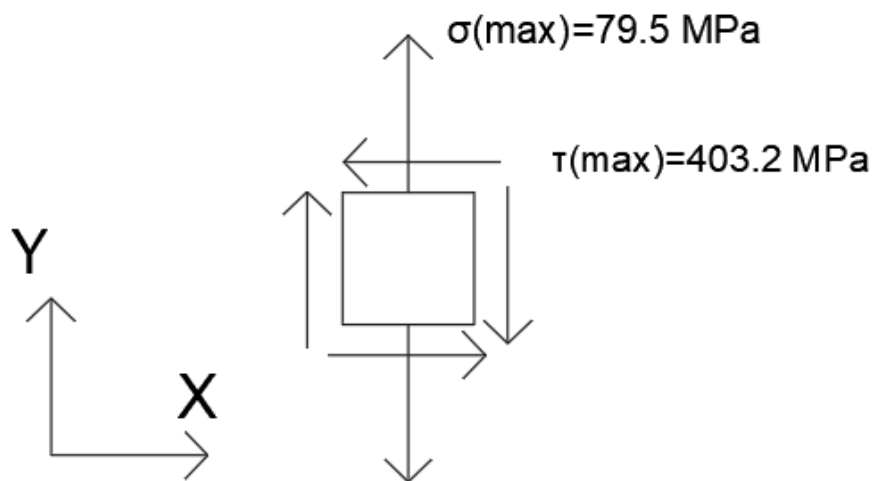


Fig. 2. 60 Tensions sobre el punt superior de la secció. Font: pròpia.

En el punt de la dreta apareix un esforç tallant que és resultat de la suma del tallant generat pel torsor i pel tallant generat per la força de cisalla tal i com es pot veure en la Figura 2.61.

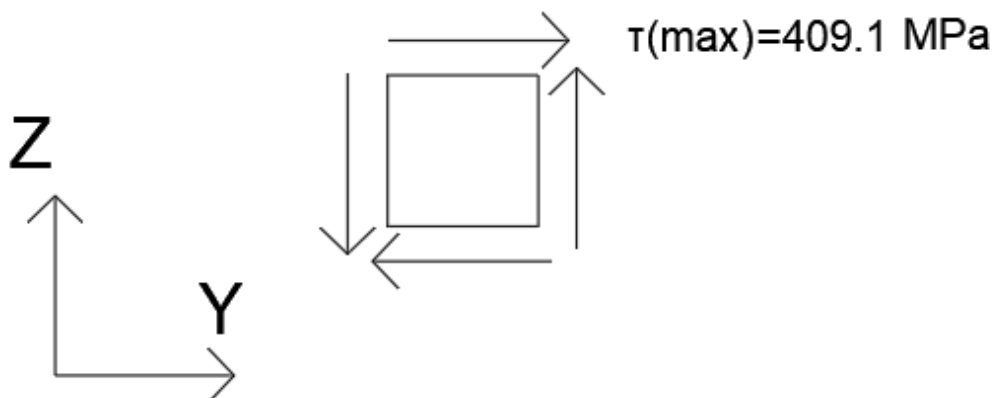


Fig. 2. 61 Esforços sobre el punt lateral dret de la secció. Font: pròpia.

En la Figura 2.62 hi ha representat el cercle de Mohr per les tensions del punt superior.

En la figura 2.63 s'observen les tensions principals per aquest punt.

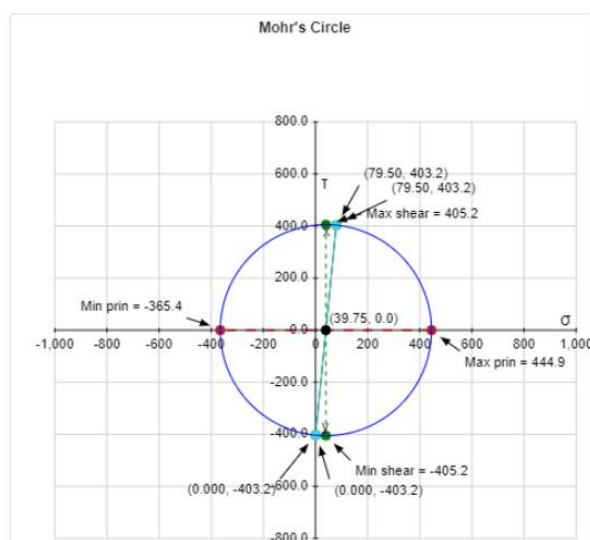


Fig. 2. 62 Cercle de Mohr pel punt superior de la secció. Font: pàgina web MechaniCalc



Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

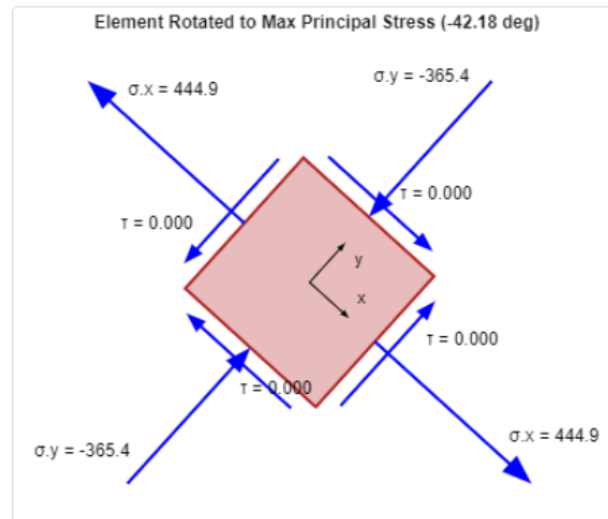


Fig. 2. 63 Tensions principals punt superior de la secció. Font: pàgina web MechaniCalc

En la Figura 2.64 hi ha representat el cercle de Mohr per les tensions del punt superior. En la Figura 2.65 s'observen les tensions principals per aquest punt.

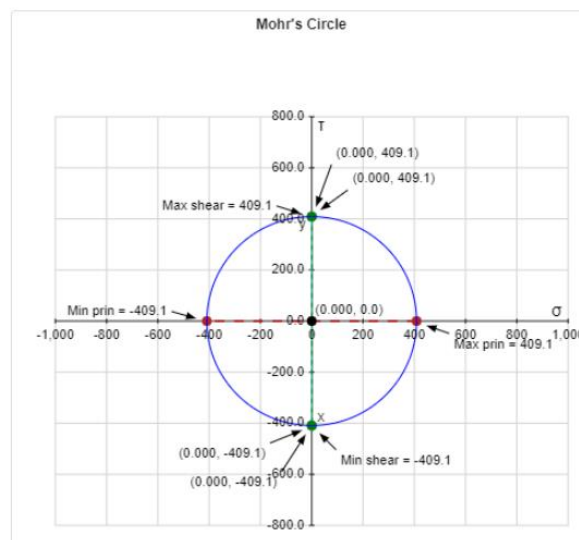


Fig. 2. 64 Cercle de Mohr pel punt lateral dret de la secció. Font: pàgina web MechaniCalc



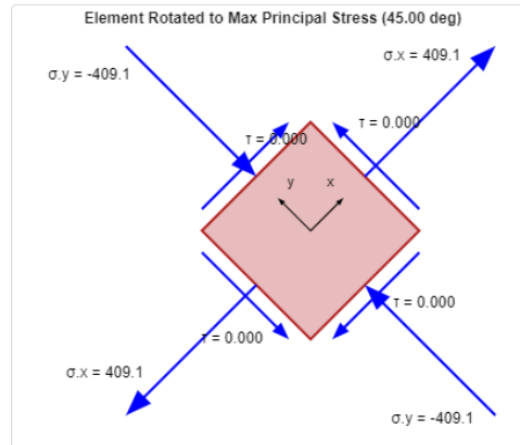


Fig. 2. 65 Tensions principals del punt del lateral dret de la secció. Font: MechaniCalc

Es procedeix ara a fer el càlcul de la tensió de Von Misses amb les tensions principals trobades en els 2 punts.

La tensió de Von Misses es calcula amb l'equació (2.39).

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2} \quad (2.39)$$

Per les tensions del punt superior es troba la següent tensió de Von Misses:

$$\sigma_{VM} = \sqrt{444.9^2 - 444.9 \cdot (-365.4) + (-365.4)^2} = 702.9 \text{ MPa}$$

Per les tensions del punt del costat dret es troba la següent tensió de Von Misses:

$$\sigma_{VM} = \sqrt{409.1^2 - 409.1 \cdot (-409.1) + (-409.1)^2} = 708.6 \text{ MPa}$$

Per tant, el punt crític és el punt del costat on hi ha la tensió tallant màxima generada pel torsor i per l'esforç tallant.

Tenint en compte que el límit elàstic del material es de 862 MPa, ja que es tracta d'un acer 4340 normalitzat, s'observa que la peça en qüestió treballant a aquestes sol·licitacions està treballant lluny del límit elàstic i es troba molt lluny del límit de ruptura que és de 1280 MPa.

2.7.2. Trencament per fatiga

L'estudi de trencament per fatiga s'ha fet tenint en compte que la AirBike funciona a 855 W tota l'estona ja que és una potència a la qual l'atleta pot estar pedalant durant més minuts que quan va a 1141 W.



Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

La fatiga en aquest tipus de màquina és important tenir-la en compte ja que tenen molt d'ús i el manteniment moltes vegades acostuma a ser insuficient.

En el cas d'aquest mecanisme, els dos esforços que contribueixen en la fatiga són el moment torsor i el moment flector ja que són els únics esforços que varien amb el temps.

S'ha de calcular, com en l'apartat anterior, els esforços del moment torsor i flector per quan la AirBike funciona a 855 W.

Tal i com s'observa a les Figures 2.66 i 2.67, en el cas del torsor en el punt crític és de 89.5 Nm i en el cas del moment flector té un valor de 4.61 Nm.

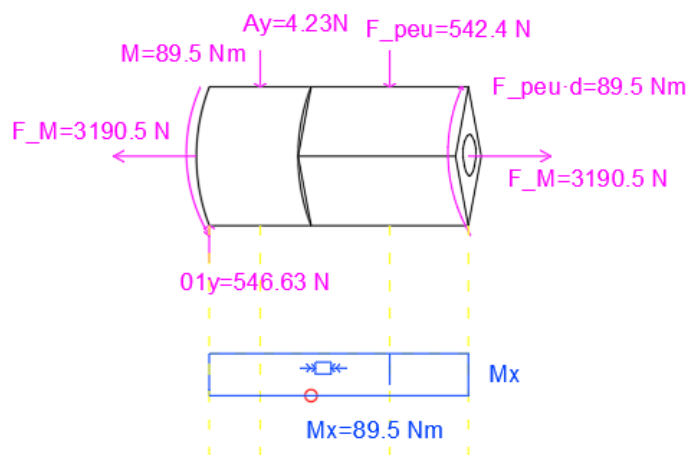


Fig. 2. 66 Moment torsor al llarg de la peça que trenca de l'AirBike. Font: pròpia.

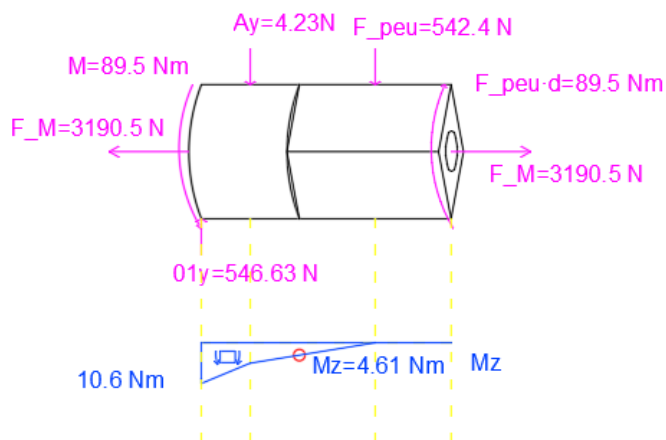


Fig. 2. 67 Moment flector al llarg de la peça que trenca de l'AirBike. Font: pròpia.



Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

Sabent això es pot calcular també el valor de les tensions tallants i tensions normals calculades amb l'equació (2.31) i l'equació (2.32).

$$\sigma_{max} = \frac{Mz}{I} \cdot y = \frac{4610}{990.5} \cdot 7.5 = 34.9 \text{ MPa}$$

$$\tau_{max(torsor)} = \frac{Mx \cdot R}{Ip} = \frac{89500 \cdot 7.5}{1981} = 338.8 \text{ MPa}$$

Per tant, té un esforç tallant de 338.8 MPa i l'esforç normal del moment flector és de 34.9 MPa. Per tant, només s'ha tingut en compte l'esforç tallant del moment torsor ja que l'altre es pot considerar negligible.

L'esforç tallant del torsor varia de manera pulsatoria, és a dir passa de un valor màxim a un valor mínim el qual és zero. En la Figura 2.68 es pot veure l'evolució d'aquest esforç al llarg del temps.

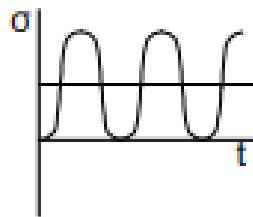


Fig. 2. 68 Esforç amb variació pulsatoria. Font: llibre La fatiga dels elements mecànics.

Per calcular la tensió mitjana es fa amb l'equació (2.40) i l'amplitud de tensió es calcula amb l'equació (2.41)

$$\tau_m = \frac{\tau_{max} + \tau_{min}}{2} \quad (2.40)$$

$$\tau_a = \frac{\tau_{max} - \tau_{min}}{2} \quad (2.41)$$

On:

τ_m és el valor de la tensió mitjana en MPa

τ_a és el valor de l'amplitud de la tensió en MPa

τ_{max} és el valor màxim de l'esforç tallant en MPa

τ_{min} és el valor mínim de l'esforç tallant en MPa



Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

Com que la τ_{min} és zero, la tensió mitjana i l'amplitud de tensió tindran el mateix valor.

Aquest valor és el següent:

$$\tau_m = \tau_a = \frac{\tau_{max}}{2} = \frac{338.8}{2} = 169.4 \text{ MPa}$$

A continuació s'ha de trobar quin és el límit de fatiga de la peça Sf. Aquest límit es pot calcular aplicant uns coeficients de modificació al límit de fatiga de la proveta estàndard Sf'. L'equació (2.42) s'utilitza per trobar el valor d'aquest límit de fatiga de la peça.

$$Sf = k_l \cdot k_d \cdot k_s \cdot \frac{1}{k_f} \cdot Sf' \quad (2.42)$$

On:

Sf és el límit de fatiga de la peça

k_l és el coeficient de tipus de càrrega

k_d és el coeficient de grandària

k_s és el coeficient d'acabat superficial

k_f és el coeficient de concentració de tensions

Sf' és el límit de fatiga de la proveta estàndard (flexió rotativa)

En primer lloc es pot trobar el límit de fatiga de la proveta estàndard aplicant l'equació (2.43).

$$Sf' = 0.5 \cdot Rm \quad (2.43)$$

L'equació anterior, tal i com es pot veure en la Taula 2.12, és vàlida per a acers amb límit de ruptura inferiors o iguals a 1400 N/mm².

Així doncs, en el cas de la peça que s'està estudiant el límit de fatiga de la proveta estàndard té un valor següent:

$$Sf' = 0.5 \cdot Rm = 0.5 \cdot 1280 = 640 \text{ MPa}$$



Taula 2. 12 Valors de S_f . Font: Llibre La fatiga dels elements mecànics.

Taula 3

Acer forjat	$S'_f = 0,5 R_m$ ($R_m \leq 1.400 \text{ N/mm}^2$) $S'_f = 700 \text{ N/mm}^2$ ($R_m > 1.400 \text{ N/mm}^2$)
Acer fos	$S'_f = 0,4 R_m$
Fosa	$S'_f = 0,4 R_m$
Alumini Magnesi Aliatges	$S'_f = (0,3 \div 0,4) \cdot R_m$ [$N = 5 \cdot 10^8$]

Per trobar el valor del coeficient de tipus de càrrega s'aplicarà el que hi ha a la Taula 2.13.

Taula 2. 13 Valors del coeficient k_l . Font: llibre La fatiga dels elements mecànics.

Taula 4

Flexió (rotativa i no rotativa)	$k_l = 1$
Tracció-compensió	$k_l = 0,9$ Càrrega perfectament centrada (sense flexió) $k_l = 0,6 - 0,85$ Càrrega descentrada
Torsió	$k_l = 0,58$ (Acer) $k_l = 0,8$ (Fosa)

Com que la peça és d'acer i està sotmesa a torsió, s'agafarà un coeficient k_l de 0.58.

En la Taula 2.14 es pot observar que el coeficient k_d que s'ha d'aplicar té el valor de 0.85 ja que el diàmetre de la peça és de 15 mil·límetres i, per tant, es troba entre 7.6 i 50 mil·límetres.

Taula 2. 14 Valors del coeficient k_d . Font: llibre La fatiga dels elements mecànics.

Taula 6

Diàmetre (mm) d	Flexió, Tracció-compensió, Torsió k_d
$d \leq 7,6$	1
$7,6 < d \leq 50$	0,85
$d > 50$	0,75



Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

S'ha considerat que la part de la peça que es trenca ha estat mecanitzada perquè es poden apreciar les línies que el torn ha deixat a la seva superfície. Sabent això i amb la informació del gràfic de la Figura 2.69 es pot dir que el coeficient k_s que s'ha d'utilitzar és de 0.68 aproximadament.

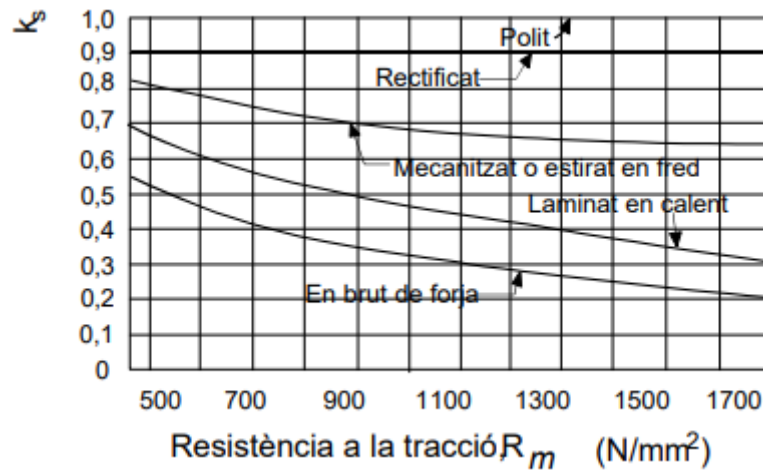


Fig. 2. 69 Gràfic amb els valors del coeficient k_s en funció de la resistència a la tracció del material [N/mm²]. Font: llibre La fatiga dels elements mecànics.

Finalment, falta trobar el valor del coeficient k_f . Per trobar aquest coeficient és necessari trobar el coeficient de concentració de tensions k_t segons la geometria de la peça i el valor del coeficient de sensibilitat a l'entalla q .

Per trobar el coeficient k_t s'ha utilitzat el gràfic de la Figura 2.70. Tot i que no és ben bé aquesta geometria, s'ha considerat que la part circular és la que correspon a la part més ampla amb el diàmetre D del dibuix que hi ha representat al gràfic i la part amb la secció quadrada correspon a la part del dibuix amb el diàmetre d . El radi que es forma entre una part i l'altre té el valor de 1 mil·límetre.



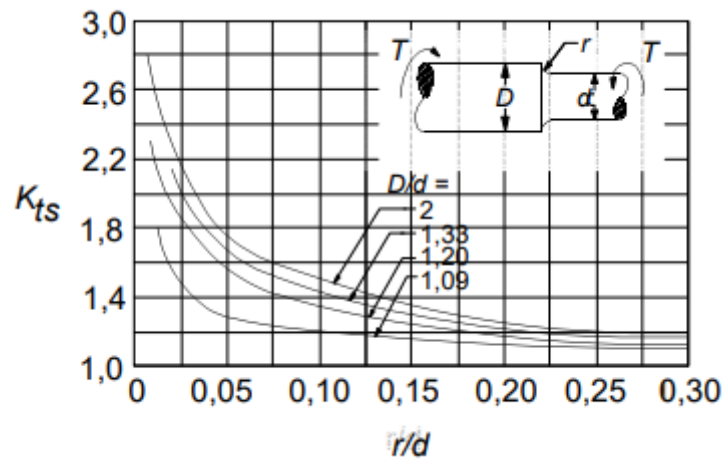


Fig. 2. 70 Gràfic per trobar el coeficient K_s per una peça sotmesa a torsió i que presenta dos seccions diferents amb dos diàmetres diferents. Font: llibre *La fatiga dels elements mecànics*.

Així doncs, amb un diàmetre D de 15 mil·límetres, un diàmetre d de 13 mil·límetres i un radi r de 1 mil·límetre, es tenen les següents relacions:

$$\frac{D}{d} = \frac{15}{13} = 1.15$$

$$\frac{r}{d} = \frac{1}{13} = 0.077$$

Amb aquestes dues relacions es pot extreure un coeficient kt de 1.37 aproximadament.

En el gràfic de la Figura 2.71 es pot extreure que la sensibilitat a l'entalla per un acer trempat/estirat i un radi d'entalla de 1 mil·límetre és de 0.87 aproximadament.



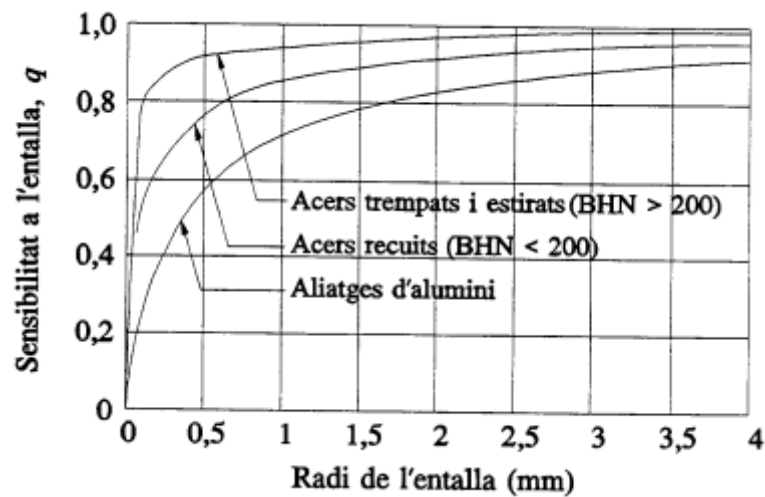


Fig. 2. 71 Gràfic per extreure el valor de la sensibilitat a l'entalla q . Font: llibre La fatiga dels elements mecànics.

Finalment, s'extreu K_f amb l'equació (2.44):

$$K_f = 1 + q(K_t - 1) \quad (2.44)$$

Per tant, el càlcul és el següent:

$$K_f = 1 + q(K_t - 1) = 1 + 0.87(1.37 - 1) = 1.32$$

Una vegada extrets tots els coeficients ja es pot calcular el límit de fatiga de la peça amb l'equació (2.42).

$$S_f = k_l \cdot k_d \cdot k_s \cdot \frac{1}{k_f} \cdot S_f' = 0.58 \cdot 0.85 \cdot 0.68 \cdot \frac{1}{1.32} \cdot 640 = 162.5 \text{ MPa}$$

Amb la informació recollida fins ara es pot representar el diagrama de la Figura 2.72.



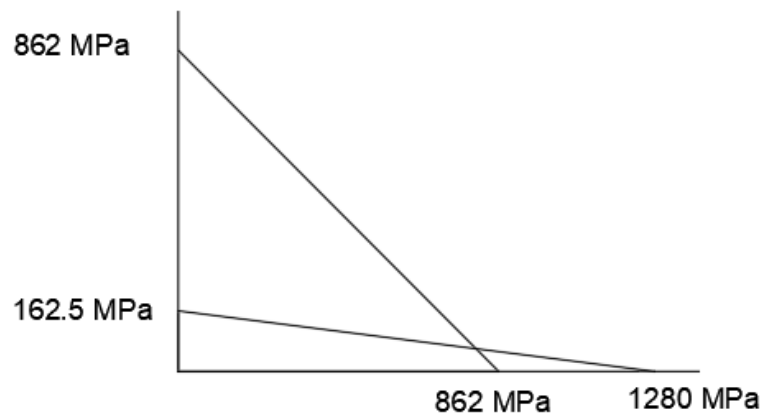


Fig. 2. 72 Diagrama S-N. Font: pròpia.

Per saber en quin punt del diagrama es troba la peça es calcularan els següents paràmetres:

$$\sigma'_a = \sqrt{3 \cdot (k_f \cdot \tau_a)^2} = \sqrt{3 \cdot (1.32 \cdot 169.4)^2} = 387.3 \text{ MPa}$$

$$\sigma'_m = \sqrt{3 \cdot \tau_m^2} = \sqrt{3 \cdot 169.4^2} = 293.4 \text{ MPa}$$

El punt del diagrama on es troba la peça estudiada es pot observar en la Figura 2.73.

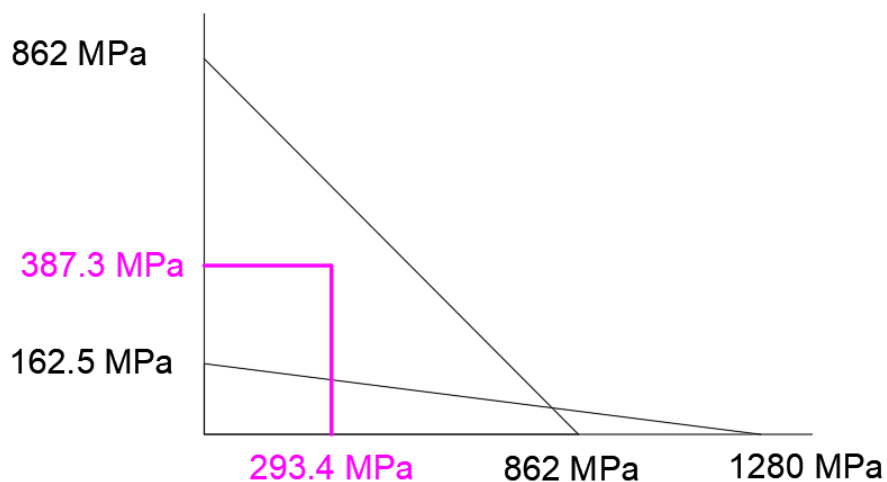


Fig. 2. 73 Gràfic de resistència a la fatiga a vida infinita de la peça que trenca de l'AirBike. Font: pròpia.

Com es pot observar la peça no aguanta a vida infinita. Per aquest motiu es calcula quants cicles de fatiga pot aguantar la peça.



Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

En primer lloc s'ha de trobar quan val $\frac{k'_f - 1}{k_f - 1}$. Aquest valor es pot extreure del gràfic de la Figura 2.74.

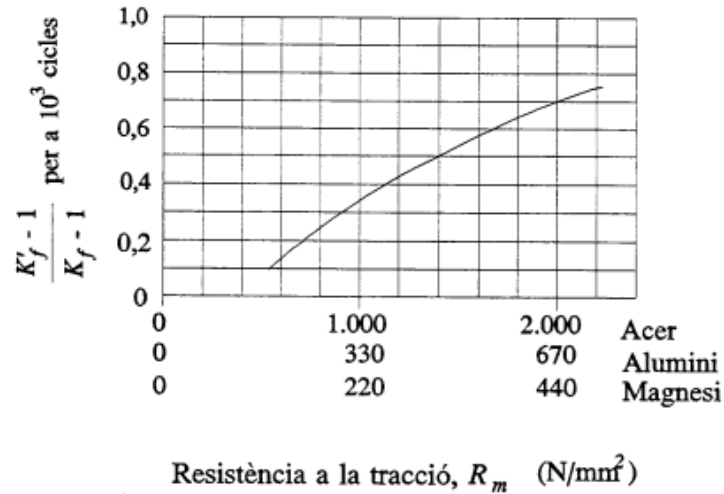


Fig. 2. 74 Gràfic que relaciona la resistència a la tracció R_m [N/mm²] amb $(k'_f - 1/k_f - 1)$.
Font: llibre La fatiga dels elements mecànics.

Per una resistència a la tracció de 1280 N/mm² i per un acer, s'obté un valor de 0.45. Si es coneix que el valor de $k_f = 1.32$, es pot extreure que:

$$\frac{k'_f - 1}{1.32 - 1} = 0.45; k'_f = 1.144$$

Per saber el valor de la resistència a la fatiga a 10³ cicles es tindrà en compte el que hi ha en la Taula 2.15 pel cas de carregues a torsió.



Taula 2. 15 Taules amb els valors de SN per a 10^0 cicles, 10^3 cicles i 10^6 cicles. Font: llibre La fatiga dels elements mecànics.

Taula 7

Proveta (acer)			
	10^0 cicles $S_N = S_0$	10^3 cicles $S_N = S_{10^3}$	10^6 cicles S_f
Flexió	R_m	$0,9 R_m$	$S'_f = 0,50 R_m$ $k_t = 1$
Tracció-compressió	R_m	$0,75 R_m$	$S_f = 0,7 (0,50 R_m)$ $k_t = 0,7$
Torsió	$R_{t,m} = 0,8 R_m$	$0,9 R_{t,m} =$ $0,9 \cdot 0,8 R_m$	$S_f = 0,58 (0,50 R_m)$ $k_t = 0,58$

Peça (acer)		
	10^3 cicles $S_N = S_{10^3}$	10^6 cicles S_f
Flexió, Tracció-compressió, Torsió	$1/K'_f [S_{10^3} \text{ proveta}]$	$k_f k_d k_s 1/K'_f S'_f$

Així doncs, s'obté el següent valor:

$$\log \sigma = \log \frac{0,9 \cdot 0,8 \cdot 1280}{1,144} = \log 805,6$$

El diagrama S-N que s'obté és el que hi ha en la Figura 2.75.

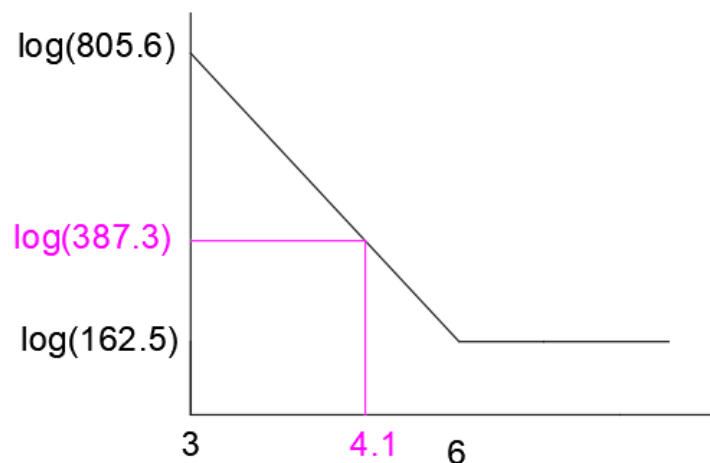


Fig. 2. 75 Gràfic de resistència a la fatiga a vida finita de la peça que trenca de l'AirBike. Font: pròpia.



Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

Per saber el número de cicles que aguanta la peça es poden extreure amb la següent interpolació:

$$n = 3 + 3 \cdot \frac{\log(805.6) - \log(387.3)}{\log(805.6) - \log(162.5)} = 4.1$$

Això equivaldria a que la peça pot aguantar 12589 cicles a aquesta potència.

Es pot observar que el trencament que ha tingut la peça ha sigut degut a la fatiga. Tot i que s'ha obtingut un resultat de 12589 cicles, se sap que aquestes AirBikes porten fets molts més cicles però el valor de la potència utilitzada pels càlculs s'ha obtingut demanant a l'atleta que revolucionés al màxim la AirBike quan aquest es trobava totalment descansat. S'ha observat que les potències de funcionament normal de la AirBike varien entre els 400 i 900 W segons el sexe i la forma física de l'atleta. Per tant, realment estariem parlant que la AirBike d'aquest model trencaria per fatiga però aguantaria més de 12589 cicles.



2.8. Annex estudi d'alternatives

Després de determinar el motiu del trencament de la peça és necessari buscar una solució alternativa al disseny actual per tal de que no es torni a produir un altre cas de trencament de la peça.

Fer un canvi en el disseny d'aquesta part de la AirBike és altament necessari ja que com s'ha vist no resisteix un nombre gaire elevat de cicles de fatiga i seria interessant que aquesta peça aguantés a vida infinita per la seva dificultat a l'hora de fer el canvi de la peça trencada per una de nova i el posterior muntatge de la AirBike de manera correcte. A més a més, l'empresa que fabrica les AirBikes d'aquest model tarda molt de temps en subministrar aquest tipus de recanvis i això als boxs de CrossFit el hi suposa tenir part del seu material inactiu durant força temps. Els temps d'espera per aconseguir aquests recanvis són d'aproximadament un mes.

Les alternatives que es buscaran perquè això no torni a succeir es basaran en reduir la fatiga de la peça, és a dir, es buscarà que la peça pugui aguantar molts més cicles de fatiga, a poder ser, que aguantés a vida infinita. Cap de les alternatives proposades ha de modificar el funcionament de la AirBike, és a dir, aquesta ha de continuar tenint un manillar mòbil que es mogui solidàriament amb el pedal.

2.8.1. Estudi alternativa 1: canvi de material

La primera alternativa que es proposa per augmentar el nombre de cicles de fatiga és fer un canvi de material de la part de la peça que s'ha trencat. L'objectiu és buscar un material amb una resistència a la ruptura i un límit elàstic superior al material del que està feta actualment la peça.

La peça que forma la manovella està composta per dues parts tal i com es pot apreciar en la Figura 2.76. La part 1 s'ha fabricat per emmotllament ja que es pot veure que té una part més estreta que l'altre, això és degut a la forma que se li dona al motlle per tal de poder extreure la peça més fàcilment. Pel contrari, la part 2, que és la part de la peça que s'ha trencat, està mecanitzada ja que es poden apreciar les línies de mecanitzat i, a més a més, té una geometria més simple que la part 1 i per tant és més simple de mecanitzar.



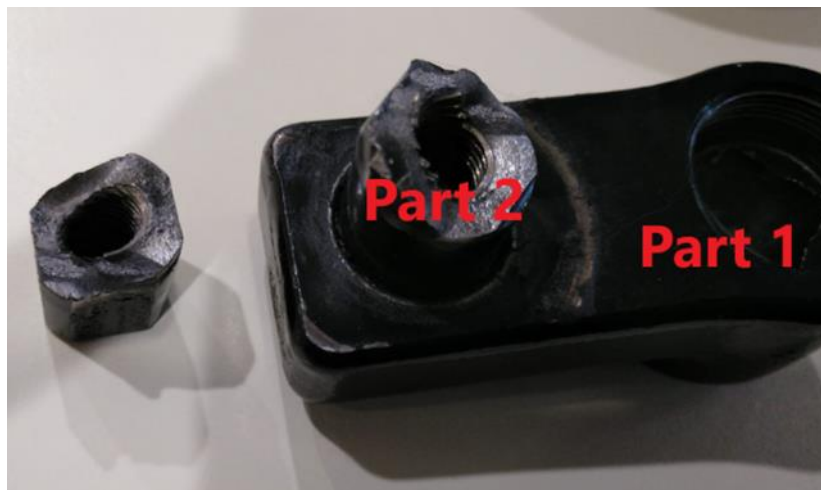


Fig. 2. 76 Parts de la peça trencada. Font: pròpia.

Les dues parts d'aquesta peça estan soldades entre si, per tant, el material nou que es triï ha de ser compatible amb l'altre per poder-se soldar. S'ha de tenir en compte també que el material per la part 2 de la peça ha de tenir bones prestacions mecàniques i s'ha de poder mecanitzar.

S'ha optat per escollir un altre acer, per tant s'ha buscat un acer de la Taula 2.16 que tingui un límit elàstic i de ruptura superior al d'un acer 4340 normalitzat.

Taula 2. 16 Propietats mecàniques de l'acer 4140 i 4340. Font: llibre *Ciència e ingeniería de materiales*.

Tabla B.4 (Continuación)

Material/condición	Límite elástico (MPa [ksi])	Resistencia (MPa [ksi])	Alargamiento
Acero 4140			
• Recocido (@ 815 °C)	417 (60,5)	655 (95)	25,7
• Normalizado (@ 870 °C)	655 (95)	1020 (148)	17,7
• Temple en aceite y revenido (@ 315 °C)	1570 (228)	1720 (250)	11,5
Acero 4340			
• Recocido (@ 810 °C)	472 (68,5)	745 (108)	22
• Normalizado (@ 870 °C)	862 (125)	1280 (185,5)	12,2
• Temple en aceite y revenido (@ 315 °C)	1620 (235)	1760 (255)	12

Es prova d'agafar un acer 4340 però aquesta vegada templat en oli i revingut. Aquest és un acer molt versàtil i és utilitzat per esforços de fatiga i corrosió. Té una gran resistència a l'impacte, a la fatiga i a l'abradió. És interessant que aguanti a la corrosió ja que moltes vegades aquestes AirBikes es troben en naus amb una humitat elevada i el manteniment que se'ls hi fa és, en general, deficient.



Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

Així doncs, ara es té un acer amb un límit elàstic de 1620 MPa i un límit de ruptura de 1760 MPa. Amb aquests valors, els càlculs de fatiga serien els que es poden veure a continuació.

$$Sf' = 700 \text{ MPa}$$

El límit de fatiga de la proveta estàndard és de 700 MPa ja que, per acers amb límits de ruptura superiors a 1400 MPa el valor és sempre igual a 700 MPa.

Al fer el canvi de material, el coeficient K_s variarà de valor ja que aquest depèn del valor del límit de ruptura del material. Per tal d'evitar que el valor de S_f sigui inferior a causa d'aquest coeficient, l'acabat superficial serà un rectificat en lloc de mecanitzat com es té en la peça actual. Per tant el valor de K_s serà de 0.9.

El límit de fatiga calculada amb l'equació (2.42) de la peça serà el següent:

$$S_f = k_l \cdot k_d \cdot k_s \cdot \frac{1}{k_f} \cdot Sf' = 0.58 \cdot 0.85 \cdot 0.9 \cdot \frac{1}{1.32} \cdot 700 = 235.3 \text{ MPa}$$

Tal i com es pot apreciar en la Figura 2.77 tot i el canvi de material la peça encara no aguantaria a vida infinita.

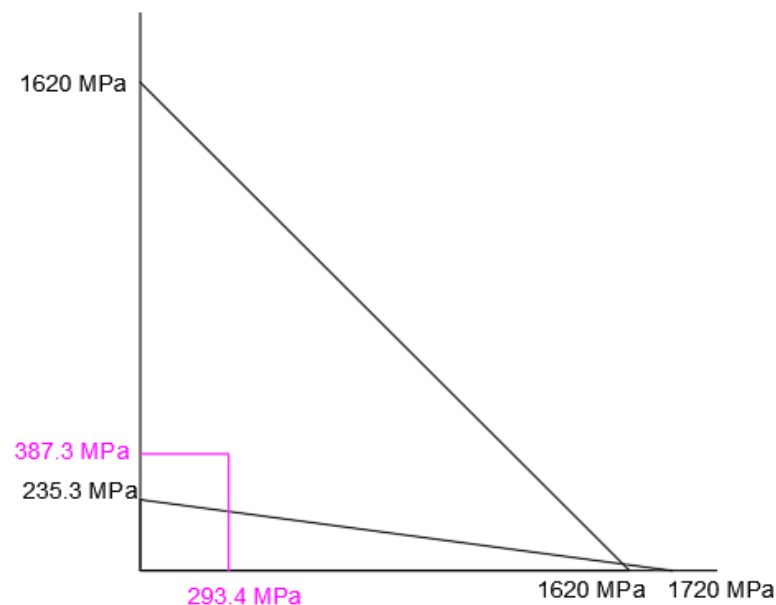


Fig. 2. 77 Gràfic de resistència a la fatiga a vida infinita de la peça que trenca de la AirBike aplicant el canvi de material. Font: pròpia.



Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

Es procedeix a calcular quants cicles a vida finita aguantaria.

En primer lloc s'ha de trobar quan val $\frac{k_f' - 1}{k_f - 1}$. Aquest valor es pot extreure del gràfic de la Figura 2.78.

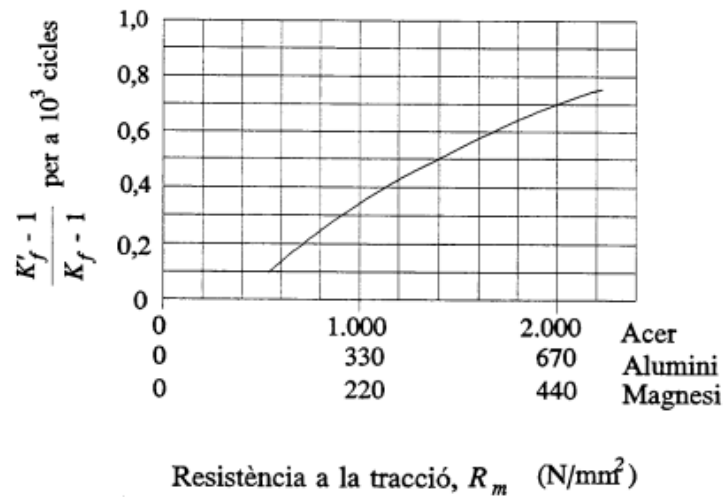


Fig. 2. 78 Gràfic que relaciona la resistència a la tracció R_m [N/mm²] amb $(k_f' - 1 / k_f - 1)$.
Font: llibre La fatiga dels elements mecànics.

Per una resistència a la tracció de 1760 N/mm² i per un acer, s'obté un valor de 0.61. Si es coneix que el valor de $k_f = 1.32$, es pot extreure que:

$$\frac{k_f' - 1}{1.32 - 1} = 0.61; k_f' = 1.1952$$

Per saber el valor de la resistència a la fatiga a 10³ cicles es tindrà en compte el que hi ha en les taules de la Taula 2.17 pel cas de carregues a torsió.



Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

Taula 2. 17 Taules amb els valors de SN per a 10^0 cicles, 10^3 cicles i 10^6 cicles. Font: llibre La fatiga dels elements mecànics.

Taula 7

Proveta (acer)			
	10^0 cicles $S_N = S_0$	10^3 cicles $S_N = S_{10^3}$	10^6 cicles S_f
Flexió	R_m	$0,9 R_m$	$S'_f = 0,50 R_m$ $k_f = 1$
Tracció-compressió	R_m	$0,75 R_m$	$S_f = 0,7 (0,50 R_m)$ $k_f = 0,7$
Torsió	$R_{tm} = 0,8 R_m$	$0,9 R_{tm} = 0,9 \cdot 0,8 R_m$	$S_f = 0,58 (0,50 R_m)$ $k_f = 0,58$

Peça (acer)		
	10^3 cicles $S_N = S_{10^3}$	10^6 cicles S_f
Flexió, Tracció-compressió, Torsió	$1/K_f [S_{10^3} \text{ proveta}]$	$k_1 k_d k_s 1/K_f S'_f$

Així doncs, s'obté el següent valor:

$$\log \sigma = \log \frac{0,9 \cdot 0,8 \cdot 1760}{1,1952} = \log 1060,2$$

El diagrama S-N que s'obté és el de la Figura 2.79.

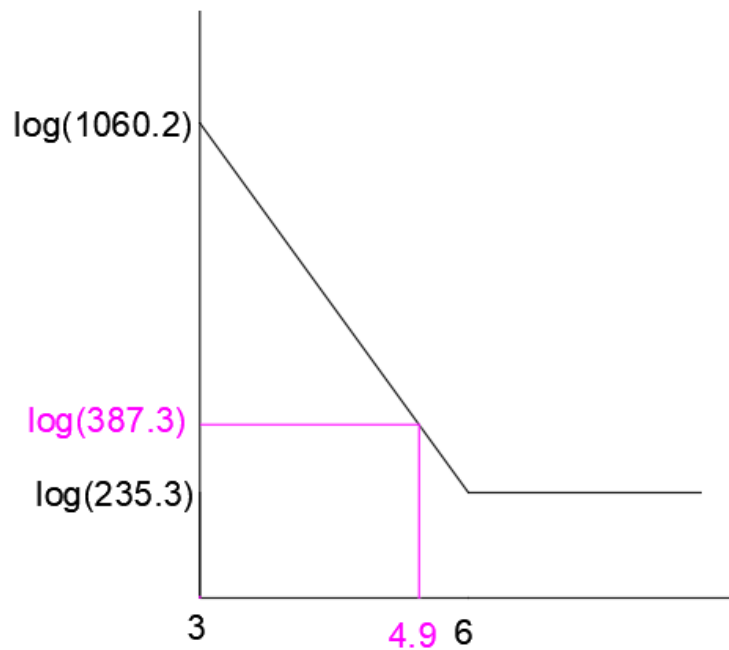


Fig. 2.79 Gràfic de resistència a la fatiga a vida finita de la peça que trenca de l'AirBike aplicant un canvi de material. Font: pròpia.



Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

Per saber el número de cicles que aguanta la peça es poden extreure amb la següent interpolació.

$$n = 3 + 3 \cdot \frac{\log(1060.2) - \log(387.3)}{\log(1060.2) - \log(235.3)} = 4.9$$

Això equivaldria a que la peça pot aguantar 79432 cicles a una potència de 855 W.

Amb el canvi de material s'aconsegueix que la peça allargui la seva vida 6,3 vegades, tot i així, la peça encara no resisteix a vida infinita.

2.8.2. Estudi alternativa 2: canvi de geometria

Una altra alternativa que es planteja és la de canviar la geometria de la part de la peça que s'ha trencat per tal de augmentar el màxim possible límit de resistència a la fatiga S_f i disminuir els esforços que pateix la peça.

Per tal d'augmentar el límit de resistència a la fatiga de la peça S_f sense canviar el material d'aquesta es pot fer fent variar els coeficients que modifiquen el límit de resistència a la fatiga de la proveta estàndard. Aquests coeficients venen donats pel tipus de càrrega (K_I), la grandària (K_d), l'acabat superficial (K_s) i la concentració de tensions (K_t).

Per altre banda, per disminuir els esforços que pateix la peça el que es pot fer es fer augmentar la inèrcia de la secció.

En primer lloc, el coeficient que ve donat pel tipus de càrregues (K_I) no es pot variar ja que depèn del tipus de càrregues a les quals està sotmesa la peça. Aquestes càrregues, en el cas d'aquesta peça de l'AirBike, són sempre de torsió. Per tant, el coeficient K_I és de 0.58 pel cas d'una peça d'acer.

Pel que fa al coeficient de grandària si que es poden fer modificacions. Segons la Taula 2.18 per un diàmetre igual o inferior a 7.6 mil·límetres el coeficient K_d té un valor de 1, la qual cosa farà que S_f tingui un valor superior que si la peça tingués un diàmetre més gran que 7.6 mil·límetres. No obstant es prefereix no tenir un diàmetre més petit de 7.6 mil·límetres ja que la inèrcia de la secció disminuiria. Per tant, es mantindrà un diàmetre inferior a 50 mil·límetres per no disminuir aquest coeficient K_d però serà superior a 15 mil·límetres que és el diàmetre que hi ha actualment.



Taula 2. 18 Valors del coeficient k_d . Font: llibre La fatiga dels elements mecànics.

Taula 6

Diàmetre (mm) d	Flexió, Tracció-compensió, Torsió k_d
$d \leq 7,6$	1
$7,6 < d \leq 50$	0,85
$d > 50$	0,75

En el gràfic de la Figura 2.80 es pot observar com varia el coeficient K_s en funció de l'acabat superficial de la peça. Actualment la peça té un acabat de mecanitzat, la qual cosa equivaldria a poder tenir com a màxim un coeficient K_s de 0.85 aproximadament. Així doncs, una manera de fer que el límit de resistència a fatiga fos el més gran possible seria aplicant un acabat superficial amb un coeficient K_s molt proper a 1. No es creu necessari haver de polir la superfície de la peça ja que el cost seria innecessàriament elevat, per tant, s'escollirà un rectificat. El coeficient K_s serà de 0.9.

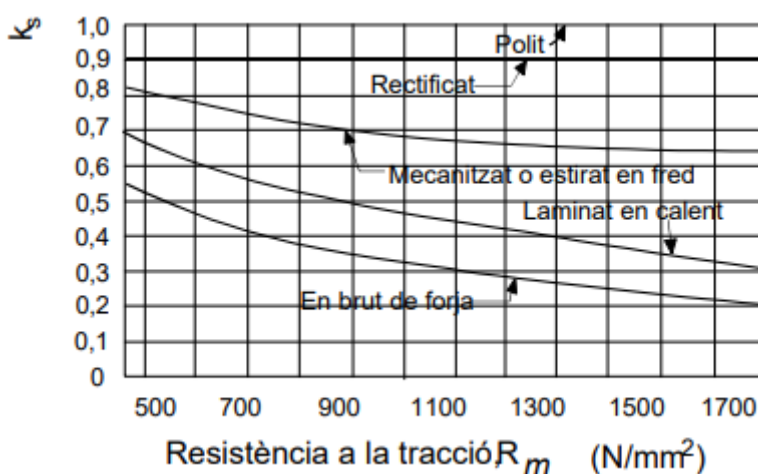


Fig. 2. 80 Gràfic amb els valors del coeficient k_s en funció de la resistència a la tracció del material [N/mm²]. Font: llibre La fatiga dels elements mecànics.

Per últim, pel que fa al coeficient K_f el que s'intentarà és aconseguir que hi hagi la menor concentració de tensions possible. Per tal d'evitar que hi hagi concentració de tensions, la manera més fàcil d'aconseguir-ho és fent que no hi hagi canvis de diàmetre al llarg de la peça. Per aconseguir això s'ha de plantejar un canvi en el disseny actual de la peça.



Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

Es planteja fer un disseny semblant al que hi ha representat en la Figura 2.81. La idea és canviar la part de la peça que trenca per una peça de secció quadrada amb una diagonal superior a 15 mil·límetres e inferior a 50 mil·límetres per evitar disminuir el coeficient K_d . Es fa amb una secció quadrada per tal de connectar-hi el pedal i que es moguin solidàriament. Posteriorment, si aquesta solució és la escollida es buscarà una solució per connectar la biela que transmet el moviment del manillar mòbil. Es provarà de fer els càlculs per una secció quadrada de 25 mil·límetres de diagonal i un forat al centre per on hi passarà el cargol de mètrica 6.

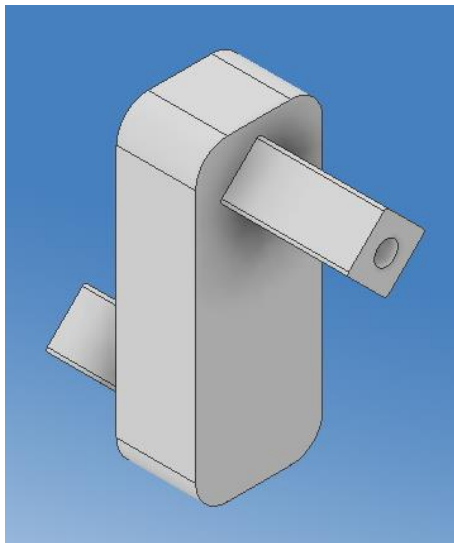


Fig. 2.81 Proposta de canvi de geometria de la peça que trenca de l'AirBike. Font: pròpia

En primer lloc, es calcula la inèrcia de la nova secció. Les mides de les figures geomètriques que s'utilitzen per calcular la inèrcia total de la secció es poden veure en les Figures 2.82 i 2.83. Es tornen a tenir 4 triangles però aquesta vegada de 12.5 mil·límetres de base i d'altura. El centre de masses d'aquests triangles es troben a un terç de l'altura i a un terç de la base. En el cas del forat tenim una circumferència de 3 mil·límetres de radi amb el centre de masses al centre.

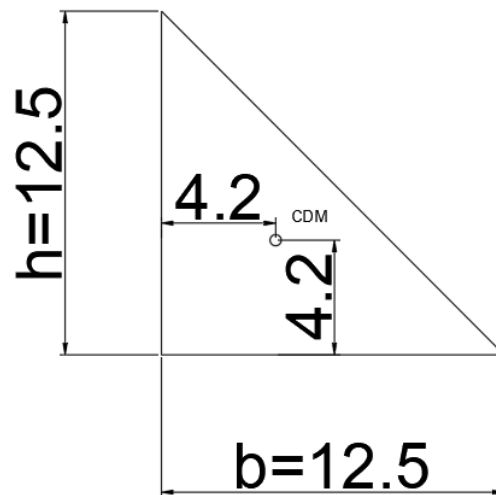


Fig. 2. 82 Mides d'un dels triangles en que es descompon la secció pel càlcul d'inèrcia.
Font: pròpia.

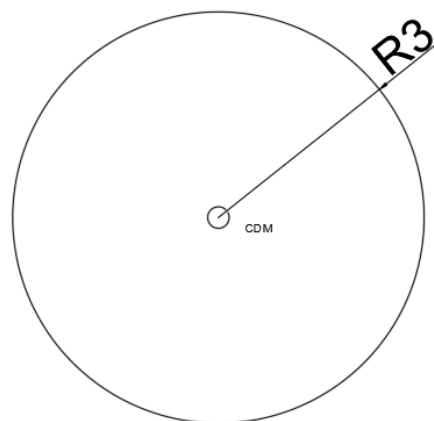


Fig. 2. 83 Mides la circumferència que representa el forat de la secció de la peça que trenca. Font: pròpia.

En la Figura 2.84 es pot observar la distribució de la divisió en figures geomètriques que s'ha fet per calcular la inèrcia total de la secció de la peça.

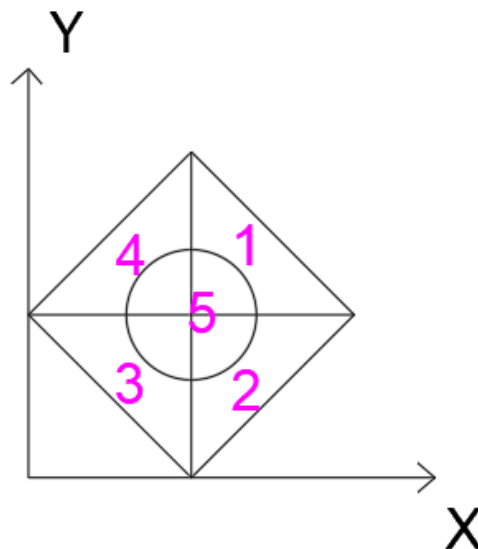


Fig. 2. 84 Composició de figures geomètriques de la secció pel càlcul de la inèrcia.

Font: pròpia.

Amb les dades de la Taula 2.19 es calculen les inèrcies de cada una de les figures geomètriques que ha quedat dividida la peça.

Taula 2. 19 Àrea [mm²] i coordenades del centre de masses de les diferents figures geomètriques de la secció [mm].

	Àrea (mm ²)	Coordenada x c.d.m (mm)	Coordenada y c.d.m (mm)
Triangle 1	78.125	16.7	16.7
Triangle 2	78.125	16.7	8.3
Triangle 3	78.125	8.3	8.3
Triangle 4	78.125	8.3	16.7
Circumferència	28.3	12.5	12.5

Es calcula la inèrcia respecte l'eix x i respecte l'eix y de la secció.

$$I_x = I_y = 4 \cdot \left(\frac{12.5 \cdot 12.5^3}{36} + 78.125 \cdot 4.2^2 \right) - \left(\frac{\pi \cdot 3^4}{4} + 28.3 \cdot 0^2 \right) = 8161.6 \text{ mm}^4$$

La inèrcia polar de la secció per tant serà la següent:



Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

$$I_p = 8161.6 + 8161.6 = 16323.1 \text{ mm}^4$$

El moment torsor aplicat serà el mateix que s'ha calculat anteriorment per quan s'utilitza la AirBike a 855 W.

$$\tau_{\max(\text{torsor})} = \frac{M_x \cdot R}{I_p} = \frac{89500 \cdot 12.5}{16323.1} = 68.5 \text{ MPa}$$

Per comprovar si la peça resisteix a vida infinita primer s'ha de calcular el límit de fatiga de la peça calculada amb l'equació (2.42) amb els nous paràmetres que s'han descrit en aquest annex.

$$Sf = k_l \cdot k_d \cdot k_s \cdot \frac{1}{k_f} \cdot Sf' = 0.58 \cdot 0.85 \cdot 0.9 \cdot \frac{1}{1} \cdot 640 = 283.9 \text{ MPa}$$

Com que la τ_{\min} és zero, la tensió mitjana i l'amplitud de tensió tindran el mateix valor. Aquest valor és el següent:

$$\tau_m = \tau_a = \frac{\tau_{\max}}{2} = \frac{68.5}{2} = 34.3 \text{ MPa}$$

Per saber en quin punt del diagrama es troba la peça es calcularan les següents fórmules:

$$\sigma'_a = \sqrt{3 \cdot (k_f \cdot \tau_a)^2} = \sqrt{3 \cdot (1 \cdot 34.3)^2} = 59.4 \text{ MPa}$$

$$\sigma'_m = \sqrt{3 \cdot \tau_m^2} = \sqrt{3 \cdot 34.3^2} = 59.4 \text{ MPa}$$

El punt del diagrama on es troba la peça estudiada es pot observar en la Figura 2.85.



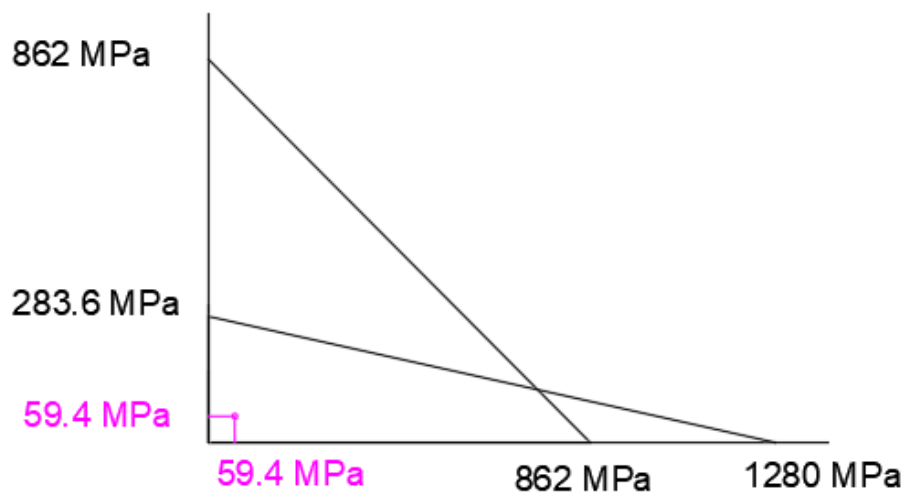


Fig. 2. 85 Gràfic de resistència a la fatiga a vida infinita de la peça que trenca de l'AirBike aplicant un canvi de geometria. Font: pròpia

Com es pot veure els canvis aplicats a la peça són molt efectius. Amb aquestes modificacions la peça aguanta a vida infinita, per tant, és una bona alternativa a tenir en compte.

2.8.3. Estudi alternativa 3: modificació de les dimensions actuals

Una de les alternatives que es planteja és mantenir la geometria actual però augmentant la secció de la peça. És a dir, augmentar la inèrcia de la secció mantenint els paràmetres per fer el càlcul de la fatiga.

Es prova de fer els càlculs per un diàmetre de 25 mil·límetres de la part rodona de la peça i una diagonal de 25 mil·límetres en la secció quadrada de la peça per aprofitar els càlculs de la inèrcia de l'annex anterior. Es manté també el forat per el cargol de mètrica 6.

Es comprovarà només la resistència a la fatiga ja que al augmentar les mides de la secció, aquesta continuarà aguantant les forces que se li apliquen tal i com s'ha comprovat en annexos anteriors per una secció més petita.

Així doncs, en el cas de la peça que s'està estudiant el límit de fatiga de la proveta estàndard té un valor de 640 MPa, com es pot veure a continuació:

$$Sf' = 0.5 \cdot Rm = 0.5 \cdot 1280 = 640 \text{ MPa}$$

Els coeficients K_I , K_d i K_s no variaran. Es mantindrà un valor de 0.58 per K_I ja que els esforços continuen sent de torsió. El valor de K_d tampoc varia ja que la dimensió



Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

continua sent superior a 7.6 mil·límetres e inferior a 50 mil·límetres, per tant continua tenint un valor de 0.85. El valor de K_s és de 0.68 ja que l'acabat de la peça és mecanitzat.

El valor que si que varia és el del coeficient K_f . En aquest cas, igual que s'ha calculat abans, es té un diàmetre D de 25 mil·límetres, un diàmetre d de 23 mil·límetres i un radi r de 1 mil·límetre.

$$\frac{D}{d} = 1.1$$

$$\frac{r}{d} = 0.04$$

Segons el gràfic de la Figura 2.86 el valor de K_{ts} és de 1.3.

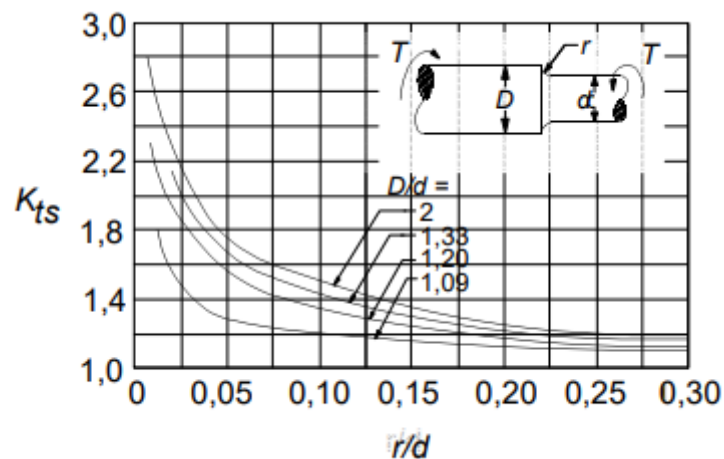


Fig. 2. 86 Gràfic per trobar el coeficient K_s per una peça sotmesa a torsió i que presenta dos seccions diferents amb dos diàmetres diferents. Font: llibre La fatiga dels elements mecànics.

El valor de la sensibilitat a l'entalla és de 0.87 tal i com es pot veure en el gràfic de la Figura 2.87.



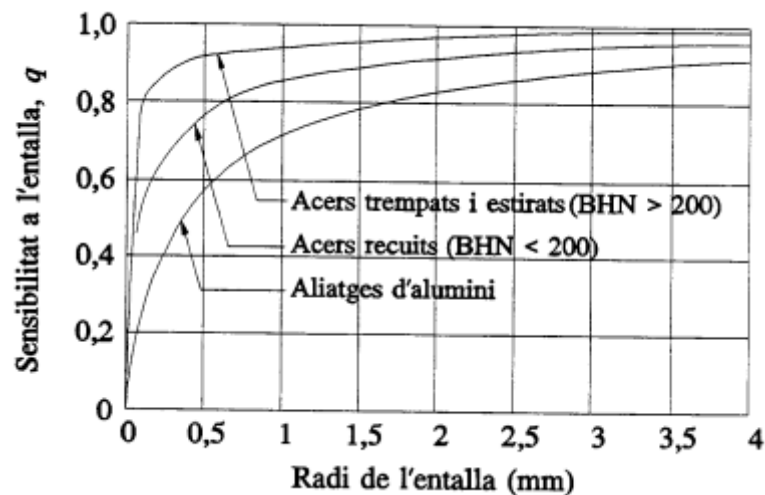


Fig. 2. 87 Gràfic per extreure el valor de la sensibilitat a l'entalla q . Font: llibre La fatiga dels elements mecànics.

Finalment, s'extreu K_f amb la següent equació:

$$K_f = 1 + q(K_t - 1) = 1 + 0.87(1.3 - 1) = 1.261$$

El límit de fatiga de la peça calculat amb l'equació (2.42) serà el següent:

$$S_f = k_l \cdot k_d \cdot k_s \cdot \frac{1}{k_f} \cdot S_f' = 0.58 \cdot 0.85 \cdot 0.68 \cdot \frac{1}{1.261} \cdot 640 = 170.1 \text{ MPa}$$

La inèrcia de la secció aquest cas serà la mateixa que la de l'alternativa de canvi de geometria.

$$I_x = I_y = 4 \cdot \left(\frac{12.5 \cdot 12.5^3}{36} + 78.125 \cdot 4.2^2 \right) - \left(\frac{\pi \cdot 3^4}{4} + 28.3 \cdot 0^2 \right) = 8161.6 \text{ mm}^4$$

La inèrcia polar de la secció per tant serà la següent:

$$I_p = 8161.6 + 8161.6 = 16323.1 \text{ mm}^4$$

De la mateixa manera, la tensió generada pel torsor també és la mateixa.

$$\tau_{\max(\text{torsor})} = \frac{Mx \cdot R}{I_p} = \frac{89500 \cdot 12.5}{16323.1} = 68.5 \text{ MPa}$$

Per últim, els valor per situar-se dins del gràfic de resistència a la fatiga són els següents:

$$\sigma'_a = \sqrt{3 \cdot (k_f \cdot \tau_a)^2} = \sqrt{3 \cdot (1.261 \cdot 34.3)^2} = 74.9 \text{ MPa}$$

$$\sigma'_m = \sqrt{3 \cdot \tau_m^2} = \sqrt{3 \cdot 34.3^2} = 59.4 \text{ MPa}$$



Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

El gràfic que resulta amb tots els paràmetres anteriors calculats és el que es pot observar a la Figura 2.88.

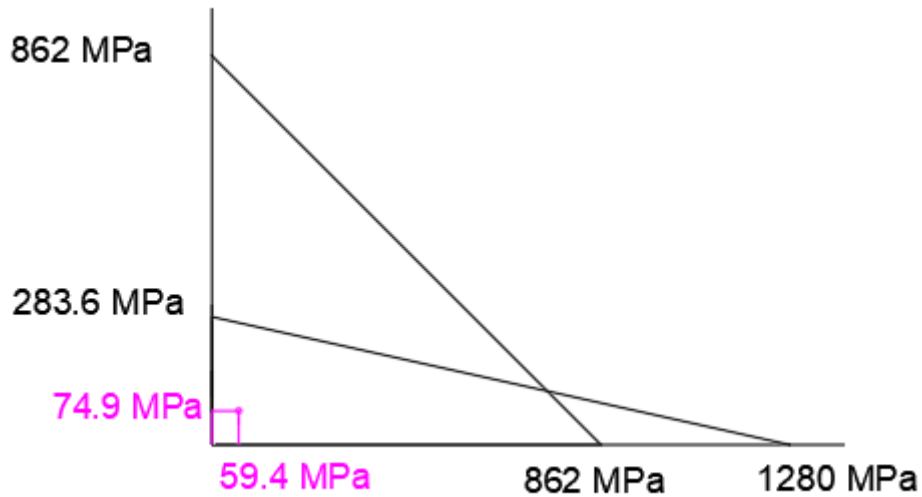


Fig. 2.88 Gràfic de resistència a la fatiga a vida infinita de la peça que trenca de l'AirBike aplicant un canvi de secció. Font: pròpia

Com es pot observar, la peça fent aquest canvi també aguanta a vida infinita. Per tant, és una altra alternativa interessant a tenir en compte.

2.9. Annex resultats de l'alternativa escollida

En aquest annex es troben explicades les característiques de l'alternativa escollida i els càlculs que s'han fet per comprovar que la peça amb el nou disseny suporta els esforços que li són aplicats.

S'ha decidit mantenir el material actual de la peça ja que com s'ha comprovat en l'alternativa 1, en que es passa de tenir un acer 4340 normalitzat a un acer 4340 templat en oli i revingut, el canvi no dona una millora suficient per l'ús que se'ls hi dona a aquestes bicicletes.

Així doncs, s'ha optat per escollir l'alternativa 2. El que s'ha fet ha sigut canviar les dimensions de la peça. Per una banda s'han volgut eliminar les concentracions de tensions que es produïen a causa del canvi de secció de la peça que es trencava i que precisament era pel punt on tenia lloc la ruptura. I per altra banda, s'ha optat per augmentar la inèrcia de la secció de la peça que trenca.

Per altra banda s'ha volgut optar per un disseny que permet ser reparat fàcilment en el cas que es produeixi el desgast o s'hagi de fer el canvi d'alguna peça. A més a més, s'ha optat per posar peces que es puguin mecanitzar i no s'hagin de fer per emmotllament.

En les Figures 2.89 i 2.90 es pot veure el disseny final de la part del pedal de la AirBike.

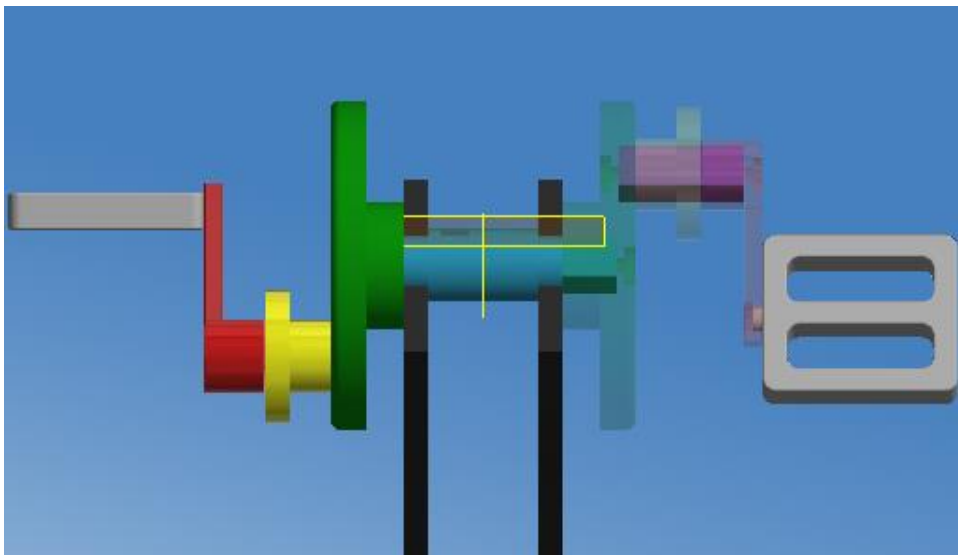


Fig. 2. 89 Proposta de disseny final de la part del pedal de l'AirBike. Font: pròpia

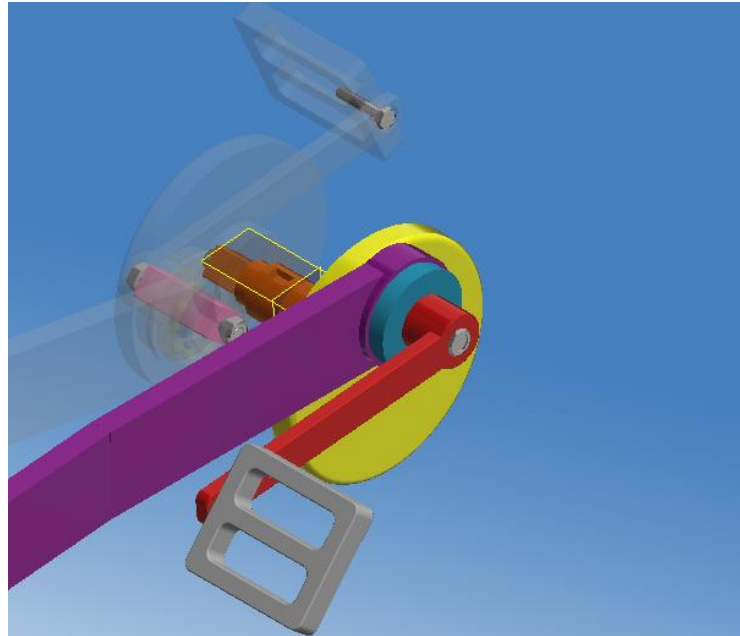


Fig. 2.90 Proposta de disseny final de la part de l'AirBike (2). Font: pròpia

La peça que forma la manovella en el disseny actual de la AirBike passa a estar composta per tres peces que es comenten a continuació.

La peça 1 que es pot veure en la Figura 2.91 es tracta d'un disc que es connecta a l'eix que fa girar les rodes dentades que componen la AirBike i a la vegada es connecta a la peça 2 d'aquesta manovella. Aquesta connexió es fa gràcies a la forma quadrada que tenen la secció de l'eix i el forat. A més a més hi ha un cargol de mètrica 6 que manté unit l'eix amb la peça 1 de la manovella.

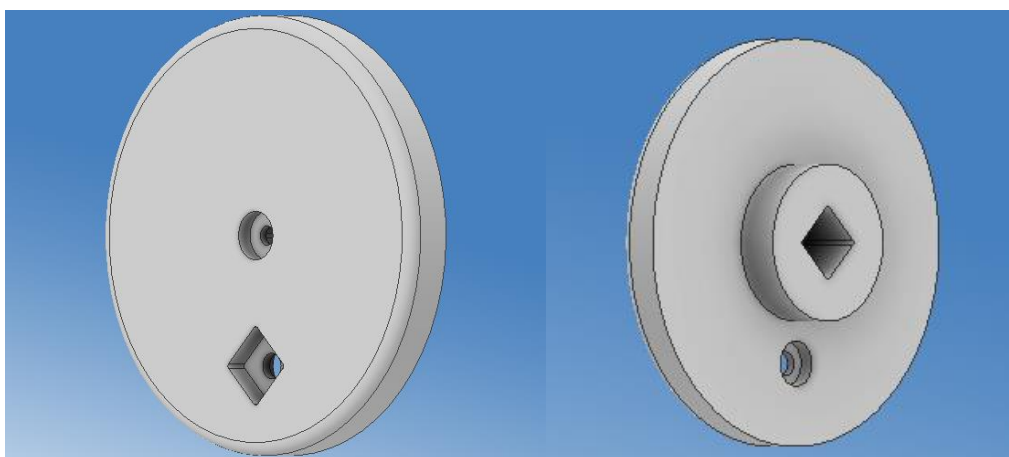


Fig. 2.91 Disseny de la peça 1 del disseny final. Font: pròpia

En la Figura 2.92 es pot veure com és la connexió d'aquesta peça amb la peça 2 de la manovella i amb l'eix de la primera roda dentada.

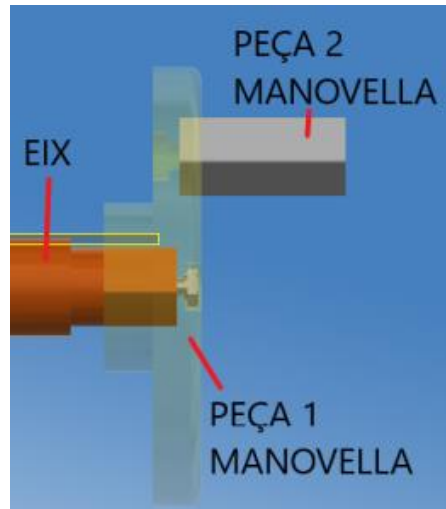


Fig. 2.92 Unió entre les peces 1,2 i l'eix del pedal. Font: pròpia.

La peça 2 de la manovella es pot veure en la Figura 2.93. Aquesta peça és un eix de secció quadrada amb un forat al mig per fer-hi passar un cargol de mètrica 8.

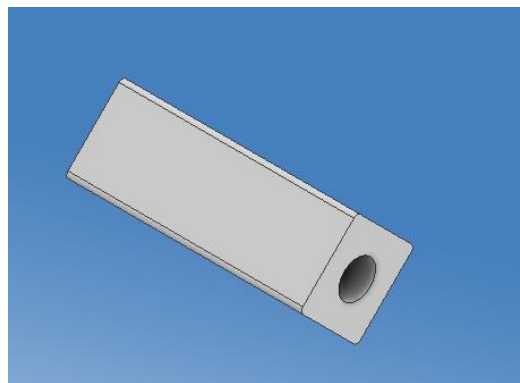


Fig. 2.93 Disseny de la peça 2 del nou disseny de l'AirBike. Font: pròpia

En aquesta peça 2 de la manovella hi va connectat la peça 3 de la manovella que és la que permet la unió de la biela la qual transmet el moviment del manillar mòbil a la primera roda dentada de la AirBike. Aquesta peça 3 de la manovella es pot veure en la Figura 2.94. Igual que s'ha comentat abans aquesta peça es connecta gràcies a la secció quadrada que té el forat del centre de la peça.

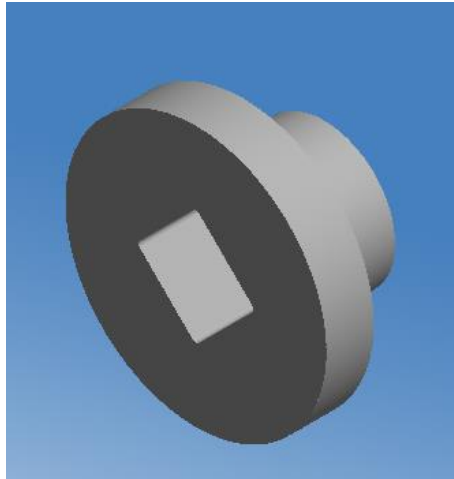


Fig. 2.94 Disseny de la peça 3 del nou disseny de l'AirBike. Font: pròpia.

Sobre aquesta peça 3 de la manovella hi ha un rodament SKF 6006 i a sobre d'aquest rodament es troba la biela. La connexió d'aquestes peces es pot veure en la Figura 2.95.

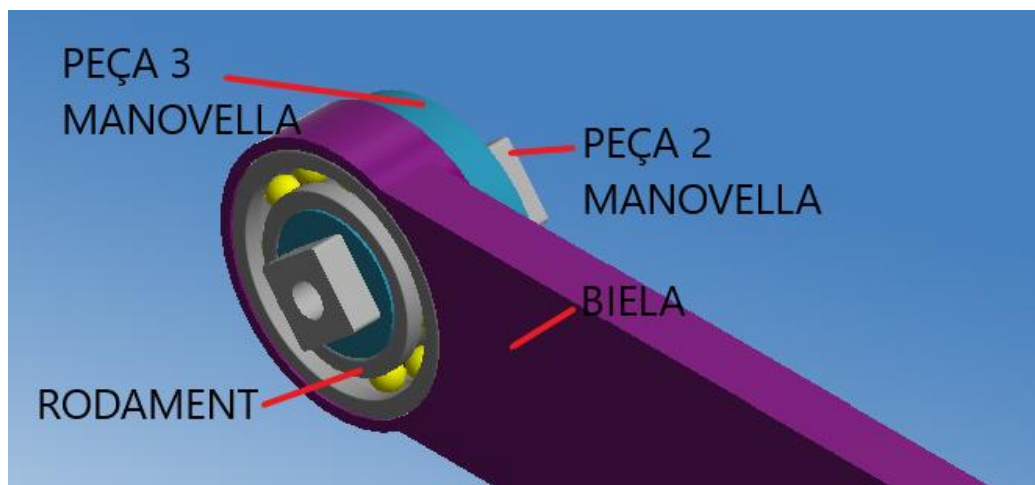


Fig. 2.95 Unió de les peces 2, 3, biela i rodament. Font: pròpia.

Finalment, en la peça 2 de la manovella s'hi connecta el pedal i tot es troba unit amb un cargol passant de mètrica 8 i una femella. En el disseny anterior ja hi havia un cargol en aquest punt de la peça però fent que sigui un cargol passant s'aconsegueix que les peces estiguin comprimides i no pateixin una tracció generada pel cargol que el que feia era afavorir a que qualsevol fissura del material s'anés obrint. La unió de totes aquestes peces es pot veure en la Figura 2.96.

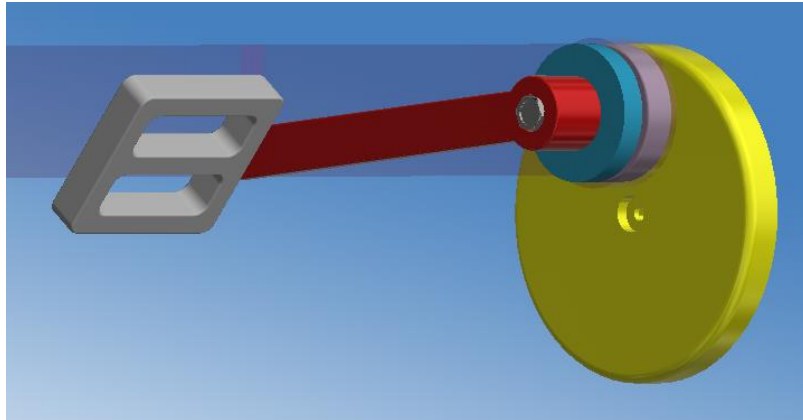


Fig. 2.96 Unió de totes les peces del nou disseny del pedal de l'AirBike. Font: pròpia.

Pel que fa a la resta de peces s'han conservat les mides que té la AirBike actualment. No obstant, algunes de les mides de la biela i del manillar mòbil s'han vist afectades per les noves dimensions de les peces de la part del pedal.

2.9.1. Càlcul inèrcies de la secció

S'ha de calcular la inèrcia de la nova secció quadrada de 17.5 mil·límetres de diagonal amb un forat al seu centre de 8 mil·límetres de diàmetre amb el teorema de Steiner. S'ha ajustat més les mides de la secció perquè com s'ha pogut observar en l'exemple de l'alternativa 2 l'eix estava sobredimensionat.

Per aplicar el teorema d'Steiner primer de tot es dividirà la secció en figures geomètriques de les quals es conegui la inèrcia. En el nou cas, les mides de les figures geomètriques són les de les Figures 2.97 i 2.98.

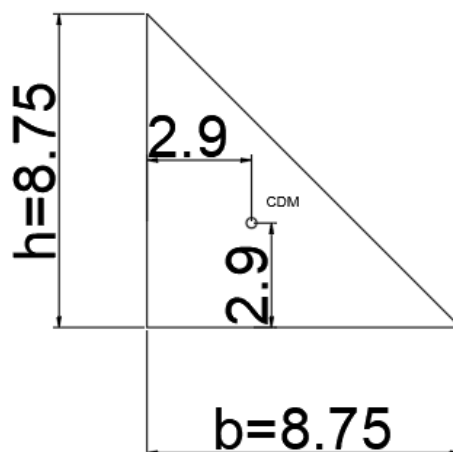


Fig. 2.97 Mides d'un dels triangles en que es descompon la secció pel càlcul d'inèrcia. Font: pròpia.

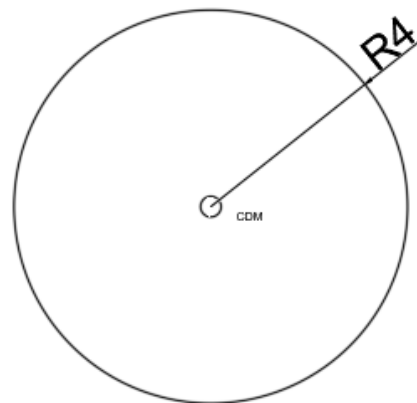


Fig. 2.98 Mides la circumferència que representa el forat de la secció de la peça que trenca. Font: pròpia.

En la Figura 2.99 es pot observar la divisió en figures geomètriques de la peça que s'ha fet per calcular la inèrcia total. El resultat de la divisió són 4 triangles d'igual base i altura i una circumferència.

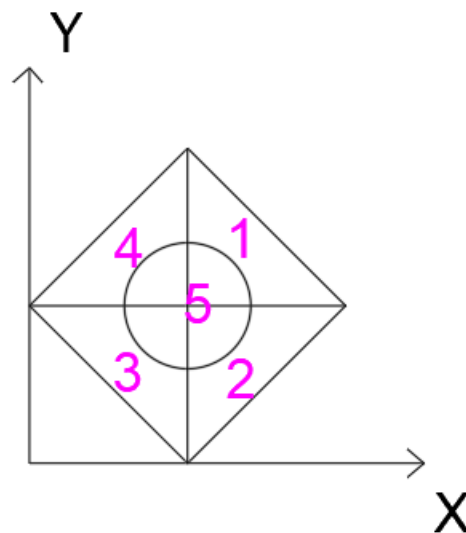


Fig. 2.99 Composició de figures geomètriques de la secció pel càlcul de la inèrcia.
Font: pròpia.

Amb les dades de la Taula 2.20 es calculen les inèrcies de cada una de les figures geomètriques que ha quedat dividida la peça.

Taula 2. 20 Àrea [mm^2] i coordenades del centre de masses de les diferents figures geomètriques de la secció [mm].

	Àrea (mm^2)	Coordenada x c.d.m (mm)	Coordenada y c.d.m (mm)
Triangle 1	38.28	11.65	11.65
Triangle 2	38.28	11.65	5.85
Triangle 3	38.28	5.85	5.85
Triangle 4	38.28	5.85	11.65
Circumferència	50.3	8.75	8.75

El valor de les inèrcies de la secció és el següent:

$$I_x = I_y = 4 \cdot \left(\frac{8.75 \cdot 8.75^3}{36} + 38.28 \cdot 2.9^2 \right) - \left(\frac{\pi \cdot 4^4}{4} + 50.3 \cdot 0^2 \right) = 1738 \text{ mm}^4$$

La inèrcia polar de la secció per tant serà la següent:

$$I_p = 1738 + 1738 = 3476 \text{ mm}^4$$

2.9.2. Resistència del disseny final

Amb tot això ja es pot procedir a calcular amb l'equació (2.32) la tensió màxima generada pel torsor. El moment torsor aplicat serà el mateix que s'ha calculat anteriorment per quan s'utilitza la AirBike a 855 W.

$$\tau_{\max(\text{torsor})} = \frac{Mx \cdot R}{I_p} = \frac{89500 \cdot 8.75}{3476} = 225.3 \text{ MPa}$$

Com que la τ_{\min} és zero, la tensió mitjana i l'amplitud de tensió tindran el mateix valor. Aquest valor és el següent:

$$\tau_m = \tau_a = \frac{\tau_{\max}}{2} = \frac{225.3}{2} = 112.7 \text{ MPa}$$

Per saber en quin punt del diagrama es troba la peça es calcularan les següents fórmules:

$$\sigma'_a = \sqrt{3 \cdot (k_f \cdot \tau_a)^2} = \sqrt{3 \cdot (1 \cdot 112.7)^2} = 195.2 \text{ MPa}$$

$$\sigma'_m = \sqrt{3 \cdot \tau_m^2} = \sqrt{3 \cdot 112.7^2} = 195.2 \text{ MPa}$$



El punt del diagrama on es troba la peça estudiada es pot observar en la Figura 2.100.

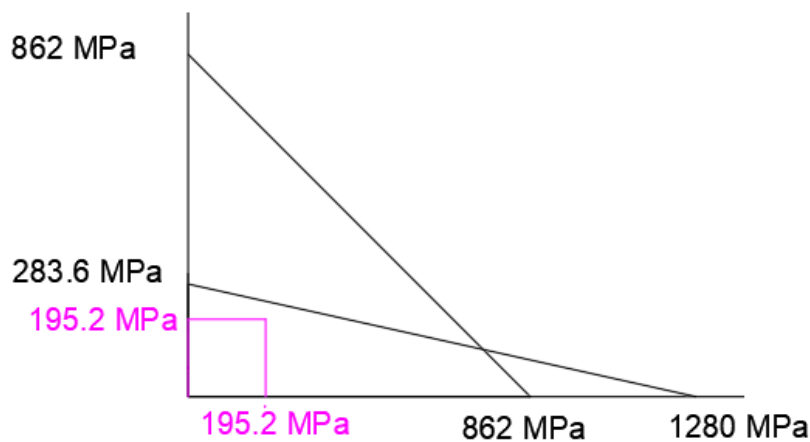


Fig. 2.100 Gràfic de resistència a la fatiga a vida infinita pel disseny final de la peça que trenca de l'AirBike. Font: pròpia

Per trobar el coeficient de seguretat C.S. es calcularà la relació que hi ha entre la distància que hi ha entre l'origen de coordenades i la línia del gràfic que uneix els valors del límit elàstic i la distància entre l'origen de coordenades i el punt que s'ha trobat per saber com està treballant la peça. Aquestes distàncies es poden veure en la Figura 2.101.

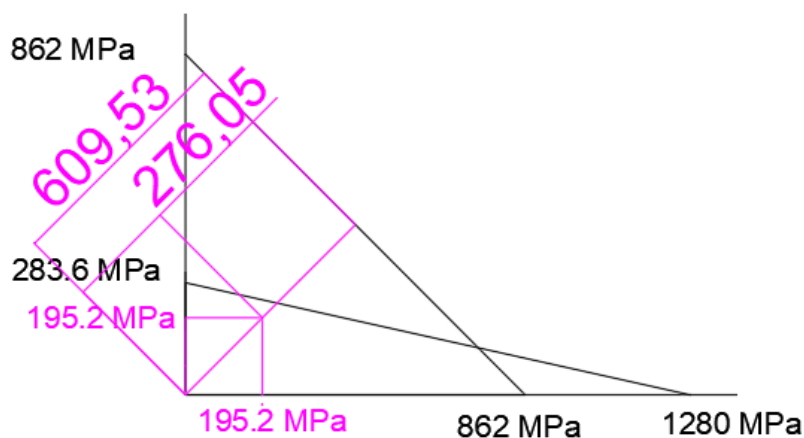


Fig. 2.101 Gràfic coeficient de seguretat a fatiga. Font: pròpia

Per tant el coeficient de seguretat de fatiga de la peça amb les noves dimensions serà el que es pot veure a continuació.



$$C.S = \frac{609.53}{276.05} = 2.2$$

Amb aquest coeficient de seguretat es pot assegurar que el disseny final escollit de la peça es adequat perquè aquesta no torni a trencar.

2.9.3. Càlcul de rodaments

En el disseny final de la AirBike hi ha tres rodaments. Un situat a la zona del pedal just en el punt on la biela s'uneix amb la resta del pedal, un altre situat en el punt on la biela i la part inferior del manillar s'uneixen i per últim un altre situat en el punt on el manillar i la bancada s'uneixen. Aquest últim és el mateix que hi havia en el disseny anterior a aquest projecte, per tant, només es farà el càlcul dels altres dos rodaments.

2.9.3.1. Vida útil dels rodaments

En aquest apartat es descriurà el procediment per calcular el temps de vida útil dels rodaments escollits en el treball. Es farà només el càlcul del rodament SKF 6006 i el rodament SKF W626. El rodament SKF 6003 ja formava part del model anterior i per tant no es farà el càlcul.

El procediment de càlcul dels rodaments es fa segons el procediment detallat en el catàleg WL 520/3 SB de la marca FAG. S'ha de tenir en compte que les capacitats de càrrega dinàmica i estàtica indicades en aquest catàleg són aplicables a rodaments d'acer al crom, amb el tractament tèrmic estàndard, només en el rang de temperatura de servei normal de fins a 100 °C i que la duresa mínima dels camins de rodadura i elements rodants és de 58 HRC.

2.9.3.1.1. Rodament SKF 6006

En primer lloc es fa el càlcul per la vida útil del rodament SKF 6006. Aquest és un rodament rígid de boles de 30 mil·límetres de diàmetre interior, 55 mil·límetres de diàmetre exterior i 13 mil·límetres d'ample.

En aquest cas el rodament té una càrrega axial i una de radial. Segons la Taula 2.9. de l'apartat 2.4, la càrrega radial d'aquest rodament (A_y) és de 4,37 N. Segons l'apartat 2.5 la càrrega axial és de 3,1905 kN.

A continuació es procedeix a fer les comprovacions indicades en la Figura 2.102.

Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

$$P_0 = F_r \quad [\text{kN}] \text{ para } \frac{F_a}{F_r} \leq 0,8$$

$$P_0 = 0,6 \cdot F_r + 0,5 \cdot F_a \quad [\text{kN}] \text{ para } \frac{F_a}{F_r} > 0,8$$

Fig. 2.102 Formules comprovacions pel càlcul de rodaments. Font: Rodamientos FAG

En aquest cas, la divisió entre la càrrega axial i la radial dona un valor major a 0,8. Per tant s'aplica l'equació (2.45).

$$P_0 = 0,6 \cdot F_r + 0,5 \cdot F_a \quad (2.45)$$

Així doncs, P_0 té el següent valor:

$$P_0 = 0,6 \cdot 4,37 \cdot 10^{-3} + 0,5 \cdot 3,1905 = 1,6 \text{ kN}$$

Per calcular el factor de seguretat del rodament sota càrrega estàtica s'aplica l'equació (2.46).

$$f_s = \frac{C_0}{P_0} \quad (2.46)$$

En el cas d'aquest rodament la capacitat de càrrega estàtica és de 12,7 kN tal i com es pot comprovar en Taula 2.21.

Taula 2.21 Especificacions tècniques del rodament rígid de boles 6006. Font: Rodamientos FAG

30	55	9	0,3	47,5	48,8	37,7	0,082	11,2	7,35	16000	12000	16006
30	55	13	1	47,2	49,2	38,3	0,122	12,7	8	32000	15000	6006
30	55	13	1	47,2	49,2	38,3	0,109	12,7	8	32000	15000	6006 W203B
30	55	13	1	47,2	49,2	38,3	0,125	12,7	8	13000	15000	6006 ZTA
30	55	13	1	47,2	49,2	38,3	0,125	12,7	8	8500	15000	6006 ZFSR

Si s'aplica l'equació (2.46) s'obté el següent valor pel factor de seguretat:

$$f_s = \frac{C_0}{P_0} = \frac{12,7}{1,6} = 7,93$$

Ara es busca quina és la càrrega dinàmica equivalent. Per fer això s'aplica l'equació (2.47).

$$P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a \quad (2.47)$$

Els factors X i Y es troben tabulats en la Taula 2.22.

Taula 2.22 Valors dels paràmetres X i Y pel càlcul de la càrrega dinàmica equivalent. Font: Rodamientos FAG.

Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

Juego normal de rodamiento					
$\frac{f_o \cdot F_a}{C_o}$	e	$\frac{F_a}{F_r} \leq e$		$\frac{F_a}{F_r} > e$	
		X	Y	X	Y
0,3	0,22	1	0	0,56	2
0,5	0,24	1	0	0,56	1,8
0,9	0,28	1	0	0,56	1,58
1,6	0,32	1	0	0,56	1,4
3	0,36	1	0	0,56	1,2
6	0,43	1	0	0,56	1

Amb la Taula 2.23 es pot extreure el valor de f_o . En el cas del rodament 6006 el valor d'aquest factor és de 14,8.

Taula 2.23 Factor f_o per rodaments rígids de boles. Font: Rodamientos FAG.

Número característico del agujero	Factor f_o									
	Serie de rodamientos 618	160	161	60	62	622	63	623	64	
3						12,9				
4						12,2			13,2	
5						13,2			13	
6						13				
7					13	12,4				
8					12,4	13				
9					13	12,4				
00					12,4	12,1			11,3	
01			12,4		13	12,3	12,2		11,1	
02		13,9			13,9	13,1	13,1	12,1	12,1	
03		14,3		14,3	13,1	13,1	12,3	12,2	12,4	
04		14,9		13,9	13,1	13,1	12,4	12,1	11	
05		15,4		14,5	13,8	13,8	12,4	12,4	12,1	
06		15,2		14,8	13,8	13,8	13	13	12,2	
07		15,6		14,8	13,8	13,8	13,1	13,1	12,1	
08		16		15,3	14	14	13	13	12,2	
09		15,9		15,4	14,3	14,1	13	13	12,1	
10		16,1		15,6	14,3	14,3	13	13	13,1	
11		16,1		15,4	14,3		12,9		13,2	
12		16,3		15,5	14,3		13,1		13,2	
13		16,4		15,7	14,3		13,2		12,3	
14		16,2		15,5	14,4		13,2		12,1	
15		16,4		15,7	14,7		13,2		12,2	
16		16,4		15,6	14,6		13,2		12,3	
17		16,4		15,7	14,7		13,1		12,3	
18		16,3		15,6	14,5		13,9		12,2	
19		16,5		15,7	14,4		13,9			
20		16,5		15,9	14,4		13,8			
21		16,3		15,8	14,3		13,8			
22		16,3		15,6	14,3		13,8			
24		16,5		15,9	14,8		13,5			
26		16,4		15,8	14,5		13,6			
28		16,5		16	14,8		13,6			
30		16,4		16	15,2		13,7			
32		16,5		16	15,2		13,9			
34		16,4		15,7	15,3		13,9			
36		16,3		15,6	15,3		13,9			
38		16,4		15,8	15		14			
40		16,3		15,6	15,3		14,1			
44		16,3		15,6	15,2		14,1			
48		16,5		15,8	15,2		14,2			
52		16,4		15,7	15,2					
56		16,5		15,9	15,3					
60		16,4		15,7						
64	15,9	16,5		15,9						
68	15,9	16,3		15,8						
72	15,8	16,4		15,9						
76	16	16,5								
80	15,9									
84	15,9									
88	15,8									
92	16									
96	16									
/500	15,9									
/530	15,9									

Es procedeix doncs a fer el càlcul de la l'equació (2.48).

$$\frac{f_o \cdot F_a}{C_o} \quad (2.48)$$

El valor d'aquesta equació (2.48) pel rodament 6006 és de 3,81. Per tant el valor de e que s'escull és el de 0,36. Com que el valor de F_a/F_r és més gran que e, s'agafen els valors de X i Y de 0,56 i 1 respectivament.

Per tant, el valor de la carrega dinàmica equivalent és:

$$P = 0,56 \cdot 4,37 \cdot 10^{-3} + 1 \cdot 3,1905 = 3,19 \text{ kN}$$



Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

El càlcul de vida es calcula a partir de la l'equació (2.49).

$$L_{10} = L = \left(\frac{C}{P}\right)^P [10^6 \text{revolucions}] \quad (2.49)$$

On P és 3 per a rodaments de boles.

Aplicant els valors trobats anteriorment s'obté el següent resultat de l'equació

$$L = \frac{12,4^3}{3,19} = 58,7 \cdot 10^6 \text{revolucions}$$

S'aplica l'equació (2.49) per conèixer el valor en hores de la vida útil.

$$L_H = \frac{L \cdot 10^6}{n \cdot 60}$$

El resultat d'aplicar aquesta equació és el següent:

$$L_H = \frac{L \cdot 10^6}{n \cdot 60} = \frac{58,7 \cdot 10^6}{642 \cdot 60} = 1523 \text{ h}$$

Aquestes hores són les que duraria el rodament 6006 si s'anés sempre a la velocitat trobada per l'atleta quan revoluciona la AirBike al 100%. És a dir a una velocitat de 10,71 rad/s.

2.9.3.1.2. Rodament SKF 626

En primer lloc es fa el càlcul per la vida útil del rodament SKF 626. Aquest és un rodament rígid de boles de 19 mil·límetres de diàmetre interior, 6 mil·límetres de diàmetre exterior i 6 mil·límetres d'ample.

En aquest cas el rodament té només una càrrega radial. Segons la Taula 2.9 de l'apartat 2.4, la càrrega radial d'aquest rodament (Cy) és de 5,26 N.

A continuació es procedeix a fer les comprovacions indicades en Figura 2.103.

$$P_0 = F_r \quad [\text{kN}] \text{ para } \frac{F_a}{F_r} \leq 0,8$$

$$P_0 = 0,6 \cdot F_r + 0,5 \cdot F_a \quad [\text{kN}] \text{ para } \frac{F_a}{F_r} > 0,8$$

Fig. 2.103 Formules comprovacions pel càlcul de rodaments. Font: Rodamientos FAG



Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

En aquest cas, la divisió entre la càrrega axial i la radial dona un valor menor a 0,8. Per tant s'aplica l'equació (2.50).

$$P_o = Fr \quad (2.50)$$

Així doncs, P_o té el següent valor:

$$P_o = 5,26 \text{ N}$$

Per calcular el factor de seguretat del rodament sota càrrega estàtica s'aplica l'equació (2.51).

$$f_s = \frac{C_o}{P_o} \quad (2.51)$$

En el cas d'aquest rodament la capacitat de càrrega estàtica és de 1,04 kN tal i com es pot comprovar en la Taula 2.24.

Taula 2.24 Especificacions tècniques del rodament rígid de boles 626. Font: Rodamientos FAG

6	6	19	6	0,3	15,5	16,7	10,6	0,008	2,55	1,04	30000	30000	626	6,4	16,6	0,3
6	19	6	0,3	15,5	16,7	10,6	0,008	2,55	1,04	30000	30000	626	6,4	16,6	0,3	
6	19	6	0,3	15,5	16,7	10,6	0,008	2,55	1,04	22000		626 2RS	6,4	16,6	0,3	

Si s'aplica la l'equació (2.51) s'obté el següent valor pel factor de seguretat:

$$f_s = \frac{C_o}{P_o} = \frac{1,04}{5,26} = 0,2$$

Ara es busca quina és la càrrega dinàmica equivalent. Per fer això s'aplica l'equació (2.52)

$$P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a \quad (2.52)$$

Els factors X i Y es troben tabulats en la taula de la Taula 2.25.

Taula 2.25 Valors dels paràmetres X i Y pel càlcul de la càrrega dinàmica equivalent. Font: Rodamientos FAG.



Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

Juego normal de rodamiento					
$\frac{f_0 \cdot F_r}{C_0}$	e	$\frac{F_a}{F_r} \leq e$		$\frac{F_a}{F_r} > e$	
		X	Y	X	Y
0,3	0,22	1	0	0,56	2
0,5	0,24	1	0	0,56	1,8
0,9	0,28	1	0	0,56	1,58
1,6	0,32	1	0	0,56	1,4
3	0,36	1	0	0,56	1,2
6	0,43	1	0	0,56	1

En aquest cas, com que la força F_a és zero, els valors de X i Y són 1 i 0 respectivament.

Per tant, el valor de la carrega dinàmica equivalent és:

$$P = 1 \cdot 5,26 \cdot 10^{-3} = 5,26 \cdot 10^{-3} \text{ kN}$$

El càlcul de vida es calcula a partir de l'equació (2.53).

$$L_{10} = L = \left(\frac{C}{P}\right)^P [10^6 \text{ revolucions}] \quad (2.53)$$

On P és 3 per a rodaments de boles.

Aplicant els valors trobats anteriorment s'obté el següent resultat de l'equació (2.53).

$$L = \frac{1,04^3}{5,26 \cdot 10^{-3}} = 7729346 \cdot 10^6 \text{ revolucions}$$

S'aplica l'equació (2.53) per conèixer el valor en hores de la vida útil.

$$L_H = \frac{L \cdot 10^6}{n \cdot 60}$$

El resultat d'aplicar aquesta equació és el següent:

$$L_H = \frac{L \cdot 10^6}{n \cdot 60} = \frac{7729346 \cdot 10^6}{642 \cdot 60} = 200657995 \text{ h}$$

Aquestes hores són les que duraria el rodament 626 si s'anés sempre a la velocitat trobada per l'atleta quan revoluciona la AirBike al 100%. És a dir a una velocitat de 10,71 rad/s. Així doncs el rodament aguantaria a vida infinita.



Treball de Fi de Grau
Enginyeria Mecànica



**Millora del disseny del pedal d'una
Assault Bike
Treball Fi de Grau**

Document 4: Plànols

Autor: Alba Sanabra Miquel
Director: Iván García Sierra
Data: Gener 2023



ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR
D'ENGINYERIA QUÍMICA
Universitat Rovira i Virgili

etsEQ

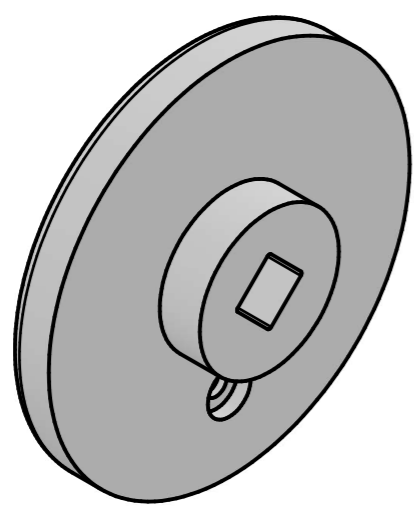
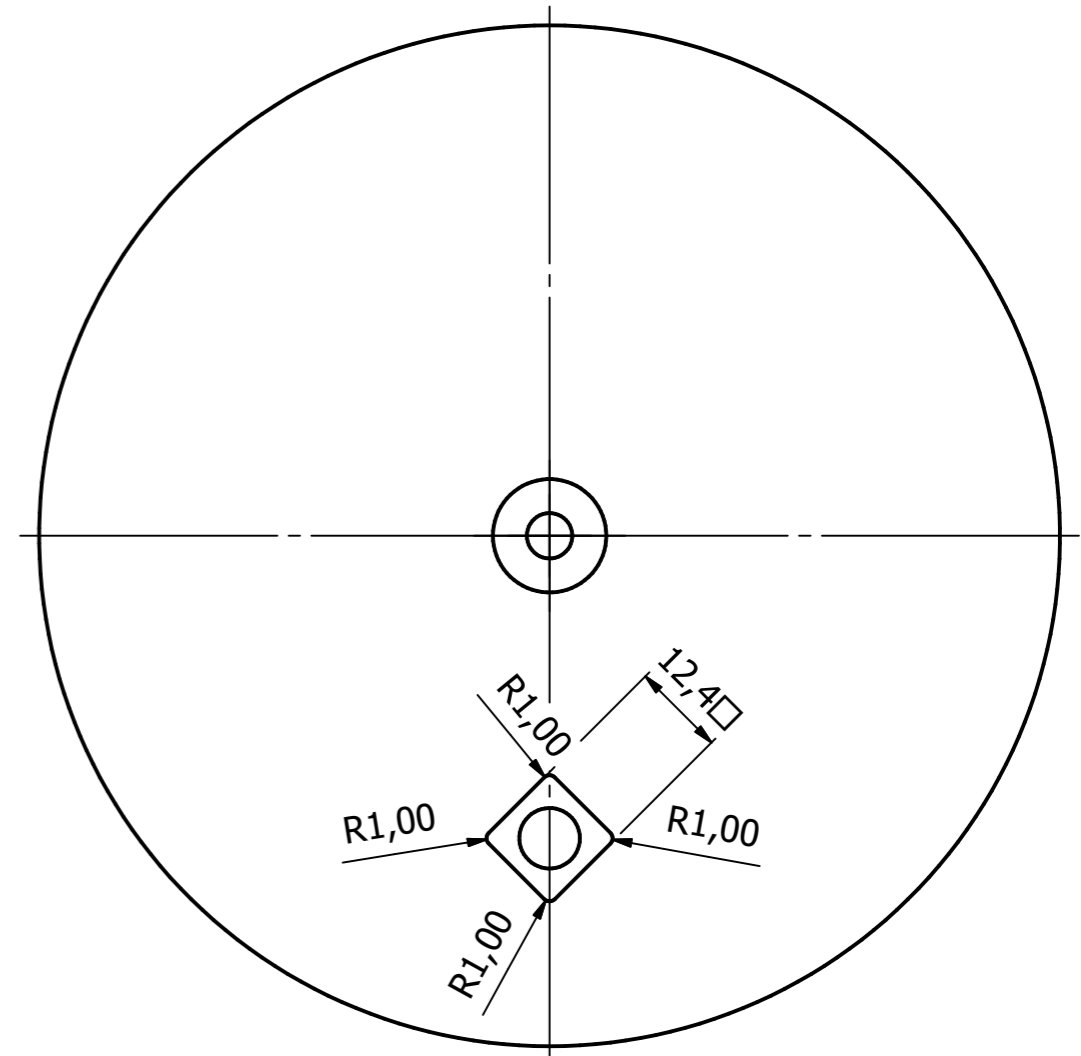
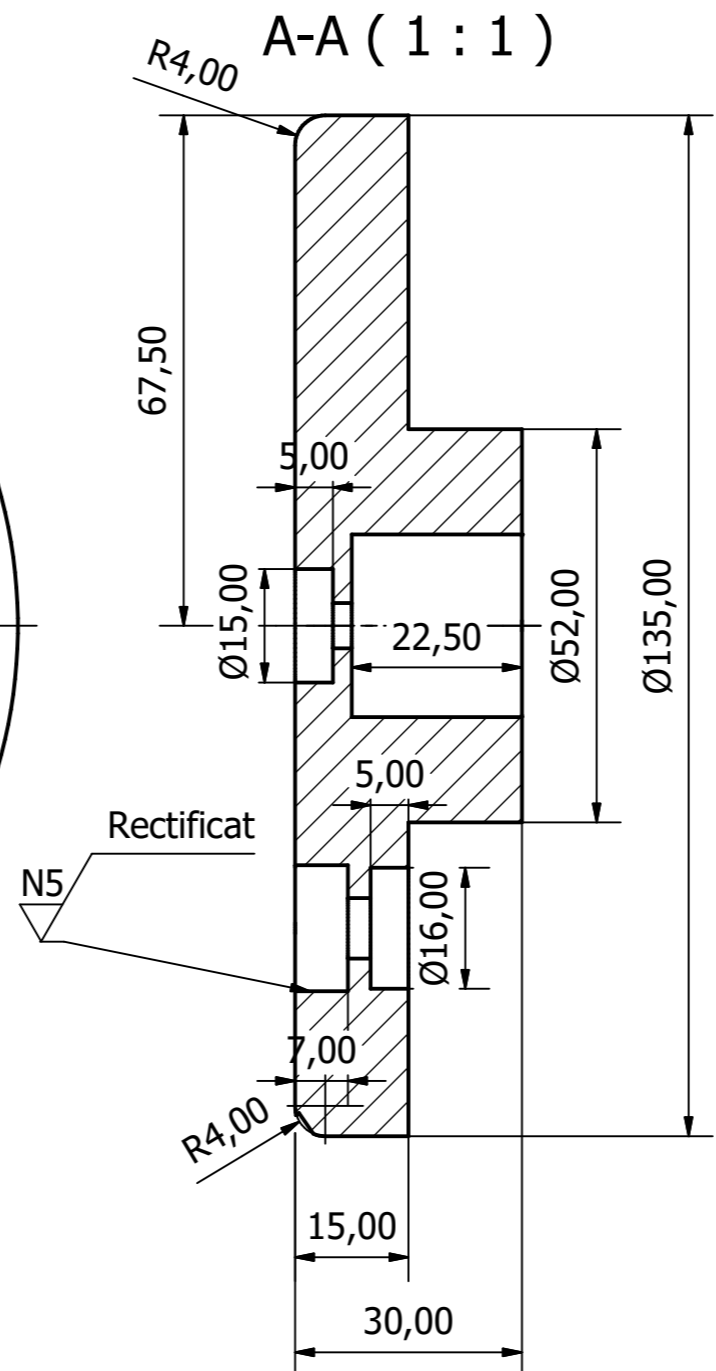
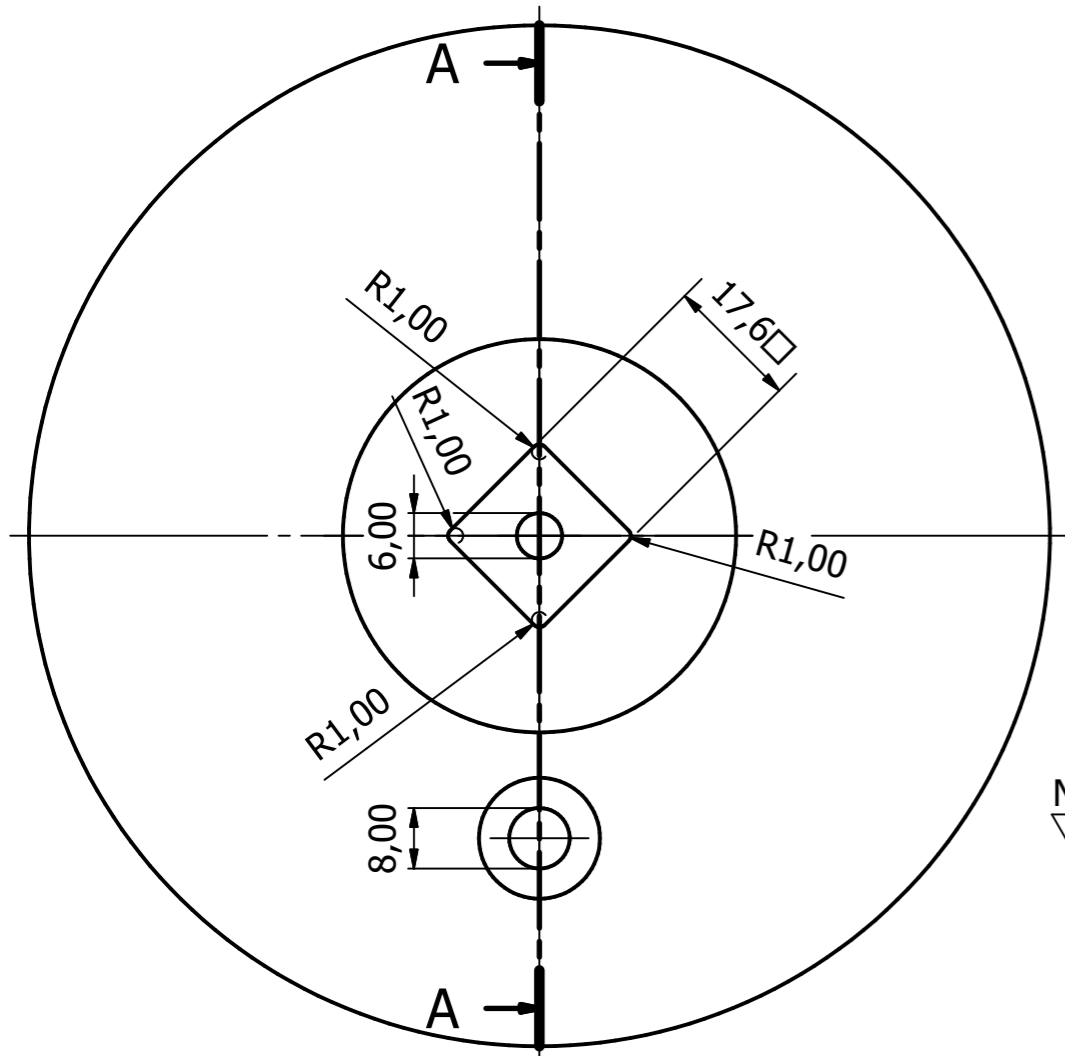
3. PLÀNOLS	2
Plànol 1: Disc pedal.....	3
Plànol 2: Acoblament biela.....	4
Plànol 3: Eix unió pedal.....	5
Plànol 4: Pedal.....	6
Plànol 5: Extrem pedal.....	7
Plànol 6: Biela.....	8
Plànol 7: Eix.....	9
Plànol 8: Manillar esquerre.....	10
Plànol 9: Manillar dret.....	11
Plànol 10: Conjunt AirBike.....	12
Plànol 11: Explosionat.....	13
Plànol 12: Subconjunt pedal.....	14
Plànol 13: Subconjunt biela-manillar.....	15





Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

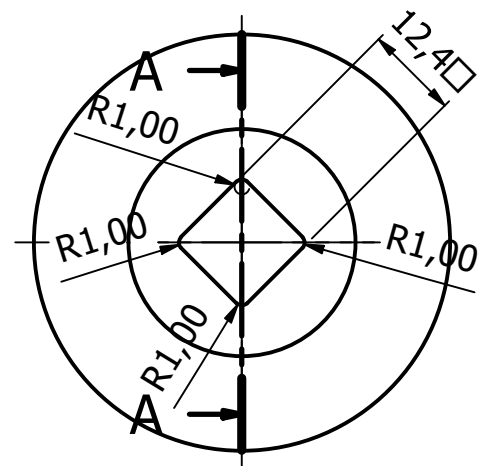
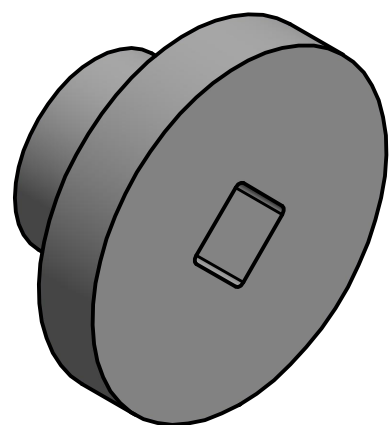
3. PLÀNOLS



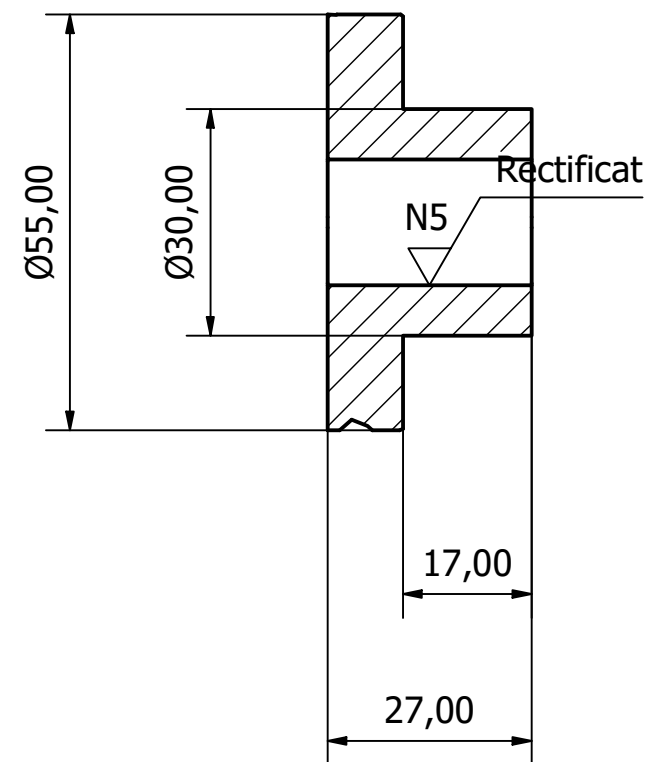


Arrodoniment d'1 mm de les arestes i cantos vius
 N6 / A totes les superfícies excepte les indicades amb un altre acabat superficial

Disseny de Alba Sanabra Miquel	Revisat per Iván García	Aprobat per Iván García	Data 21/12/2022	Convocatòria: Gener CURS 2022/23	Data de creació 20/12/2022	Escala 1:1	Format A3
 GRAU ENGINYERIA MECÀNICA		 UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI		DISC PEDAL			
Títol del treball: Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike				Núm. plànol 1	Full 1/1		



A-A (1 : 1)

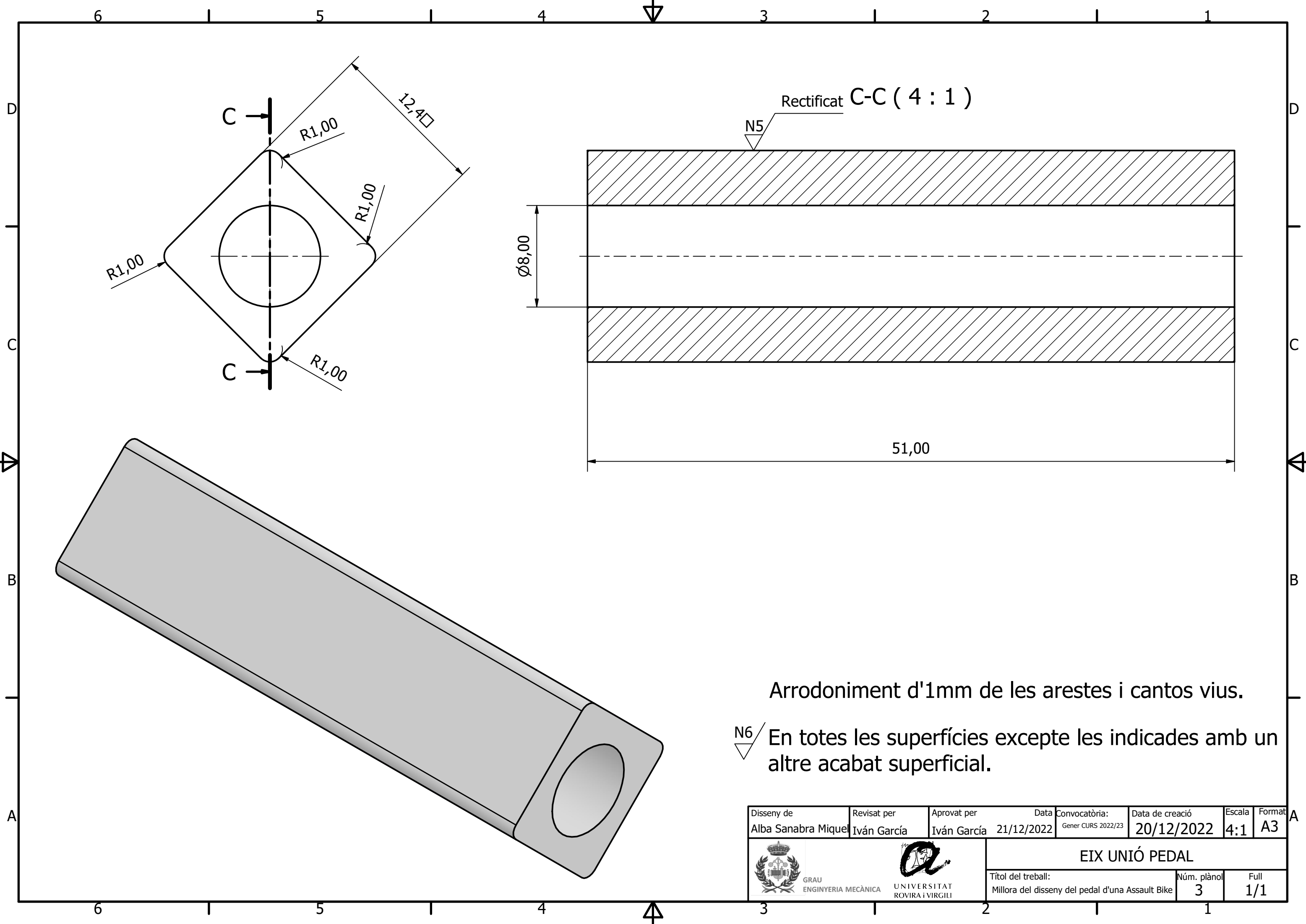


Arrodoniment d'1 mm de les arestes i cantos vius.



En totes les superfícies excepte les indicades amb un altre acabat superficial.

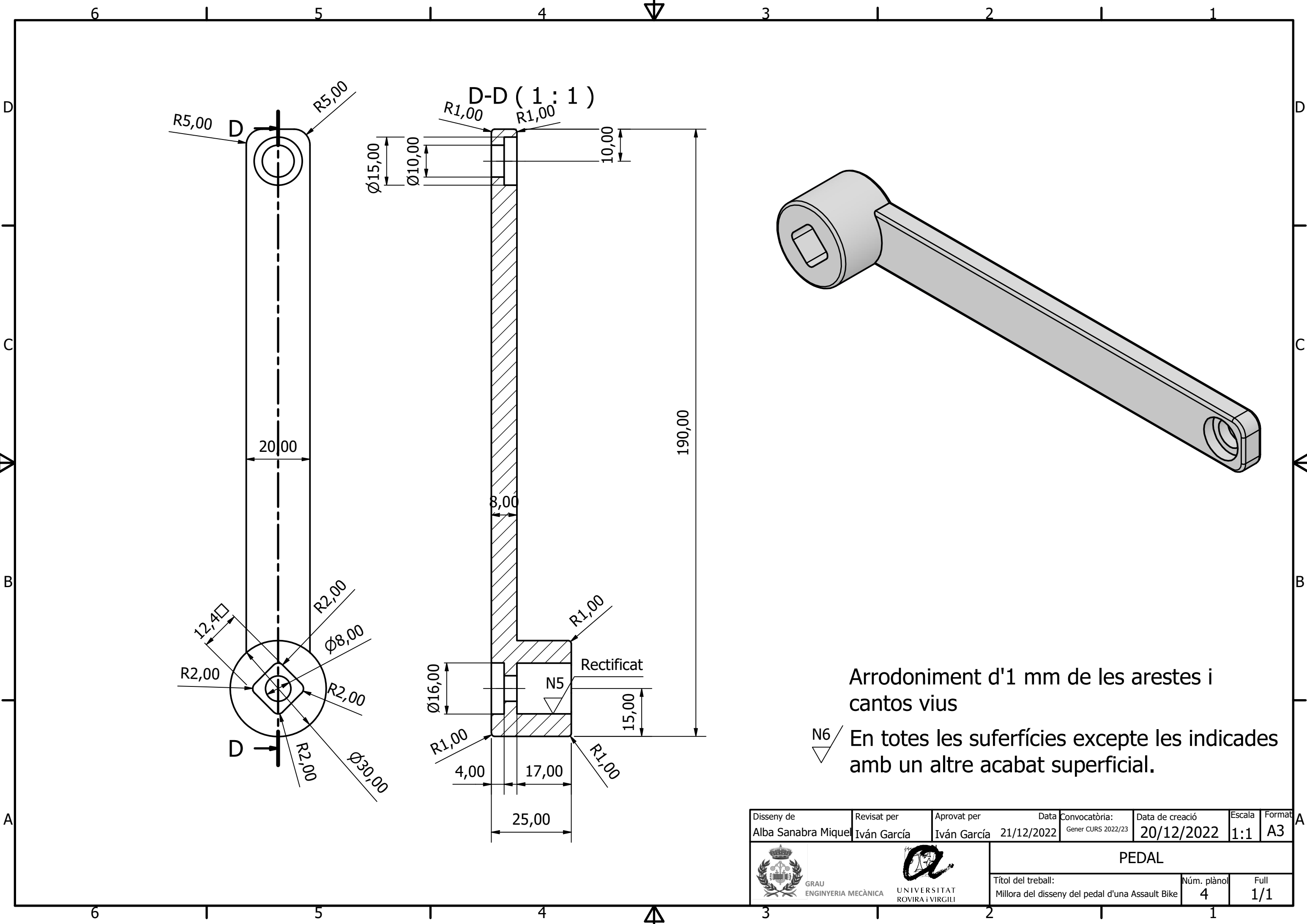
Disseny de Alba Sanabra Mique	Revisat per Iván García	Aprovat per Iván García	Data 21/12/2022	Convocatòria: Gener CURS 2022/23	Data de creació 20/12/2022	Escala 1:1	Format A3
 GRAU ENGINYERIA MECÀNICA		 UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI		ACOBLAMENT BIELA			
Títol del treball: Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike					Núm. plànol 2	Full 1/1	




Arrodoniment d'1mm de les arestes i cantos vius.

N6/ En totes les superfícies excepte les indicades amb un altre acabat superficial.

Disseny de Alba Sanabra Mique	Revisat per Iván García	Aprovat per Iván García	Data 21/12/2022	Convocatòria: Gener CURS 2022/23	Data de creació 20/12/2022	Escala 4:1	Format A3
 GRAU ENGINYERIA MECÀNICA		 UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI		EIX UNIÓ PEDAL			
Títol del treball: Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike					Núm. plànol 3	Full 1/1	



Disseny de Alba Sanabra Mique	Revisat per Iván García	Aprovat per Iván García	Data 21/12/2022	Convocatòria: Gener CURS 2022/23	Data de creació 20/12/2022	Escala 1:1	Format A3
 GRAU ENGINYERIA MECÀNICA				 UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI		PEDAL	
Títol del treball: Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike					Núm. plànol 4	Full 1/1	

6 5 4 3 2 1

D

D

C

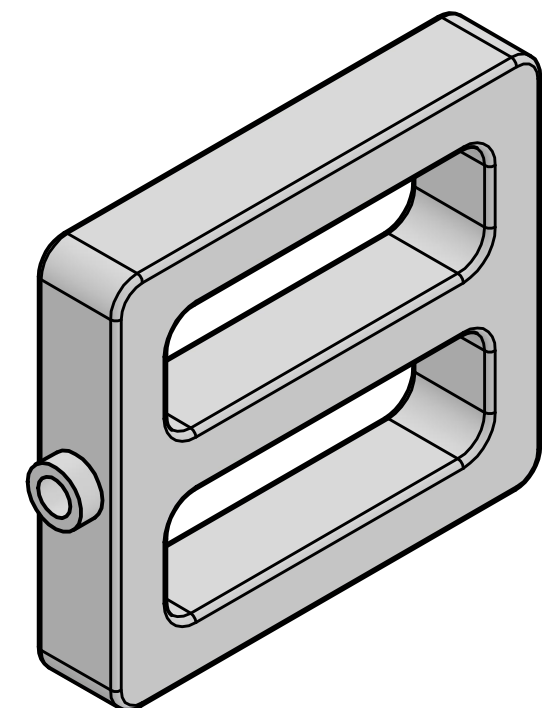
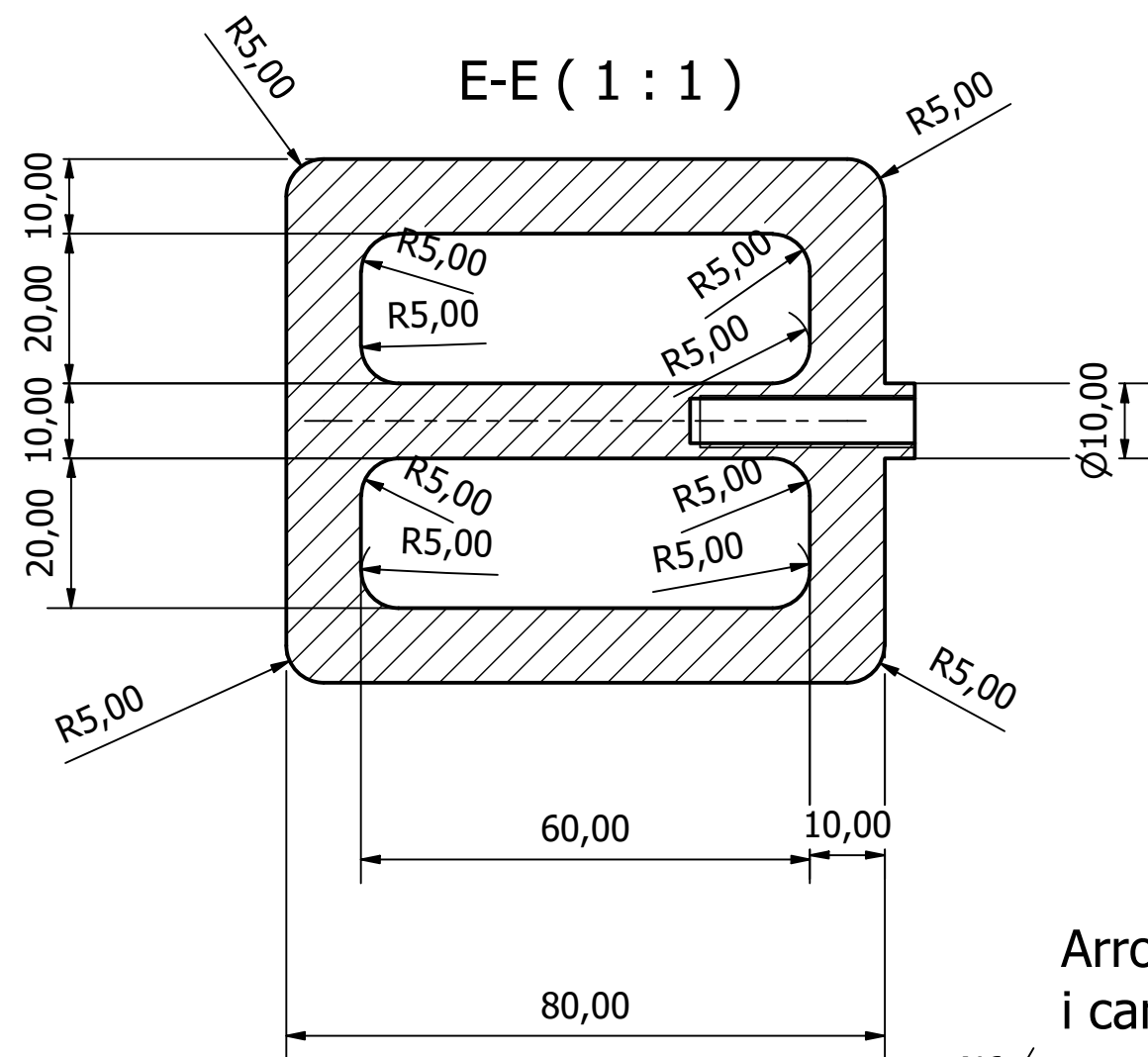
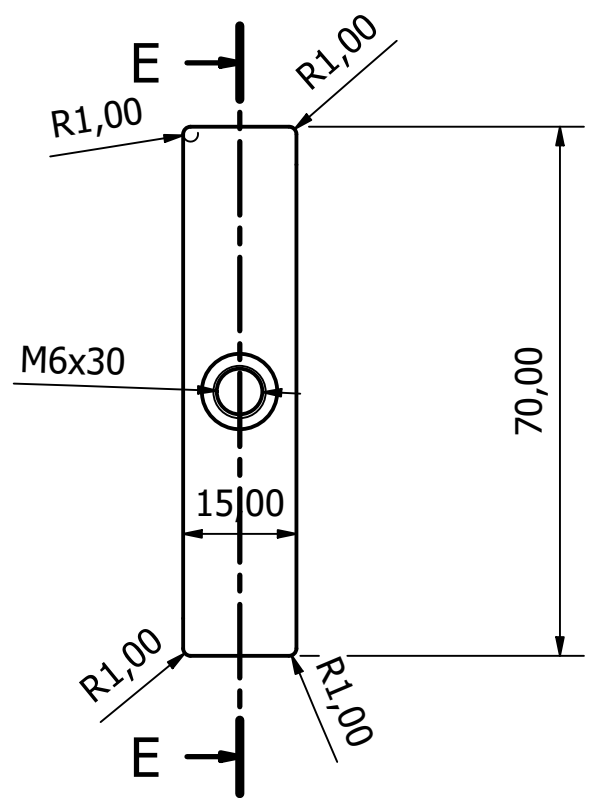
C

B

B

A


A



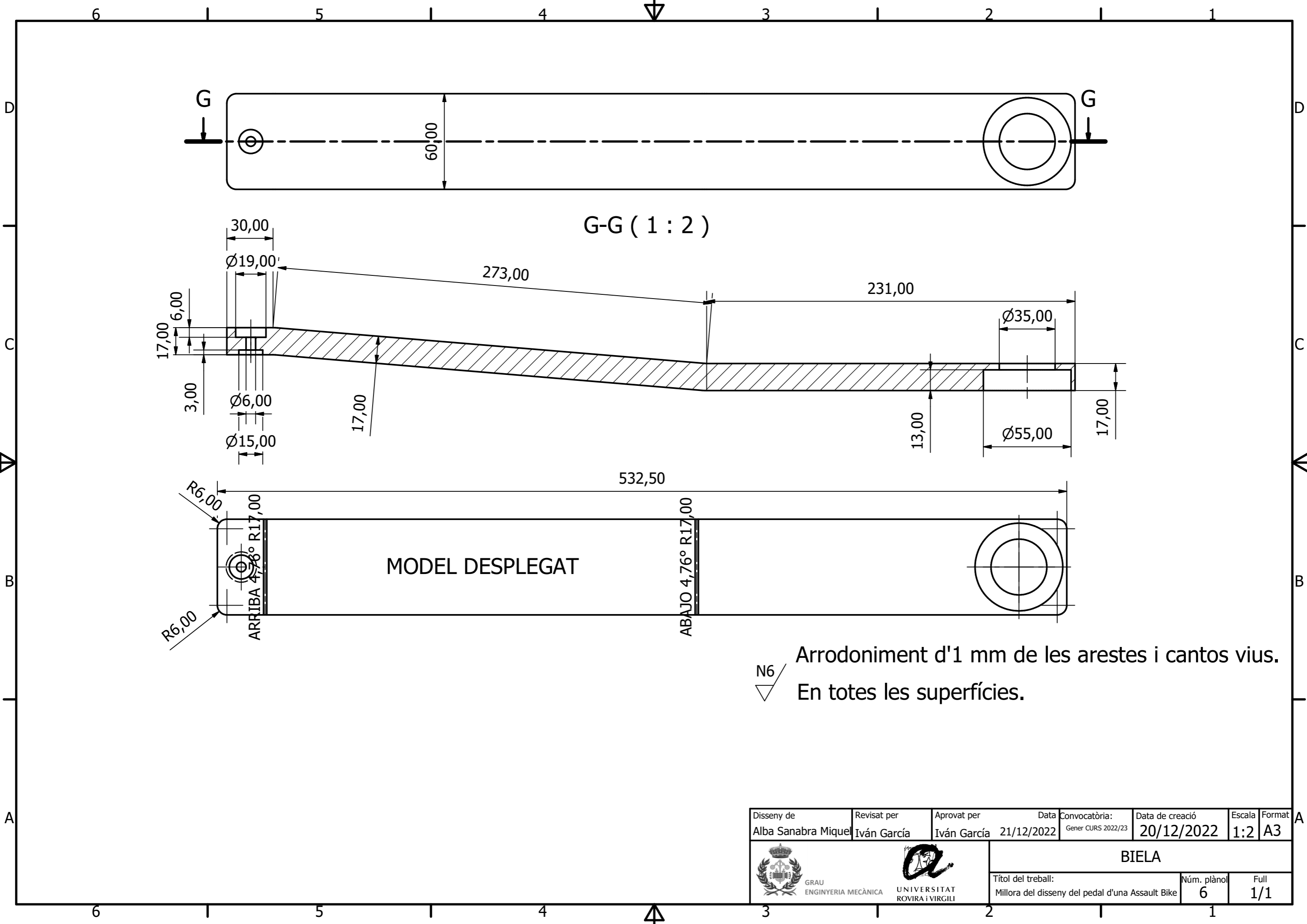
Arrodoniment d'1 mm de totes les arestes i cantos vius.



En totes les superfícies.

Disseny de Alba Sanabra Miquel	Revisat per Iván García	Aprovat per Iván García	Data 21/12/2022	Convocatòria: Gener CURS 2022/23	Data de creació 20/12/2022	Escala 1:1	Format A3
 GRAU ENGINYERIA MECÀNICA		 UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI		EXTREM PEDAL			
Títol del treball: Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike					Núm. plànol 5	Full 1/1	



6 5 4 3 2 1

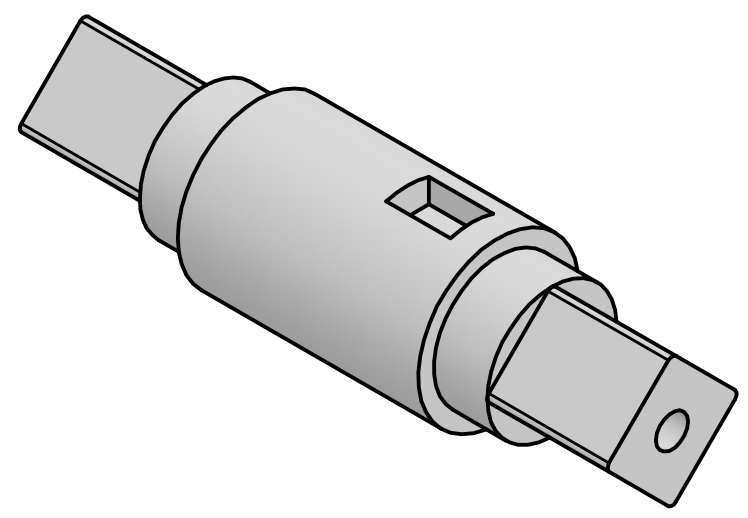
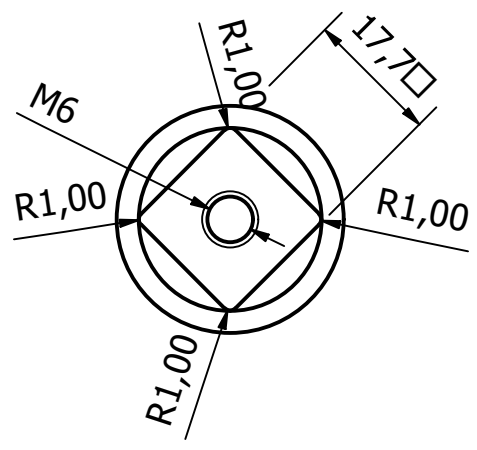
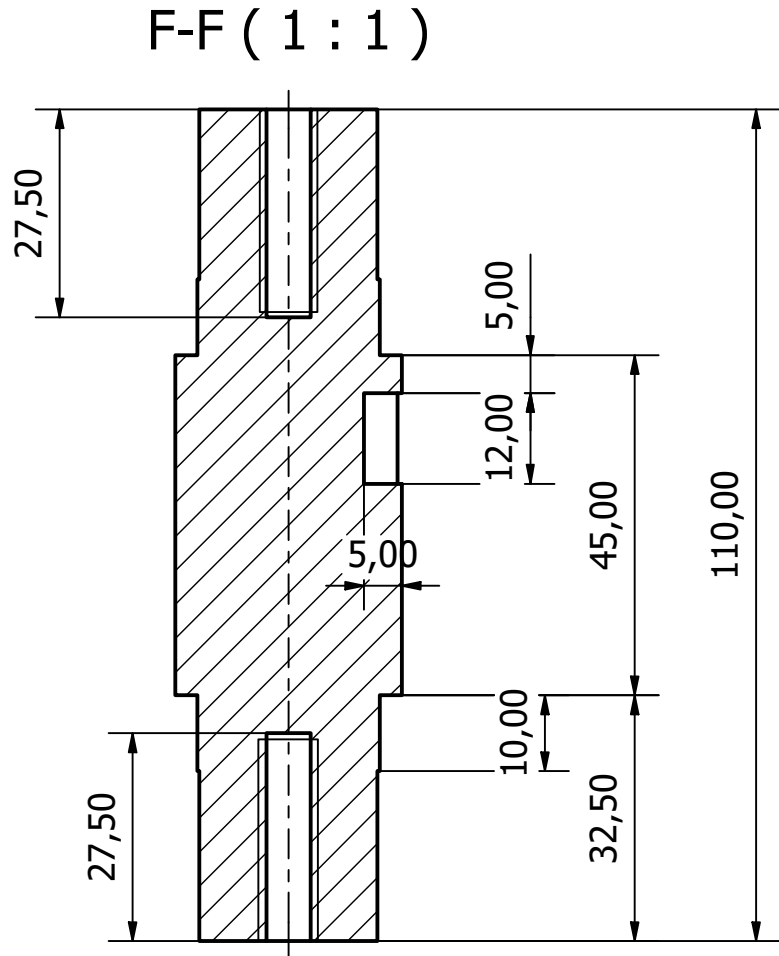
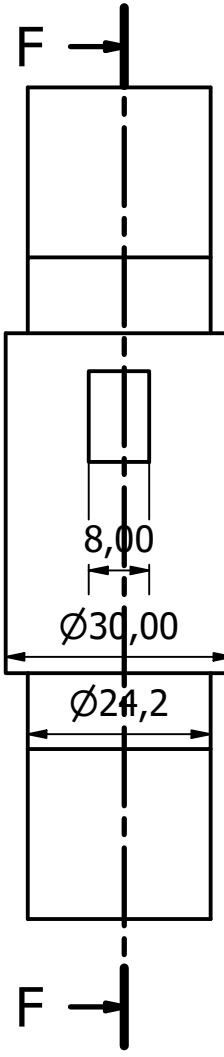
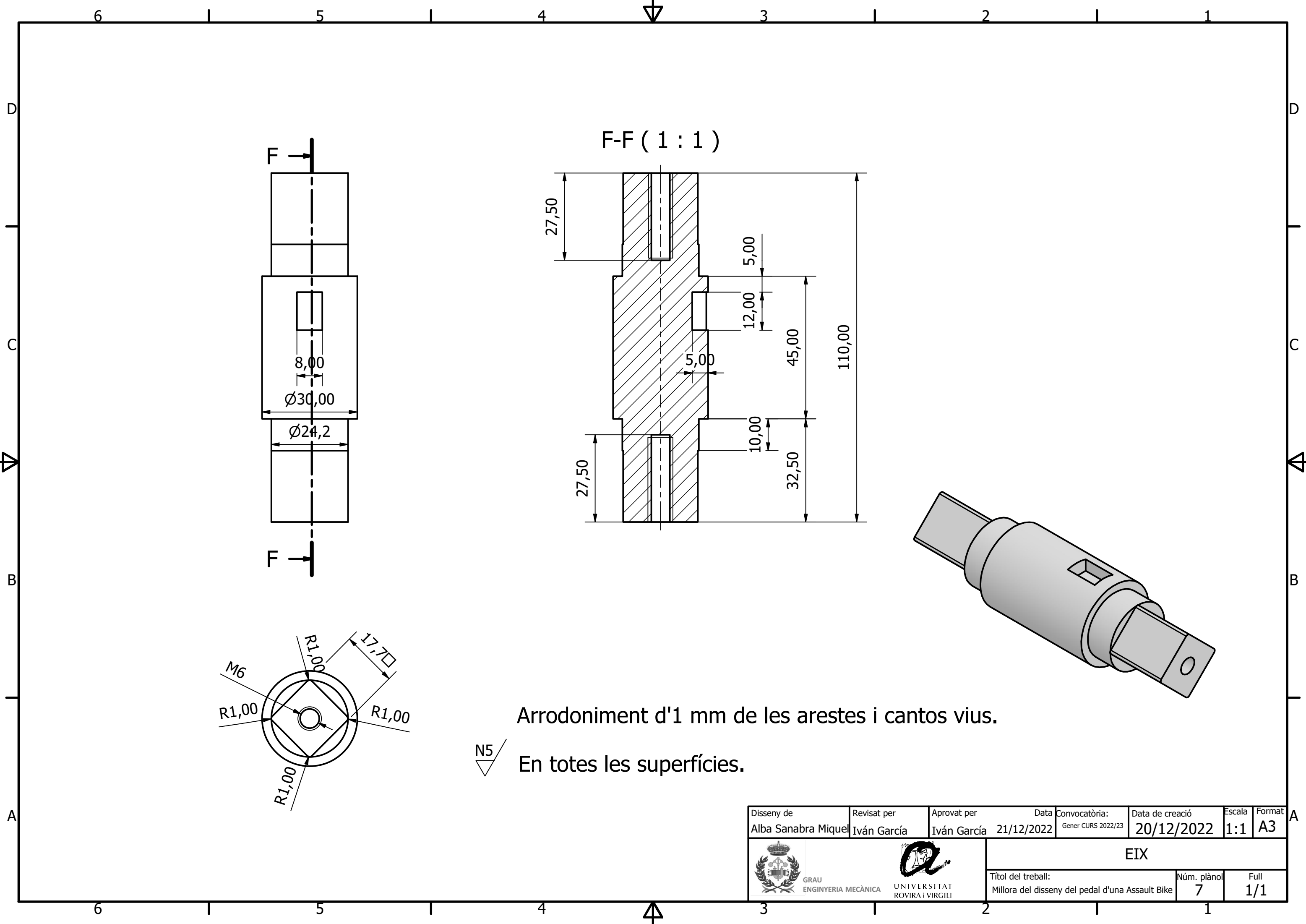


G-G (1 : 2)

MODEL DESPLEGAT

N6
 Arrodoniment d'1 mm de les arestes i cantos vius.
 En totes les superfícies.

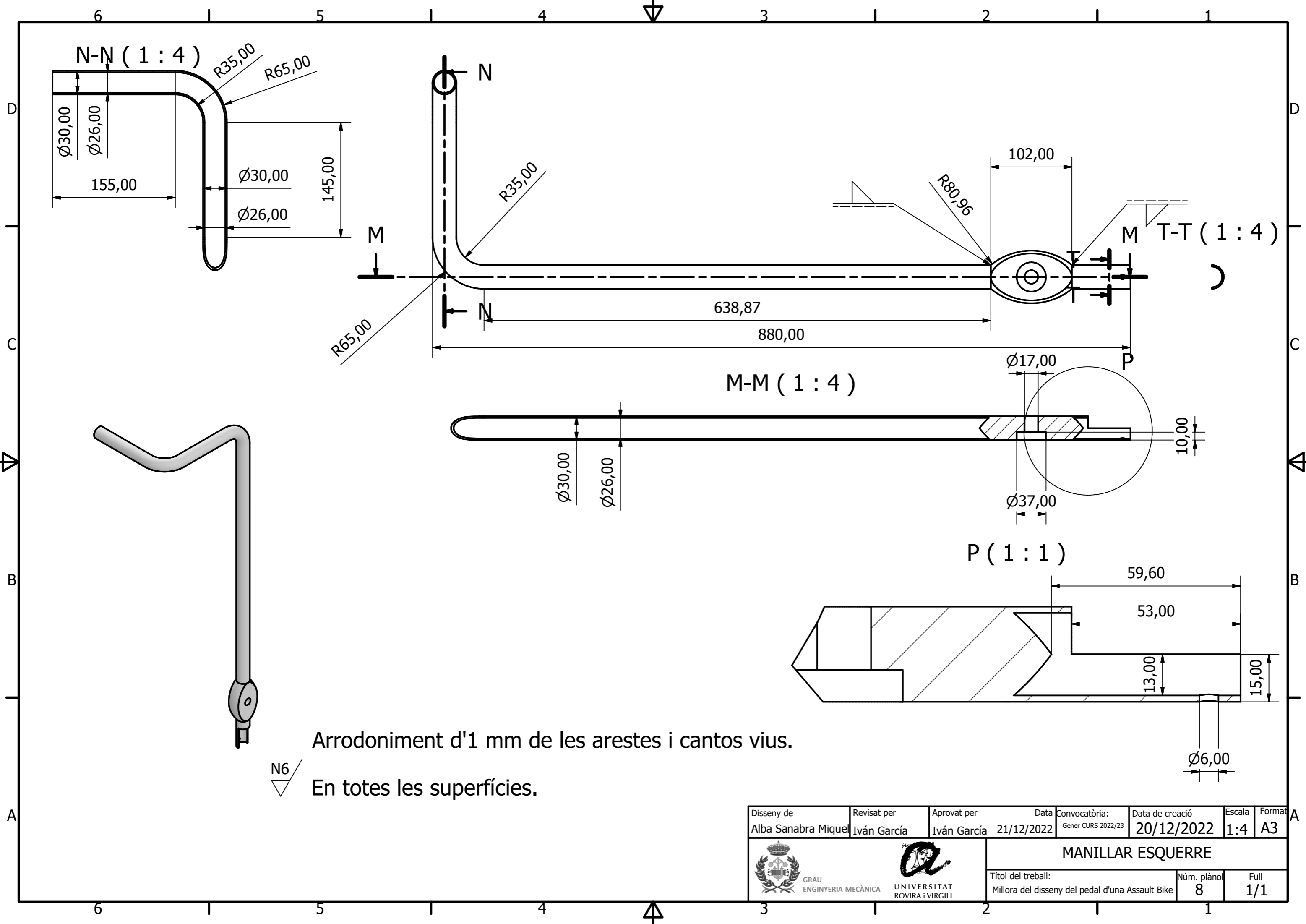
Disseny de Alba Sanabra Miquel	Revisat per Iván García	Aprovat per Iván García	Data 21/12/2022	Convocatòria: Gener CURS 2022/23	Data de creació 20/12/2022	Escala 1:2	Format A3
 				BIELA			
Títol del treball: Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike					Núm. plànol 6	Full 1/1	



Arrodoniment d'1 mm de les arestes i cantos vius.



N5
En totes les superfícies.

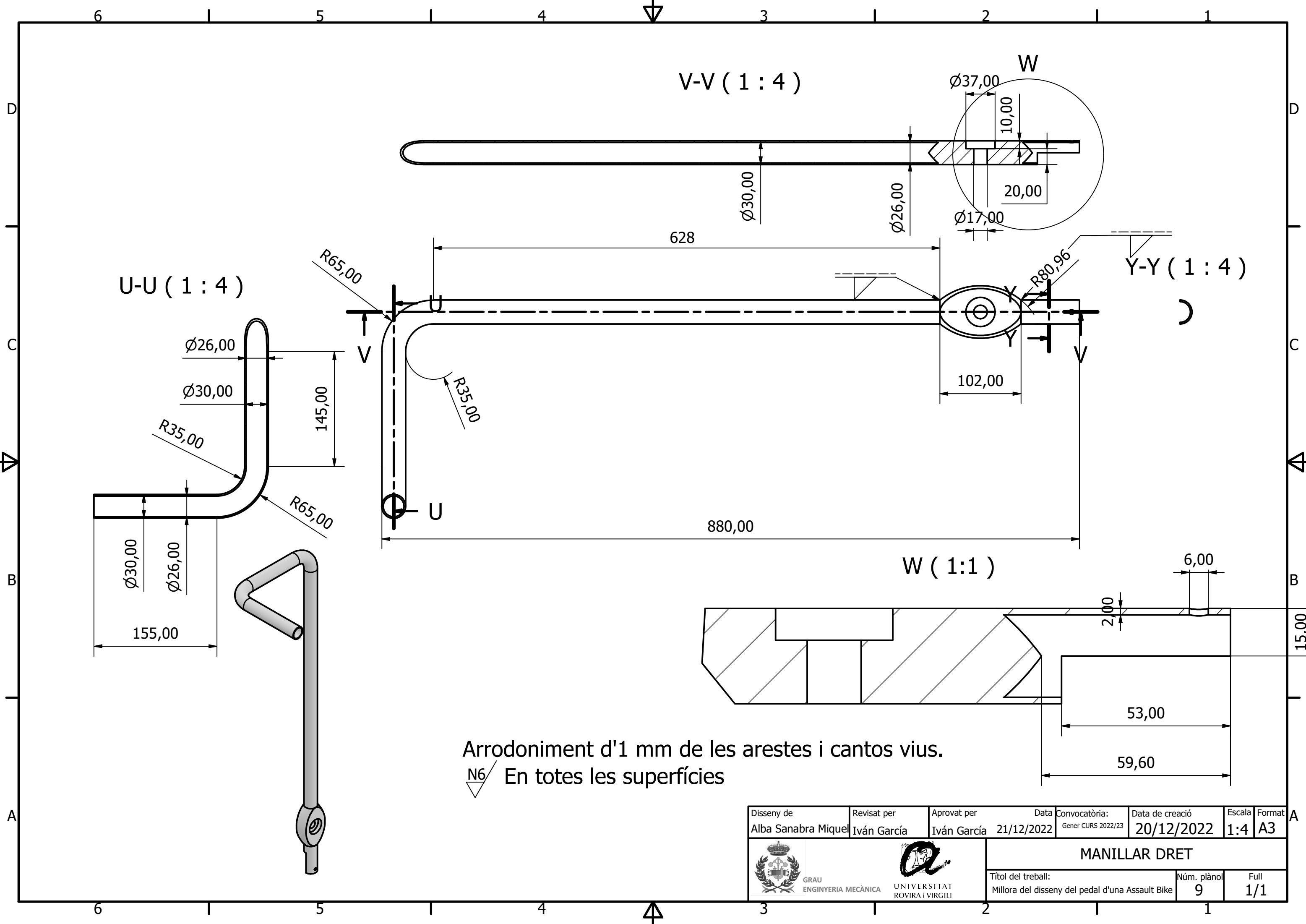
Disseny de Alba Sanabra Mique	Revisat per Iván García	Aprovat per Iván García	Data 21/12/2022	Convocatòria: Gener CURS 2022/23	Data de creació 20/12/2022	Escala 1:1	Format A3
 				EIX			
Títol del treball: Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike					Núm. plànol 7	Full 1/1	



Arrodoniment d'1 mm de les arestes i cantos vius.

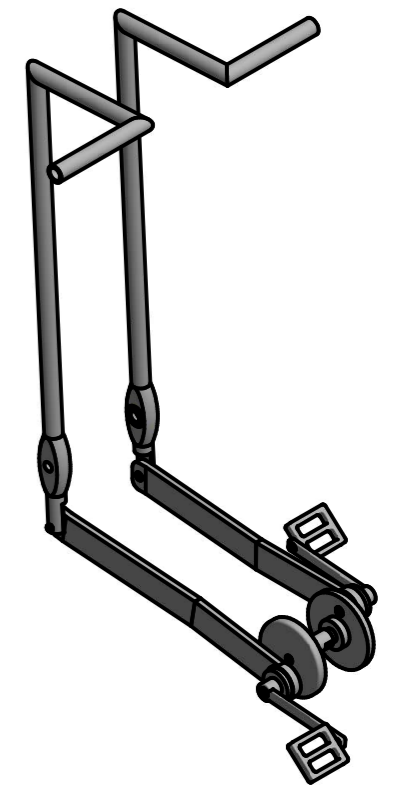
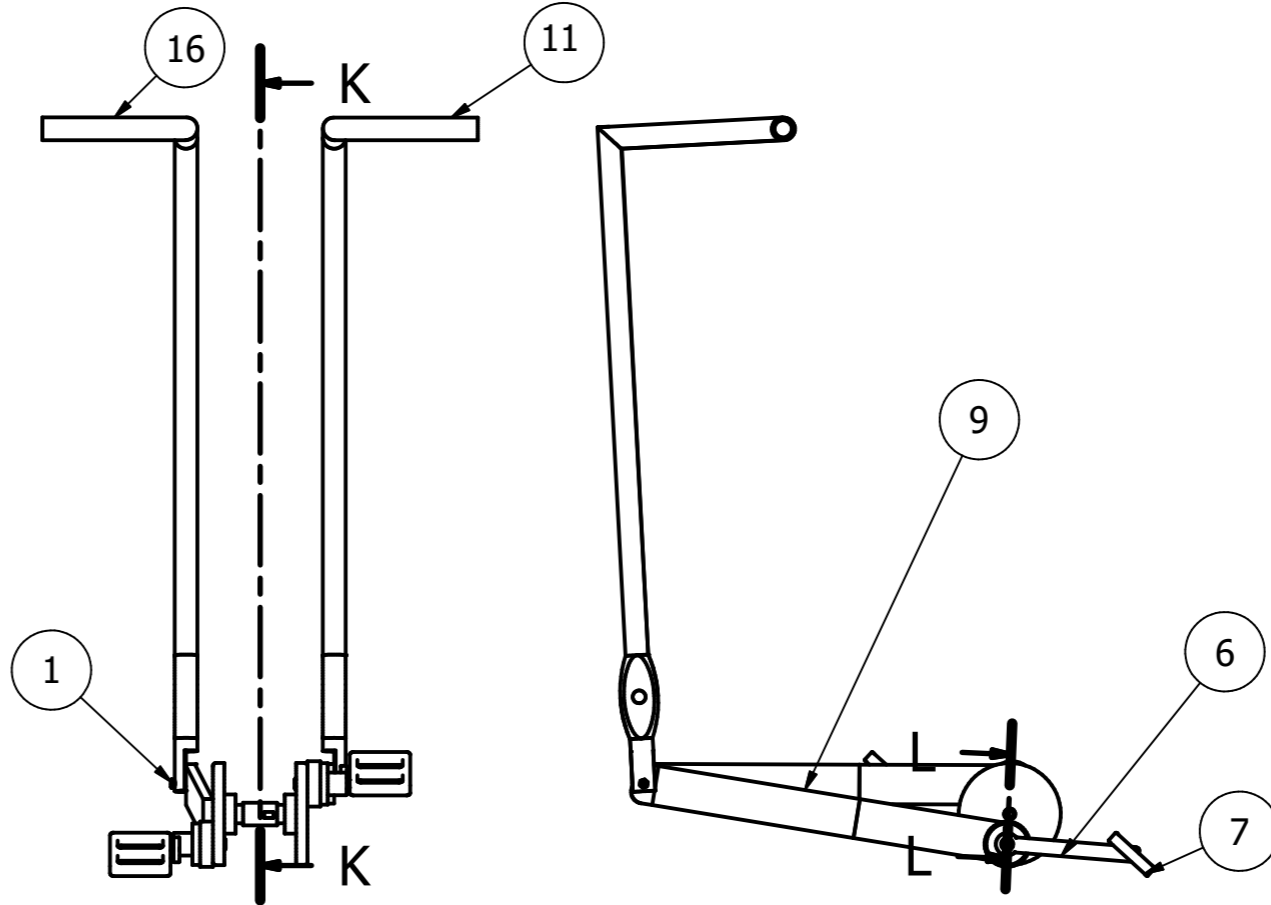
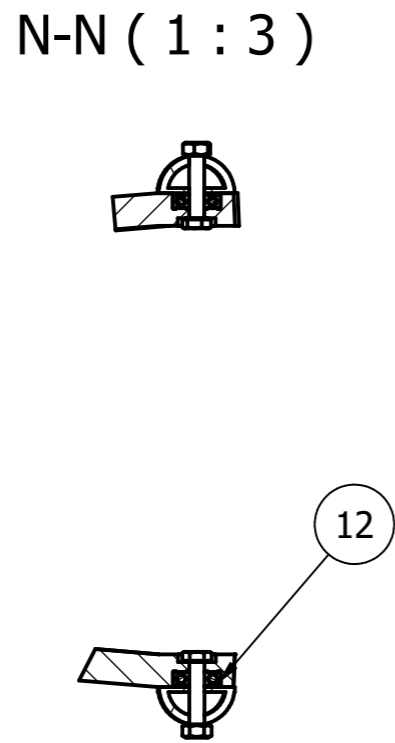
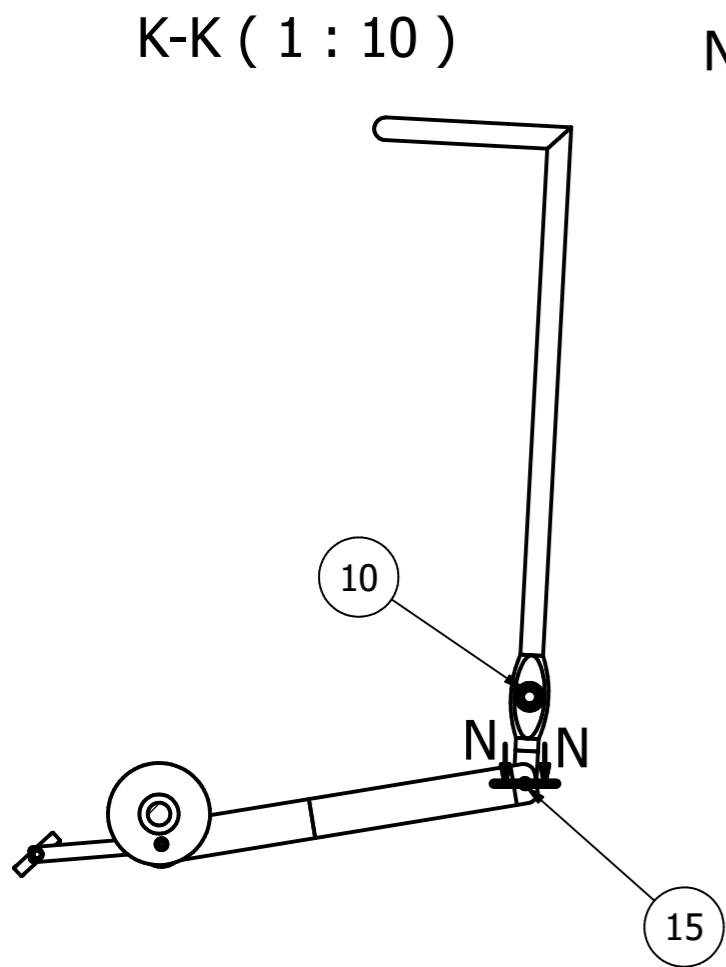
N6
 ▽ En totes les superfícies.

Disseny de Alba Sanabra Miquel	Revisat per Iván García	Aprovat per Iván García	Data 21/12/2022	Convocatòria: Gener CURS 2022/23	Data de creació 20/12/2022	Escala 1:4	Format A3
 GRAU ENGINYERIA MECÀNICA		 UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI		MANILLAR ESQUERRE			
Títol del treball: Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike					Núm. plànol 8	Full 1/1	

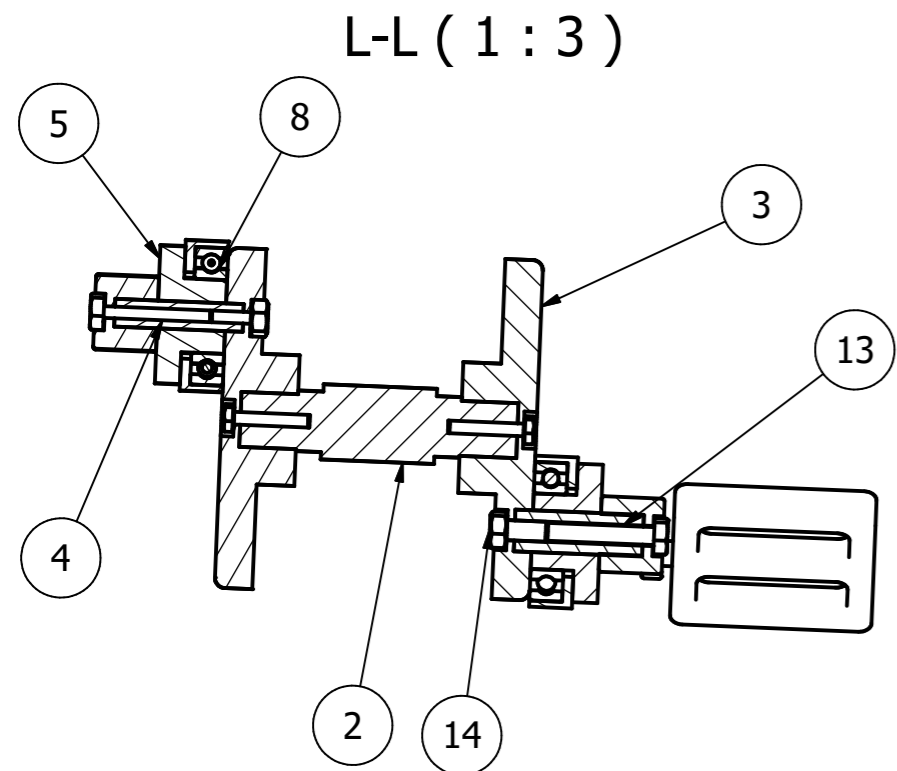


Arrodoniment d'1 mm de les arestes i cantos vius.
 N6 En totes les superfícies

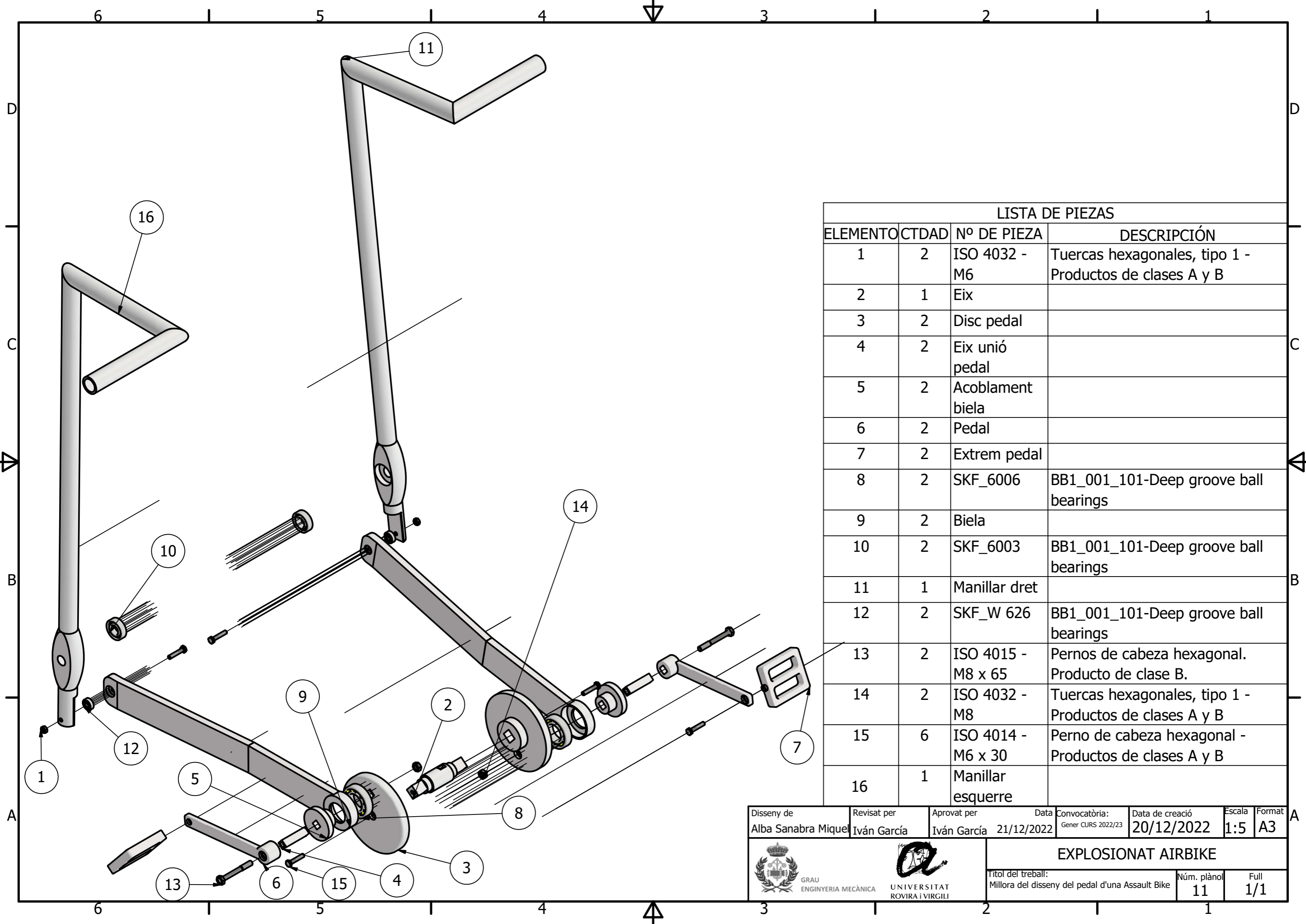
Disseny de Alba Sanabra Mique	Revisat per Iván García	Aprovat per Iván García	Data 21/12/2022	Convocatòria: Gener CURS 2022/23	Data de creació 20/12/2022	Escala 1:4	Format A3
 GRAU ENGINYERIA MECÀNICA		 UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI		MANILLAR DRET			
Títol del treball: Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike				Núm. plànol 9	Full 1/1		



LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	2	ISO 4032 - M6	Tuercas hexagonales, tipo 1 - Productos de clases A y B
2	1	Eix	
3	2	Disc pedal	
4	2	Eix unió pedal	
5	2	Acoblament biela	
6	2	Pedal	
7	2	Extrem pedal	
8	2	SKF_6006	BB1_001_101-Deep groove ball bearings
9	2	Biela	
10	2	SKF_6003	BB1_001_101-Deep groove ball bearings
11	1	Manillar dret	
12	2	SKF_W 626	BB1_001_101-Deep groove ball bearings
13	2	ISO 4015 - M8 x 65	Pernos de cabeza hexagonal. Producto de clase B.
14	2	ISO 4032 - M8	Tuercas hexagonales, tipo 1 - Productos de clases A y B
15	6	ISO 4014 - M6 x 30	Perno de cabeza hexagonal - Productos de clases A y B
16	1	Manillar esquerre	

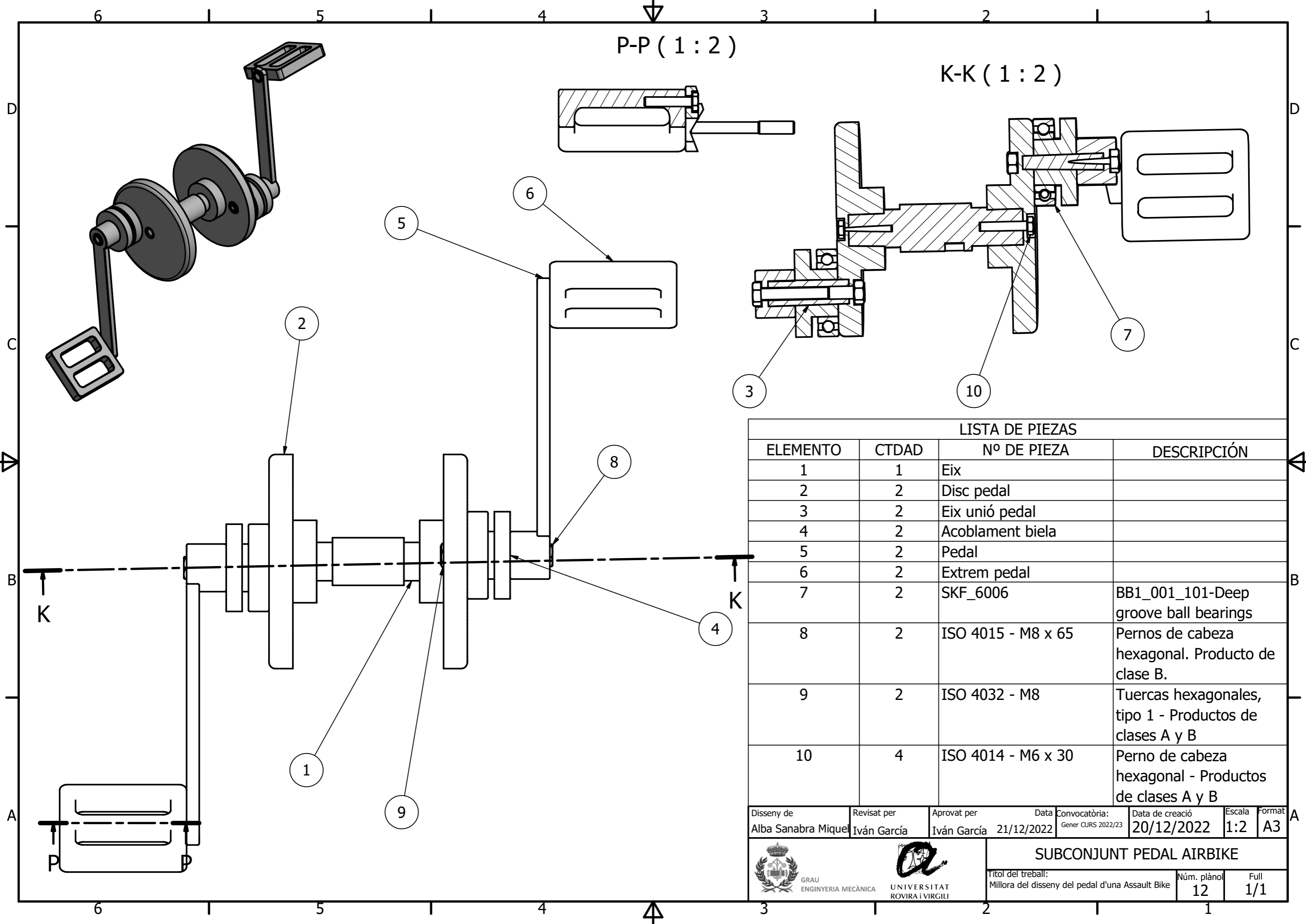


Disseny de Alba Sanabra Miquel	Revisat per Iván García	Aprovat per Iván García	Data 21/12/2022	Convocatòria: Gener CURS 2022/23	Data de creació 20/12/2022	Escala 1:10	Format A3
				CONJUNT AIRBIKE			
Títol del treball: Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike					Núm. plànol 10	Full 1/1	



LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	2	ISO 4032 - M6	Tuercas hexagonales, tipo 1 - Productos de clases A y B
2	1	Eix	
3	2	Disc pedal	
4	2	Eix unió pedal	
5	2	Acoblament biela	
6	2	Pedal	
7	2	Extrem pedal	
8	2	SKF_6006	BB1_001_101-Deep groove ball bearings
9	2	Biela	
10	2	SKF_6003	BB1_001_101-Deep groove ball bearings
11	1	Manillar dret	
12	2	SKF_W 626	BB1_001_101-Deep groove ball bearings
13	2	ISO 4015 - M8 x 65	Pernos de cabeza hexagonal. Producto de clase B.
14	2	ISO 4032 - M8	Tuercas hexagonales, tipo 1 - Productos de clases A y B
15	6	ISO 4014 - M6 x 30	Perno de cabeza hexagonal - Productos de clases A y B
16	1	Manillar esquerre	

Disseny de Alba Sanabra Miquel	Revisat per Iván García	Aprovat per Iván García	Data 21/12/2022	Convocatòria: Gener CURS 2022/23	Data de creació 20/12/2022	Escala 1:5	Format A3
				EXPLOSIONAT AIRBIKE			
Títol del treball: Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike				Núm. plànol 11	Full 1/1		





P-P (1 : 2)

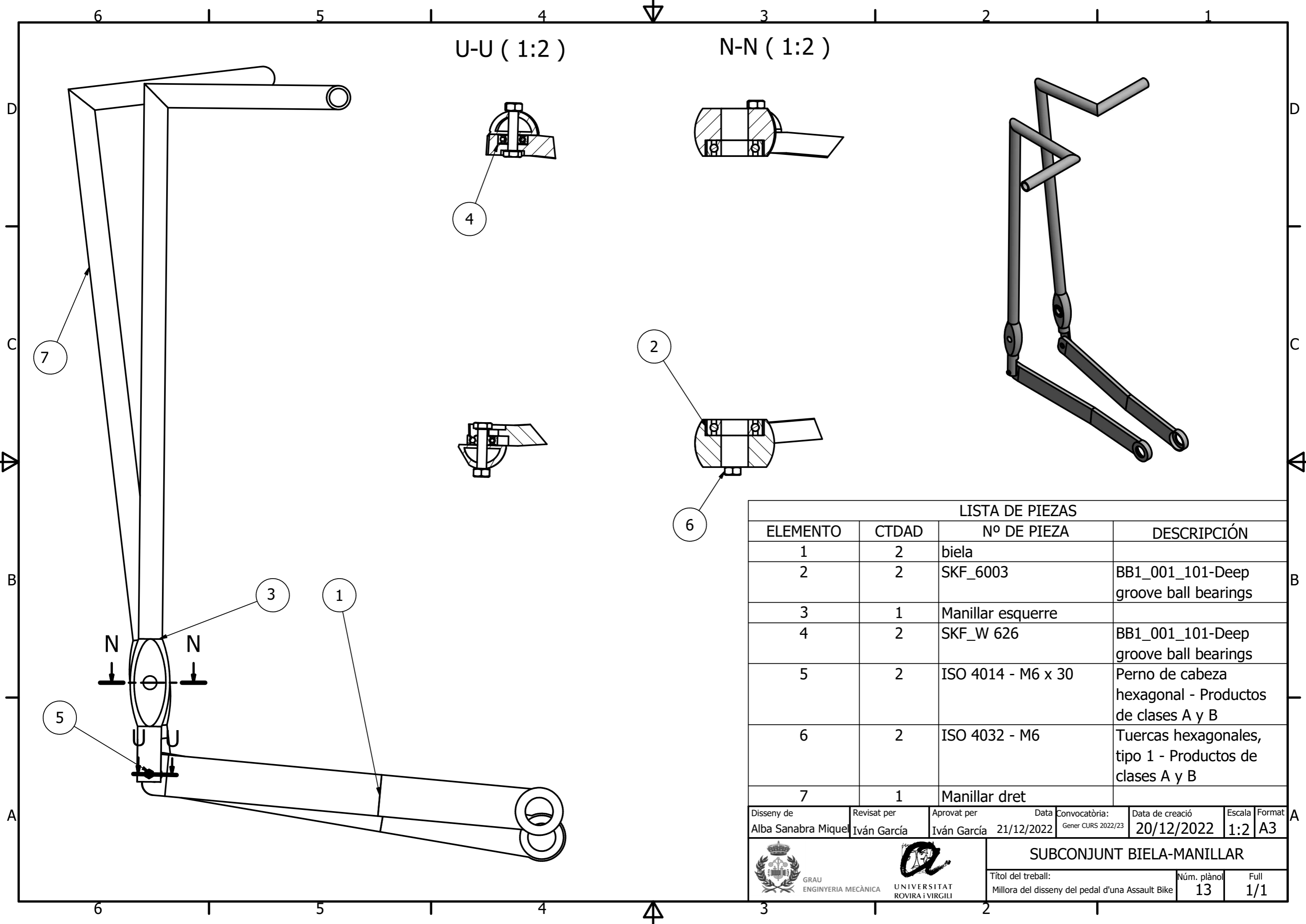
K-K (1 : 2)

LISTA DE PIEZAS

ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	Eix	
2	2	Disc pedal	
3	2	Eix unió pedal	
4	2	Acoblament biela	
5	2	Pedal	
6	2	Extrem pedal	
7	2	SKF_6006	BB1_001_101-Deep groove ball bearings
8	2	ISO 4015 - M8 x 65	Pernos de cabeza hexagonal. Producto de clase B.
9	2	ISO 4032 - M8	Tuercas hexagonales, tipo 1 - Productos de clases A y B
10	4	ISO 4014 - M6 x 30	Perno de cabeza hexagonal - Productos de clases A y B

Disseny de Alba Sanabra Miquel	Revisat per Iván García	Aprovat per Iván García	Data 21/12/2022	Convocatòria: Gener CURS 2022/23	Data de creació 20/12/2022	Escala 1:2	Format A3
-----------------------------------	----------------------------	----------------------------	--------------------	-------------------------------------	-------------------------------	---------------	--------------

 GRAU ENGINYERIA MECÀNICA	 UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI	SUBCONJUNT PEDAL AIRBIKE	
		Títol del treball: Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike	Núm. plànol 12





U-U (1:2)

N-N (1:2)

LISTA DE PIEZAS

ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	2	biela	
2	2	SKF_6003	BB1_001_101-Deep groove ball bearings
3	1	Manillar esquerre	
4	2	SKF_W 626	BB1_001_101-Deep groove ball bearings
5	2	ISO 4014 - M6 x 30	Perno de cabeza hexagonal - Productos de clases A y B
6	2	ISO 4032 - M6	Tuercas hexagonales, tipo 1 - Productos de clases A y B
7	1	Manillar dret	

Disseny de Alba Sanabra Miquel	Revisat per Iván García	Aprovat per Iván García	Data 21/12/2022	Convocatòria: Gener CURS 2022/23	Data de creació 20/12/2022	Escala 1:2	Format A3
-----------------------------------	----------------------------	----------------------------	--------------------	-------------------------------------	-------------------------------	---------------	--------------

 GRAU ENGINYERIA MECÀNICA	 UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI	SUBCONJUNT BIELA-MANILLAR		
		Títol del treball: Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike	Núm. plànol 13	Full 1/1

Treball de Fi de Grau
Enginyeria Mecànica



**Millora del disseny del pedal d'una
Assault Bike
Treball Fi de Grau**

Document 5: Plec de condicions

Autor: Alba Sanabra Miquel
Director: Iván García Sierra
Data: Gener 2023



ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR
D'ENGINYERIA QUÍMICA
Universitat Rovira i Virgili

etsEQ

4.	PLEC DE CONDICIONS.....	2
4.1.	Presentació.....	2
4.2.	Plec de condicions tècniques	3
4.2.1.	Plec de condicions tècniques generals.....	3
4.2.2.	Plec de condicions tècniques particulars	3
4.3.	Plec de condicions facultatiu.....	7
4.3.1.	Drets i obligacions del contractista	7
4.4.	Plec de condicions econòmiques	8
4.4.1.	Bases fonamentals	8
4.4.2.	Garanties	8
4.4.3.	Preus.....	8



4. PLEC DE CONDICIONS

4.1. Presentació

En aquest projecte hi han descrites les modificacions necessàries per solucionar el problema de ruptura detectat en el model "Assault AirBike Classic" de l'empresa Assault Fitness.

Dins del contingut d'aquest projecte es pot trobar un anàlisi del motiu de la ruptura de la peça que uneix el pedal de la bicicleta amb la biela que transmet el moviment de vaivé del manillar mòbil al pedal. També es troben els càlculs pertanyents a la solució final adoptada per solucionar el problema de la ruptura de la peça.

L'objectiu d'aquest projecte és proporcionar a l'empresa Assault Fitness una alternativa al disseny actual per a poder fabricar un nou model de la bicicleta estàtica "Assault AirBike Classic" que garanteixi una duració de vida infinita de la peça. Inclús el nou disseny es apte per adaptar-se en les AirBikes ja fabricades anteriors al nou model.

El resultat final serà la fabricació del subconjunt de l'AirBike format pel pedal, la biela i el manillar mòbil que serà implementat en la resta d'estructura de l'AirBike de nova fabricació.

En aquest document hi ha recollit el plec de condicions legals, econòmiques i tècniques del projecte que s'hauran de tenir en compte.



4.2. Plec de condicions tècniques

4.2.1. Plec de condicions tècniques generals

En aquest projecte s'ha tingut en compte la norma UNE-EN ISO 20957 – 1:2014. S'ha garantit que les peces que han estat afectades pel redisseny d'aquest projecte complissin amb les indicacions d'aquesta norma.

És l'empresa Assault Fitness qui té el deure de verificar que el producte que arriba al client compleix amb el que hi ha especificat en aquest projecte.

4.2.2. Plec de condicions tècniques particulars

4.2.2.1. Materials i la seva qualitat

Els materials utilitzats per la fabricació de les peces d'aquest projecte són dos, l'acer 1020 laminat en fred i l'acer 4340 templat en oli i revingut.

4.2.2.1.1. Acer 1020 laminat en fred

L'acer 1020 té un Baix contingut de carboni, és de fàcil mecanitzat i posseeix una bona soldabilitat. És un acer de baixa duresa, per usos convencionals de Baixa exigència. S'utilitza en la fabricació de peces sotmeses a baixes exigències com bases de matrius, suports, engranatges, eixos, cadenes, etc.

La composició química és la de la Taula 4.1.

Taula 4.1. Composició química de l'acer 1020 en %. Font: pàgina web de LINKUN.

%C	%Mn	%Si	%P	%S
0,18-0,23	0,3 – 0,6	0,15 – 0,35	<= 0,04	<= 0,05

Les propietats mecàniques són les de la Taula 4.2.

Taula 4.2. Propietats mecàniques de l'acer 1020. Font: pàgina web de LINKUN.

Duresa	Límit elàstic (min)	Límit de ruptura	Elongació (min)
110 – 130 HB	27 kg/mm ²	40-45 kg/mm ²	20%

4.2.2.1.2. Acer 4340 templat en oli i revingut

L'acer 4340 es caracteritza per tenir una Baixa aliatge de crom, níquel i molibdè. Això li dona una gran templeabilitat, tenacitat i resistència a la fatiga. La seva mecanització és regular i posseeix una Baixa soldabilitat.

La composició química és la de la Taula 4.3.



Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

Taula 4.3. Composició química de l'acer 4340 en %. Font: pàgina web de LINKUN.

%C	%Mn	%Si	%Cr	%Ni	%P	%S
0,38-0,43	0,6 – 0,8	0,15 – 0,35	0,70-0,90	1,65-2,00	<= 0,035	<=0,04

Les propietats mecàniques són les de la Taula 4.4.

Taula 4.4. Propietats mecàniques de l'acer 4340 templat en oli i revingut. Font: pàgina web de LINKUN.

Duresa estat bonificat	Límit elàstic (min)	Límit de ruptura	Elongació (min)
28 – 34 HRc	60-74 kg/mm ²	95-105 kg/mm ²	10-18%

4.2.2.1.3. Material per peça

El material emprat per la fabricació de cada una de les peces que componen el subconjunt pedal-biela-manillar és el que s'indica en la Taula 4.5.

Taula 4.4. Material de fabricació de les diferents peces del subconjunt pedal – biela - manillar.

PEÇA	NÚMERO PLÀNOL	MATERIAL
Manillar dret	9	Acer 1020 laminat en fred
Manillar esquerre	8	Acer 1020 laminat en fred
Biela	6	Acer 1020 laminat en fred
Acoblament biela	2	Acer 4340 templat en oli i revingut
Disc pedal	1	Acer 4340 templat en oli i revingut
Eix unió pedal	3	Acer 4340 templat en oli i revingut
Eix	7	Acer 1020 laminat en fred
Extrem pedal	5	Acer 4340 templat en oli i revingut
Pedal	4	Acer 1020 laminat en fred



Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

Totes les peces aniran pintades amb una pintura antioxidant de color negre mate. És necessari aplicar la pintura per dues raons:

- Harmonia en l'estètica de la bicicleta. Totes les altres peces de l'AirBike són de color negre mate i les del disseny anterior també ho eren. Canviar l'estètica de l'AirBike no és objecte d'aquest projecte.
- Evitar l'oxidació. Els boxs de CrossFit generalment es troben en naus industrials i la humitat relativa de l'ambient és elevada. És necessari aplicar una protecció a les peces per evitar un desgast prematur d'aquestes.

4.2.2.1.4. Fabricació de les peces

A continuació s'especifica com seran fabricades cada una de les peces d'aquest projecte.

4.2.2.1.4.1. Pedal

Per la fabricació d'aquesta peça es partirà d'una peça feta amb emmotllament amb motlle de sorra. S'aprofitarà el mateix motlle que s'utilitzava en el model anterior.

Posteriorment amb una fresa de diàmetre es farà el forat de secció quadrada. Per finalitzar es faran els altres forats de la peça.

4.2.2.1.4.2. Extrem del pedal

Per fer l'extrem del pedal es partirà d'un massís de 70 mil·límetres per 20 mil·límetres. Es fabricarà per arrencament de ferritja amb una fresadora.

4.2.2.1.4.3. Eix

Per a aquesta peça es partirà d'un massís tubular de 33 mil·límetres de diàmetre. La peça serà mecanitzada per arrencament de ferritja amb un torn.

4.2.2.1.4.4. Eix unió del pedal

Es partirà d'un massís de 15 mil·límetres per 15 mil·límetres. Es fabricarà per arrencament de ferritja amb un torn. Pel forat interior es farà un trepanat i un mandrinat.

4.2.2.1.4.5. Disc del pedal

Es parteix d'un cilindre massís de 135 mil·límetres de diàmetre. La peça es fabricarà per arrencament de ferritja amb un torn.

4.2.2.1.4.6. Acoblament biela

Per aquesta peça es partirà d'un rodó de 57 mil·límetres. El forat de secció quadrada es farà amb un punxonat. La resta de la peça es tornejarà.



Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

4.2.2.1.4.7. Biela

Es parteix d'una platina de 17 mil·límetres de gruix per 60 mil·límetres d'ample. Amb un trepanat es faran els forats i posteriorment es plegarà el perfil amb una plegadora.

4.2.2.1.4.8. Manillar esquerre i dret

Es parteix d'un tub de diàmetre 30 mil·límetres per paret de 2 mil·límetres. En una corbadora es dona forma al tub que forma la part superior del manillar.

La part del manillar que va unida a bancada es fabricarà per emmotllament. Finalment s'unirà mitjançant soldadura els tubs superior i inferior amb la part central.



Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

4.3. Plec de condicions facultatiu

4.3.1. Drets i obligacions del contractista

4.3.1.1. Interpretacions i modificacions del projecte

L'empresa Assault Fitness es reserva el dret de fer les interpretacions i modificacions necessàries del projecte sempre i quan no es vegi afectada la durabilitat de les peces i no atempti contra la seguretat dels usuaris que facin ús del producte ni dels treballadors de la pròpia empresa.

4.3.1.2. Oficina

Les oficines des d'on es podran consultar els plànols o càlculs referents en aquest projecte es trobaran dins de les instal·lacions de la planta central localitzades a la direcció següent:

5803 Newton Dr b

Carlsbad, CA 92008, Estats Units d'Amèrica

Qualsevol dubte o problema sorgit en els centres de distribució d'altres països haurà de ser comunicat a les oficines centrals.



4.4. Plec de condicions econòmiques

4.4.1. Bases fonamentals

Assault Fitness té reservat el dret de cobrar la totalitat del preu del producte que s'ha venut, podent així cobrir les despeses generades en la producció del producte i obtenir-ne un marge de benefici.

4.4.2. Garanties

L'empresa està obligada a oferir al client final una garantia. Aquesta garantia serà fixada per la pròpia empresa.

Durant aquest període de garantia, tot client que demostrï que l'AirBike ha patit algun dany no causat pel mal ús d'aquesta o per falta de manteniment, Assault Fitness té el deure de proporcionar-li al client la o les peces, de manera totalment gratuïta, necessàries per la reparació.

4.4.3. Preus

A l'empresa Assault Fitness se li reserva el dret de poder posar el preu de venda de l'AirBike que cregui adequat per poder obtenir un marge de benefici industrial.

A més a més, podrà escollir lliurement l'empresa o les empreses que duran a terme la fabricació de les diferents peces del projecte. Podrà canviar de proveïdors quan ho consideri necessari.



Treball de Fi de Grau
Enginyeria Mecànica



**Millora del disseny del pedal d'una
Assault Bike
Treball Fi de Grau**

Document 6: Amidaments

Autor: Alba Sanabra Miquel
Director: Iván García Sierra
Data: Gener 2023



ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR
D'ENGINYERIA QUÍMICA
Universitat Rovira i Virgili

etsEQ

5. AMIDAMENTS.....	2
Capitol 01. Subconjunt pedal AirBike.....	2
Capitol 02. Subconjunt biela-manillar.....	3



5. AMIDAMENTS

En el document d'amidaments d'aquest projecte hi ha especificada la quantitat de peces necessàries per la fabricació d'una AirBike.

CODI	RESUM	QUANTITAT (unitats)
CAPITOL 01 SUBCONJUNT PEDAL AIRBIKE		
01.1	Eix Operacions per a la fabricació de l'eix segons especificacions del plànol número 7	1
01.2	Disc pedal Operacions per a la fabricació del disc del pedal segons especificacions del plànol número 1	2
01.3	Eix unió pedal Operacions per a la fabricació de l'eix d'unió del pedal segons especificacions del plànol número 3	2
01.4	Acoblament biela Operacions per a la fabricació de l'acoblament de la biela segons especificacions del plànol número 2	2
01.5	Pedal Operacions per a la fabricació del pedal segons especificacions del plànol número 4	2
01.6	Extrem pedal Operacions per a la fabricació de l'extrem del pedal segons especificacions del plànol número 5	2
01.7	Rodament SKF 6006 Rodament rígid de boles SKF de la sèrie 6006 d'acer de diàmetre interior de 30 mil·límetres, diàmetre exterior de 55 mil·límetres i 13 mil·límetres d'ample	2
01.8	Cargol ISO 4015 M8x65 Cargol amb cap hexagonal d'acer inoxidable de mètrica 8 mil·límetres i longitud de 65 mil·límetres	2
01.9	Femella ISO 4032 M8 Femella hexagonal de mètrica 8 mil·límetres d'acer inoxidable.	2



CODI	RESUM	QUANTITAT (unitats)
CAPITOL 02 SUBCONJUNT BIELA-MANILLAR AIRBIKE		
02.1	Manillar esquerre Operacions per a la fabricació del manillar esquerre segons especificacions del plànol número 8	1
02.2	Manillar dret Operacions per a la fabricació del manillar dret segons especificacions del plànol número 9	1
02.3	Cargol ISO 4014 M6x30 Cargol amb cap hexagonal d'acer inoxidable de mètrica 6 mil·límetres i longitud de 30 mil·límetres	6
02.4	Femella ISO 4032 M6 Femella hexagonal de mètrica 6 mil·límetres d'acer inoxidable.	2
02.5	Rodament SKF 6003 Rodament rígid de boles SKF de la sèrie 6003 d'acer de diàmetre interior de 17 mil·límetres, diàmetre exterior de 35 mil·límetres i 10 mil·límetres d'ample	2
02.6	Biela Operacions per a la fabricació de la biela segons especificacions del plànol número 6	2
02.7	Rodament SKF W 626 Rodament rígid de boles SKF de la sèrie 6003 d'acer de diàmetre interior de 17 mil·límetres, diàmetre exterior de 35 mil·límetres i 10 mil·límetres d'ample	2



Treball de Fi de Grau
Enginyeria Mecànica



**Millora del disseny del pedal d'una
Assault Bike
Treball Fi de Grau**

Document 7: Pressupost

Autor: Alba Sanabra Miquel
Director: Iván García Sierra
Data: Gener 2023



ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR
D'ENGINYERIA QUÍMICA
Universitat Rovira i Virgili

etsEQ

6. PRESSUPOST	2
6.1. Quadre de preus 1.....	2
6.2. Quadre de preus 2.....	5
6.3. Pressupost general	9
6.4. Resum del pressupost	11



6. PRESSUPOST

En el pressupost d'aquest projecte hi ha indicats els preus dels diferents conceptes per cada unitat d'AirBike. No obstant, com que l'empresa fabrica les AirBike en sèrie s'ha fet el pressupost suposant la fabricació d'una sèrie de 100 AirBike, repartint així els costos fixos d'enginyeria per a cada peça.

6.1. Quadre de preus 1

QUADRE DE PREUS 1

CODI	RESUM	PREU
CAPITOL 01 SUBCONJUNT PEDAL AIRBIKE		
01.1	Eix	21,36
	Operacions per a la fabricació de l'eix segons especificacions del plànol número 7	
	VINT-I-UN EUROS amb TRENTA-SIS CÈNTIMS	
01.2	Disc pedal	24,3
	Operacions per a la fabricació del disc del pedal segons especificacions del plànol número 1	
	VINT-I-CUATRE EUROS amb TRENTA CÈNTIMS	
01.3	Eix unió pedal	5,5
	Operacions per a la fabricació de l'eix d'unió del pedal segons especificacions del plànol número 3	
	CINC EUROS amb CINQUANTA CÈNTIMS	
01.4	Acoblament biela	15,16
	Operacions per a la fabricació de l'acoblament de la biela segons especificacions del plànol número 2	
	QUINZE EUROS amb SETZE CÈNTIMS	
01.5	Pedal	44,5
	Operacions per a la fabricació del pedal segons especificacions del plànol número 4	
	QUARANTA-QUATRE EUROS amb CINQUANTA CÈNTIMS	
01.6	Extrem pedal	12,2
	Operacions per a la fabricació de l'extrem del pedal segons especificacions del plànol número 5	



Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

DOTZE EUROS amb VINT CÈNTIMS

01.7 Rodament SKF 6006 6,47

Rodament rígid de boles SKF de la sèrie 6006 d'acer de diàmetre interior de 30 mil·límetres, diàmetre exterior de 55 mil·límetres i 13 mil·límetres d'ample

SIS EUROS amb QUARANTA-SET CÈNTIMS

01.8 Cargol ISO 4015 M8x65 0,52

Cargol amb cap hexagonal d'acer inoxidable de mètrica 8 mil·límetres i longitud de 65 mil·límetres

ZERO EUROS amb CINQUANTA-DOS CÈNTIMS

01.9 Femella ISO 4032 M8 0,06

Femella hexagonal de mètrica 8 mil·límetres d'acer inoxidable.

ZERO EUROS amb SIS CÈNTIMS



Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

CODI	RESUM	PREU
CAPITOL 02 SUBCONJUNT BIELA-MANILLAR AIRBIKE		
02.1	Manillar esquerre	43
	Operacions per a la fabricació del manillar esquerre segons especificacions del plànol número 8	
	QUARANTA-TRES EUROS amb ZERO CÈNTIMS	
02.2	Manillar dret	43
	Operacions per a la fabricació del manillar dret segons especificacions del plànol número 9	
	QUARANTA-TRES EUROS amb ZERO CÈNTIMS	
02.3	Cargol ISO 4014 M6x30	0,36
	Cargol amb cap hexagonal d'acer inoxidable de mètrica 6 mil·límetres i longitud de 30 mil·límetres	
	ZERO EUROS amb TRENTA-SIS CÈNTIMS	
02.4	Femella ISO 4032 M6	0,06
	Femella hexagonal de mètrica 6 mil·límetres d'acer inoxidable.	
	ZERO EUROS amb SIS CÈNTIMS	
02.5	Rodament SKF 6003	4,13
	Rodament rígid de boles SKF de la sèrie 6003 d'acer de diàmetre interior de 17 mil·límetres, diàmetre exterior de 35 mil·límetres i 10 mil·límetres d'ample	
	QUATRE EUROS amb TRETZE CÈNTIMS	
02.6	Biela	24,4
	Operacions per a la fabricació de la biela segons especificacions del plànol número 6	
	VINT-I-QUATRE EUROS amb QUARANTA CÈNTIMS	
02.7	Rodament SKF W 626	3,31
	Rodament rígid de boles SKF de la sèrie 6003 d'acer de diàmetre interior de 17 mil·límetres, diàmetre exterior de 35 mil·límetres i 10 mil·límetres d'ample	
	TRES EUROS amb TRENTA-UN CÈNTIMS	



Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

6.2. Quadre de preus 2

QUADRE DE PREUS 2

CODI	RESUM	PREU
CAPITOL 01 SUBCONJUNT PEDAL AIRBIKE		
01.1	Eix	
	Operacions per a la fabricació de l'eix segons especificacions del plànol número 7	
	Mà d'obra.....	3,2
	Maquinària.....	4,16
	Materials.....	14
	TOTAL PARTIDA.....	21,36
01.2	Disc pedal	
	Operacions per a la fabricació del disc del pedal segons especificacions del plànol número 1	
	Mà d'obra.....	2,2
	Maquinària.....	1,1
	Materials.....	21
	TOTAL PARTIDA.....	24,3
01.3	Eix unió pedal	
	Operacions per a la fabricació de l'eix d'unió del pedal segons especificacions del plànol número 3	
	Mà d'obra.....	1
	Maquinària.....	2
	Materials.....	2,5
	TOTAL PARTIDA.....	5,5
01.4	Acoblament biela	
	Operacions per a la fabricació de l'acoblament de la biela segons especificacions del plànol número 2	
	Mà d'obra.....	3,5
	Maquinària.....	3,16
	Materials.....	8,5
	TOTAL PARTIDA.....	15,16
01.5	Pedal	
	Operacions per a la fabricació del pedal segons especificacions del plànol número 4	
	Mà d'obra.....	2
	Maquinària.....	2,5
	Materials.....	40
	TOTAL PARTIDA.....	44,5



Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

01.6 Extrem pedal

Operacions per a la fabricació de l'extrem del pedal segons especificacions del plànol número 5

Mà d'obra.....	3
Maquinària.....	4,2
Materials.....	5
TOTAL PARTIDA.....	12,2

01.7 Rodament SKF 6006

Rodament rígid de boles SKF de la sèrie 6006 d'acer de diàmetre interior de 30 mil·límetres, diàmetre exterior de 55 mil·límetres i 13 mil·límetres d'ample

TOTAL PARTIDA..... 6,47

01.8 Cargol ISO 4015 M8x65

Cargol amb cap hexagonal d'acer inoxidable de mètrica 8 mil·límetres i longitud de 65 mil·límetres

TOTAL PARTIDA..... 0,52

01.9 Femella ISO 4032 M8

Femella hexagonal de mètrica 8 mil·límetres d'acer inoxidable.

TOTAL PARTIDA..... 0,06



Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

CODI	RESUM	PREU
CAPITOL 02 SUBCONJUNT BIELA-MANILLAR AIRBIKE		
02.1	Manillar esquerre	
	Operacions per a la fabricació del manillar esquerre segons especificacions del plànol número 8	
	Mà d'obra.....	5
	Maquinària.....	10
	Materials.....	28
	TOTAL PARTIDA.....	43
02.2	Manillar dret	
	Operacions per a la fabricació del manillar dret segons especificacions del plànol número 9	
	Mà d'obra.....	5
	Maquinària.....	10
	Materials.....	28
	TOTAL PARTIDA.....	43
02.3	Cargol ISO 4014 M6x30	
	Cargol amb cap hexagonal d'acer inoxidable de mètrica 6 mil·límetres i longitud de 30 mil·límetres	
	TOTAL PARTIDA.....	0,36
02.4	Femella ISO 4032 M6	
	Femella hexagonal de mètrica 6 mil·límetres d'acer inoxidable.	
	TOTAL PARTIDA.....	0,06
02.5	Rodament SKF 6003	
	Rodament rígid de boles SKF de la sèrie 6003 d'acer de diàmetre interior de 17 mil·límetres, diàmetre exterior de 35 mil·límetres i 10 mil·límetres d'ample	
	TOTAL PARTIDA.....	4,13
02.6	Biela	
	Operacions per a la fabricació de la biela segons especificacions del plànol número 6	
	Mà d'obra.....	2
	Maquinària.....	5,2
	Materials.....	17,2
	TOTAL PARTIDA.....	24,4
02.7	Rodament SKF W 626	



Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

Rodament rígid de boles SKF de la sèrie 6003 d'acer de diàmetre interior de 17 mil·límetres, diàmetre exterior de 35 mil·límetres i 10 mil·límetres d'ample

TOTAL PARTIDA..... 3,31



Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

6.3. Pressupost general

PRESSUPOST GENERAL

CODI	RESUM	QUANTITAT	PREU	IMPORT
CAPITOL 01 SUBCONJUNT PEDAL AIRBIKE				
01.1	Eix Operacions per a la fabricació de l'eix segons especificacions del plànol número 7	1	21,36	21,36
01.2	Disc pedal Operacions per a la fabricació del disc del pedal segons especificacions del plànol número 1	2	24,3	48,6
01.3	Eix unió pedal Operacions per a la fabricació de l'eix d'unió del pedal segons especificacions del plànol número 3	2	5,5	11
01.4	Acoblament biela Operacions per a la fabricació de l'acoblament de la biela segons especificacions del plànol número 2	2	15,16	30,32
01.5	Pedal Operacions per a la fabricació del pedal segons especificacions del plànol número 4	2	44,5	89
01.6	Extrem pedal Operacions per a la fabricació de l'extrem del pedal segons especificacions del plànol número 5	2	12,2	24,4
01.7	Rodament SKF 6006 Rodament rígid de boles SKF de la sèrie 6006 d'acer de diàmetre interior de 30 mil·límetres, diàmetre exterior de 55 mil·límetres i 13 mil·límetres d'ample	2	6,47	12,94
01.8	Cargol ISO 4015 M8x65 Cargol amb cap hexagonal d'acer inoxidable de mètrica 8 mil·límetres i longitud de 65 mil·límetres	2	0,52	1,04
01.9	Femella ISO 4032 M8 Femella hexagonal de mètrica 8 mil·límetres d'acer inoxidable.	2	0,06	0,11
TOTAL CAPITOL 01				238,77



Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

CODI	RESUM	QUANTITAT	PREU	IMPORT
CAPITOL 02 SUBCONJUNT BIELA-MANILLAR AIRBIKE				
02.1	Manillar esquerre Operacions per a la fabricació del manillar esquerre segons especificacions del plànol número 8	1	43	43
02.2	Manillar dret Operacions per a la fabricació del manillar dret segons especificacions del plànol número 9	1	43	43
02.3	Cargol ISO 4014 M6x30 Cargol amb cap hexagonal d'acer inoxidable de mètrica 6 mil·límetres i longitud de 30 mil·límetres	6	0,36	2,17
02.4	Femella ISO 4032 M6 Femella hexagonal de mètrica 6 mil·límetres d'acer inoxidable.	2	0,06	0,11
02.5	Rodament SKF 6003 Rodament rígid de boles SKF de la série 6003 d'acer de diàmetre interior de 17 mil·límetres, diàmetre exterior de 35 mil·límetres i 10 mil·límetres d'ample	2	4,13	8,26
02.6	Biela Operacions per a la fabricació de la biela segons especificacions del plànol número 6	2	24,4	48,8
02.7	Rodament SKF W 626 Rodament rígid de boles SKF de la série 6003 d'acer de diàmetre interior de 17 mil·límetres, diàmetre exterior de 35 mil·límetres i 10 mil·límetres d'ample	2	3,31	6,62
		TOTAL CAPITOL 02		151,96
		TOTAL		390,73



Millora del disseny del pedal d'una Assault Bike

6.4. Resum del pressupost

RESUM DEL PRESSUPOST

CAPITOL	RESUM	IMPORT	%
CAPITOL 01	SUBCONJUNT PEDAL AIRBIKE	238,77	61%
CAPITOL 02	SUBCONJUNT BIELA-MANILLAR AIRBIKE	151,96	39%
	PRESSUPOST D'EXECUSIÓ MATERIAL	390,73	
	13,00% Despeses generals	50,79	
	6,00% Benefici industrial	23,44	
	SUMA DE D.G. I B.I.	74,24	
	PRESSUPOST BASE DE LICITACIÓ SENSE IVA	464,97	
	21% IVA	97,643427	
	PRESSUPOST BASE DE LICITACIÓ	562,61	

Puja el pressupost l'esmentada quantitat de CINC-CENTS SEIXATA-DOS EUROS amb SEIXANTA-UN CÈNTIMS

Tarragona, 2 de gener de 2023



Alba Sanabra Miquel

