

Treball de Fi de Grau

**Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials**

**Disseny d'un tricicle basculant**

**MEMÒRIA**

**Autor:** Laia Martínez Sánchez  
**Director:** Emilio Angulo Navarro  
**Convocatòria:** Gener 2020



Escola Tècnica Superior  
d'Enginyeria Industrial de Barcelona





## Resum

Aquest projecte planteja el desenvolupament del disseny d'un tricicle de tipus basculant.

Un tricicle de tipus basculant és un vehicle lleuger de tres rodes que s'acciona amb pedals i consta d'un moviment oscil·lant de canvi d'inclinació.

Primer de tot, es realitza una introducció pel que fa a l'ús del tricicle en l'actualitat i l'estat de l'art de productes semblants pel que fa al disseny i l'estructura.

Tot seguit, s'ha estudiat les diferents tecnologies de les quals disposa el tricicle i quins són els avantatges i inconvenients de cada una d'elles per tal de poder escollir quina és la millor opció pel projecte.

A continuació es realitza un llistat de les especificacions bàsiques per tenir coneixements del camí que es vol prendre en aquest treball i marcar clars quins són els objectius i quins els límits que es poden assolir.

Seguidament, es fa un estudi pel que fa al disseny conceptual del tricicle. Característiques del disseny de la geometria del quadre i el material del qual està fabricat el tricicle.

Finalment, un cop es tenen les característiques del disseny, es passa a l'elaboració del disseny en 3D utilitzant el programa SolidWorks. En aquesta fase es dóna forma al tricicle per prosseguir amb una anàlisi detallada de les reaccions i una comprovació amb elements finits amb ANSYS.



## Agraïments

M'agradaria primer de tot expressar el meu agraïment al Dr. Emilio Angulo Navarro, director d'aquest treball de fi de grau. Agrair la seva dedicació durant aquests mesos, l'ajuda rebuda i sobretot, l'orientació donada per a poder realitzar aquest projecte.

A més a més, donar les gràcies pel suport rebut per part de familiar i amics, ja que gràcies a ells he pogut tirar endavant i superar els moments difícils o de dubte.

Finalment, agrair també l'ajuda rebuda per companys de l'escola en dubtes sorgits durant el desenvolupament del treball. Ajuda en conceptes que no tenia clars i sobre la utilització d'alguna eina dels programes utilitzats.

# Sumari

<b>RESUM</b>	<b>3</b>
<b>AGRAÏMENTS</b>	<b>5</b>
<b>SUMARI</b>	<b>6</b>
<b>1. INTRODUCCIÓ</b>	<b>9</b>
1.1. Objectius del projecte.....	9
1.2. Abast del projecte .....	9
1.3. Justificació.....	10
1.3.1. Justificació industrial .....	10
1.3.2. Justificació personal .....	10
<b>2. ESTAT DE L'ART</b>	<b>11</b>
2.1. Història .....	11
2.2. Estudi de mercat .....	11
2.2.1. Velocípedes .....	11
2.2.2. Tricicles.....	13
2.2.3. Comercialització de tricicles a l'estat espanyol.....	15
2.3. Estudi de les tecnologies .....	15
2.3.1. Configuracions generals d'un tricicle.....	15
2.3.2. Sistema basculant.....	17
2.3.3. Arquitectura.....	18
2.3.4. Sistema de frens .....	18
2.3.5. Sistema de direcció.....	22
2.3.6. Suspensió .....	25
<b>3. ESPECIFICACIÓ BÀSICA</b>	<b>27</b>
<b>4. DISSENY CONCEPTUAL</b>	<b>28</b>
4.1. Geometria del quadre .....	28
4.1.1. Talla del tricicle.....	28
4.1.2. Paràmetres de la geometria.....	30
4.2. Material .....	31
4.2.1. Selecció del material .....	32
<b>5. DISSENY DETALLAT</b>	<b>34</b>
5.1. Disseny 3D amb SolidWorks .....	34
5.1.1. Disseny del quadre i del sistema d'inclinació.....	34
5.1.2. Definició i selecció de components .....	37
5.1.3. Disseny final.....	50
5.2. Càlcul de les reaccions .....	52

5.2.1. Cas estàtic .....	52
5.2.2. Cas dinàmic .....	53
5.2.3. Càlcul de les forces pel criteri de les 5G .....	55
5.3. Comprovació amb elements finits amb ANSYS .....	56
<b>6. PLANIFICACIÓ .....</b>	<b>62</b>
<b>7. PRESSUPOST .....</b>	<b>64</b>
<b>8. IMPACTE AMBIENTAL .....</b>	<b>66</b>
8.1. Material .....	66
8.2. Ús.....	66
8.3. Correcció.....	67
<b>CONCLUSIONS .....</b>	<b>68</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>69</b>
Referències bibliogràfiques .....	69
Bibliografia complementària .....	70





# 1. Introducció

## 1.1. Objectius del projecte

El principal objectiu d'aquest projecte és dissenyar un tricicle de tipus basculant, caracteritzat per inclinar-se en el sentit del gir.

D'aquesta manera, cal fer un dimensionament i una tria dels diferents components que configuren el tricicle. Les diferents parts s'elaboraran amb SolidWorks de manera que s'obtinga el disseny fent un assemblatge dels diferents components.

Un cop el disseny està realitzat, és necessari verificar-ho a través d'un estudi estructural mitjançant el mètode dels elements finits amb el programa de càlcul numèric ANSYS. Amb aquest estudi, es comprovarà si el disseny és l'adequat o si cal efectuar canvis.

A més a més, es tindrà en compte una estimació econòmica del disseny del tricicle. En el càlcul del pressupost es consideraran les hores de feina i les llicències dels programes utilitzats en les diferents etapes del projecte.

Finalment, caldrà avaluar l'impacte ambiental que comporta aquest projecte pel que fa al seu ús i al material del qual està compost. Es tindrà en compte l'efecte sobre el medi ambient i si aquest es pot reduir o corregir.

## 1.2. Abast del projecte

Aquest treball està centrat en el disseny d'un tricicle, i com tot disseny, comporta una sèrie de passos que cal seguir.

A continuació es llisten els passos que és necessari assolir:

- Estudi de l'estat de l'art pel que fa als velocípedes i un enfocament més complet dels tricicles. Inclou un estudi del tipus de tricicles que hi ha al mercat i els seus principals proveïdors.
- Estudi de les diferents tecnologies que tenen els tricicles.
- Llistat de les especificacions bàsiques que s'ha de considerar.
- Anàlisi de característiques o paràmetres generals que configuren el tricicle.
- Estudi de diferents materials per a la fabricació i selecció del material de les principals parts del tricicle.

- Dimensionament del quadre com a element principal del disseny del tricicle i de la part frontal d'aquest.
- Elaboració en 3D del quadre i de la zona frontal.
- Selecció i elaboració en 3D dels components principals que configuren el tricicle.
- Càlcul de les reaccions.
- Comprovació del disseny amb elements finits utilitzant ANSYS.
- Elaboració d'un diagrama de planificació de Gantt on es representen les diferents fases del projecte i la durada de cada una d'elles.
- Càlcul de l'estimació econòmica del disseny del tricicle.
- Avaluació de l'impacte ambiental.

## **1.3. Justificació**

### **1.3.1. Justificació industrial**

Per al desenvolupament d'aquest treball, es considera que es treballa per una empresa que es dedica a la fabricació i venda de bicicletes i tricicles. Aquesta empresa vol innovar amb un nou model de tricicle, un tricicle de tipus basculant.

D'aquesta manera, cal dissenyar el tricicle tenint en compte una sèrie d'especificacions i requeriments per tal de, en un futur, poder crear un primer prototip a partir d'aquest projecte.

### **1.3.2. Justificació personal**

Aquest projecte neix principalment de l'interès pel ciclisme i la innovació.

En els darrers anys, cal destacar l'augment de bicicletes en l'àrea metropolitana de Barcelona. Aquest augment, ha suposat una innovació en el tipus de bicicletes i de velocípedes usats per la població.

Cada vegada són més els tricicles utilitzats per a la mobilitat de famílies o pel repartiment. És per això, que un tricicle basculant destaca no només per la seva estabilitat, sinó que també per la facilitat del seu ús. Aquest tipus de tricicle ofereix la seguretat de tres rodes amb l'agilitat i la velocitat d'una bicicleta de dues.

## 2. Estat de l'art

### 2.1. Història

El tricicle neix en convertir una bicicleta de dues rodes en un sistema de dues rodes a la part frontal i una a la part posterior. Les rodes davanteres van fixades sobre un suport basculant, això fa que a diferència d'un tricicle tradicional, el tricicle basculant es pugui inclinar en les corbes.

"Molts ciutadans necessiten la bicicleta per portar el seu fill a l'escola, per anar a treballar o per a transportar mercaderies, però les bicicletes convencionals no estan preparades per a aquesta utilització", indica Andoni García, fundador de la companyia Noomad Bike, que l'any 2012 va presentar diferents models de tricicle equipats amb doble roda davantera [1].

Així doncs, la idea d'aquest nou sistema de bicicleta, es va inventar per tal de cobrir necessitats que no estan satisfetes en el model tradicional de la bicicleta. D'aquesta manera, l'espai que hi ha entre les dues rodes, fa que l'usuari hi pugui col·locar objectes com un seient per a nens o un cistell per al transport d'objectes.

Aquest sistema no només cobreix més necessitats, sinó que es centra en la seguretat de les persones que en fan ús. Tot i oferir la mateixa mobilitat que una bicicleta, ofereix més seguretat, ja que bascula i permet que en efectuar una parada, l'usuari no tingui la necessitat de posar els peus a terra. Aquest fet fa que aquest tipus de bicicleta sigui per un rang més ampli d'usuaris, que persones amb capacitat motora reduïda o persones grans en puguin fer ús.









### 2.2. Estudi de mercat

#### 2.2.1. Velocípedes

Els tricicles, així com les bicicletes, són un tipus de velocípede. Aquest terme s'usa per a tot vehicle terrestre de propulsió humana, independentment del nombre de rodes.

Hi ha diversos dissenys pel que fa a l'estructura dels velocípedes. En relació amb el nombre de rodes, es diferencien el monocicle, la bicicleta, el tricicle i el quadricicle. Tot i això, els principals dissenys que s'utilitzen avui en dia, i els que és més fàcil trobar al mercat, són les bicicletes i els tricicles.

Pel que fa a la classificació segons la seva estructura, destaquen: la bicicleta de carreres, l'estàtica, la plegable, la reclinada, la BMX, el tàndem; el tricicle basculant i el convencional.

Bicicleta de carreres	Bicicleta estàtica	Bicicleta plegable	Bicicleta reclinada
			
Bicicleta BMX	Bicicleta tàndem	Tricicle basculant	Tricicle convencional
			

Taula 1. Tipus de velocípedes

Per a poder diferenciar els anteriors dissenys més enllà de la seva estructura, és important conèixer quina és la seva situació actual dins del mercat, i així tenir un punt de vista general sobre tots ells.

D'aquesta manera, s'ha realitzat un estudi tenint en compte el preu de mercat i la massa, dos factors decisius a l'hora d'escollir un velocípede.

Així doncs, primer de tot s'ha fet un estudi segons el preu. Com era d'esperar, el preu és un factor molt variant, és per això que en la gràfica es mostra l'interval de preu per a cada disseny, intervals que varien dels 150 als 3.200 €.

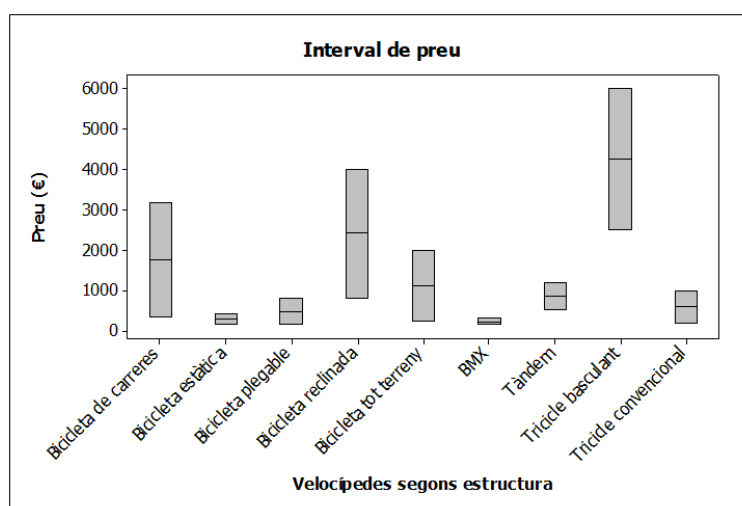


Figura 1. Interval de preu dels velocípedes en funció del tipus

Com es pot observar, el tricicle basculant és el disseny amb un major interval de preu, a causa de la complexitat del seu disseny i dels components que el configuren.

Un cop estudiat el preu, la segona característica que cal estudiar és la massa per a cada tipus de velocípede. Es tracta d'un factor que varia molt segons el tipus d'ús que se li vol donar al velocípede i sobretot, al material del qual està fabricat, és per això que varia entre els 2 i els 32 kg.

A la gràfica es pot observar com la tendència es troba en valors propers als 15 kg. Tot i això, destaquen dins dels grups amb major massa, la bicicleta estàtica, el tàndem i el tricicle basculant.

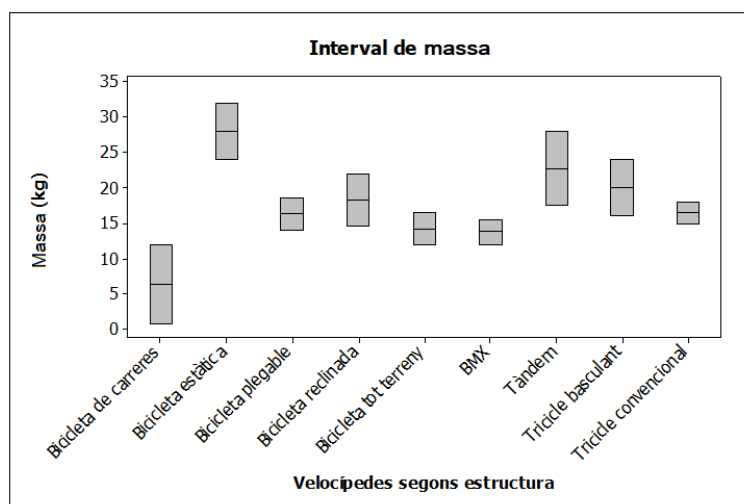


Figura 2. Interval de massa dels velocípedes en funció del tipus











## 2.2.2. Tricicles

Un cop analitzat l'estudi de mercat dels velocípedes, és necessari centrar-se en els tricicles, un vehicle terrestre de tres rodes. Els tricicles, d'una manera general, es classifiquen de la següent manera:

Tracció humana	Propulsat amb motor	Altres
Handbike	Cotxe esportiu	Bici-remolc
Tricicle basculant	Motocarro	Microcotxe
Tricicle comercial	Trike	
Tricicle reclinat		
Velomòbil		

Taula 2. Classificació dels tricicles

El tricicle de tracció humana és un velocípede de tres rodes que es desplaça per l'acció dels peus sobre els pedals. Pel que fa al tricicle propulsat per motor, a diferència dels de tracció humana, és un vehicle automòbil de tres rodes.

Handbike	Tricicle basculant	Tricicle comercial	Tricicle reclinat	Veomòbil
				
Cotxe esportiu	Motocarro	Trike	Bici-remolc	Microcotxe
				

Taula 3. Tipus de tricicles

Com el tricicle basculant es troba dins del tipus de tracció humana, es farà una anàlisi més detallada d'aquest subgrup. Per entendre tots els dissenys, és necessari tenir clar quin és el concepte i de quina manera funcionen els diferents tricicles.

La handbike o bicicleta de mà, és un tricicle on en comptes d'utilitzar els peus, la força es fa amb els braços. Aquest tipus de tricicle està pensat per a persones amb discapacitat. Va començar sent una bicicleta funcional i avui en dia ha esdevingut una disciplina dins del ciclisme de competició.

El tricicle basculant és una opció cada vegada més popular, un tricicle que s'inclina en el sentit de gir. Aquest tipus de tricicle ofereix molta seguretat i maniobrabilitat. Així doncs, a diferència d'un tricicle convencional, augmenta l'adherència al sol.

El tricicle comercial, a diferència de la resta de tricicles, consta d'un compartiment de càrrega situat a la zona davantera o al darrere. Això és possible a causa de la separació existent entre ambdues rodes. Així doncs, és una manera d'utilitzar un vehicle de transport d'una manera més econòmica i àgil.

El tricicle reclinat permet una conducció suau i segura. La seva alta estabilitat i seguretat és deu a la situació del seu centre de gravetat, a un nivell baix. La posició és més còmoda i aerodinàmica que en una bicicleta convencional, és per això que també es guanya velocitat. Entre els tipus de tricicles reclinats, es poden diferenciar segons si tenen les dues rodes davant o darrere.

El velomòbil o bicicleta cotxe, és un vehicle de tracció humana que disposa d'una carrosseria aerodinàmica. Això provoca una millora del seu avanç i proporciona una major protecció contra col·lisions i adversitats meteorològiques.

### 2.2.3. Comercialització de tricicles a l'estat espanyol

Pel que fa a la comercialització de tricicles, cal diferenciar entre aquelles empreses que fabriquen i les que importen el producte.

Actualment, no hi ha cap empresa espanyola que fabriqui els seus propis tricicles basculants. No obstant això, cal considerar que a uns 200 km de la frontera espanyola, hi ha una empresa situada a França, a Lege Cap Ferret, anomenada Airodin Sports, que fabrica models de la marca Optima.

Pel que fa a empreses que importen el producte, destaca l'empresa 3ike, situada a Madrid. Aquesta empresa importa i ven tricicles basculants. Jason Harris, de 3ike, comenta:

"Un tricicle basculant reuneix el millor de dos mons: les bicicletes i els tricicles. Ofereixen la seguretat de tres rodes, però amb els avantatges d'agilitat i velocitat d'una bicicleta de dues rodes." [2]

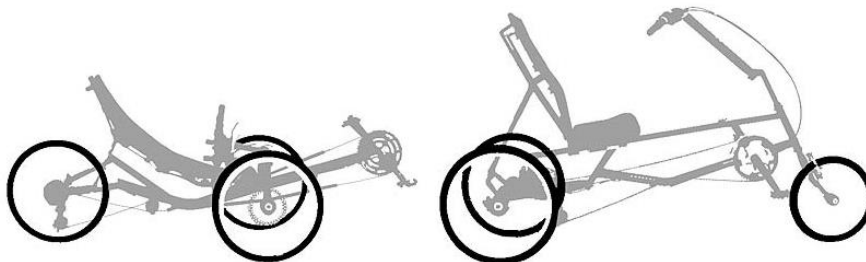
## 2.3. Estudi de les tecnologies

### 2.3.1. Configuracions generals d'un tricicle

Els tricicles tenen un disseny i un mode diferent del de les bicicletes convencionals. Aquest producte es dissenya afegint una roda, fixant així un parell de rodes sobre un suport basculant. Això fa que a diferència d'un tricicle tradicional, el tricicle basculant es pugui inclinar en les corbes.

El disseny presenta dues configuracions bàsiques, tipus "Tadpole", amb dues rodes davanteres i una posterior (2F1R), i per altra banda la configuració "Delta", amb una roda davant i dues darrere (1F2R) [3].

La configuració tadpole necessita un sistema semblant al de l'automòbil, és per això que s'ha de tenir en compte consideracions geomètriques com angles d'inclinació i avanç. Per altra banda, la configuració delta utilitza una direcció semblant a la de la bicicleta, més fàcil de construir i operar.



Il·lustració 1. Configuració "tadpole" i configuració "delta"

Per a poder conèixer de la millor manera possible aquestes dues configuracions, es farà un estudi de cada una d'elles analitzant els seus avantatges i inconvenients [4]. Amb aquesta anàlisi es podrà determinar quina de les dues opcions és la més idònia pel disseny que es vol dur a terme.

### **Configuració “Tadpole”**

Els principals avantatges d'aquest tipus són:

- Major estabilitat a causa del millor control sobre el vehicle.
- Major seguretat a la frenada, ja que les forces de desacceleració que es generen es distribueixen en les dues rodes frontals.
- Major maniobrabilitat a altes velocitat pel fet de tenir les dues rodes a la part davantera.

Per altra banda, els principals desavantatges són:

- Alt cost de producció.
- Direcció més complexa.
- Components especialitzats per a la construcció.

### **Configuració “Delta”**

Els principals aspectes a favor d'aquesta configuració són:

- Al tenir conceptes semblants als de la bicicleta convencional, es destaca la facilitat de construcció.
- Baix cost de producció, ja que els accessoris requerits són de fàcil adquisició.
- Radi de gir menor, causant una major maniobrabilitat en llocs estrets.
- Adequats per a persones amb mobilitat limitada, ja que són fàcils pel que fa a la pujada i la baixada del tricicle.

Els principals aspectes en contra són:

- Inestabilitat en les corbes.
- El frenat recau principalment sobre la roda davantera, provocant una inestabilitat en el frenat.



Un cop analitzats els avantatges i els inconvenients d'una configuració o l'altre, es pot observar que no hi ha un disseny millor. Ambdós dissenys ofereixen un alt grau de personalització i funcions, ja sigui per buscar una capacitat de transport de càrrega, una mobilitat elevada o una simple diversió.

Tenint en compte que el que es vol és dissenyar un tricicle estable i segur, es tria la configuració tadpole, ja que presenta unes millors característiques pel que fa a la maniobrabilitat i seguretat. Tot i això, el fet que tingui aquestes característiques, provoca un encariment del producte i un disseny més complex que caldrà analitzar amb detall.

### **2.3.2. Sistema basculant**

Un aspecte important que cal tenir en compte és si el sistema basculant presenta millores respecte al sistema estàndard. És per això que es fa un estudi dels avantatges i els inconvenients que presenta aquesta configuració en un tricicle.

Els principals avantatges d'un sistema basculant són:

- Major rapidesa i agilitat.
- Major estabilitat a les corbes.
- Major comoditat dels passatgers.
- Posició més relaxada.
- Requereixen una força menor per a realitzar maniobres.

Per altra banda, els principals desavantatges són:

- Més complexitat.
- Pes més elevat.
- Cost major.

Com es pot observar, el sistema presenta una millora respecte a la configuració estàndard d'un tricicle, però tota millora té el seu preu. Aquest sistema d'inclinació proporciona un rendiment de viratge superior al d'un tricicle normal, una alta agilitat i maniobrabilitat, assegurant l'estabilitat fins als 40° d'inclinació i els 60° d'angle de direcció. Tot i això, és necessari comentar que com es tracta d'un sistema complex, aquest fet es veurà reflectit en un augment del cost i de la massa.

### 2.3.3. Arquitectura

L'arquitectura del producte és l'assignació dels elements funcionals als elements de construcció físics d'aquest. Cal tenir en compte que els components de cada model són diferents en funció del disseny i la funció pel qual es fabrica el tricicle, concretament un tricicle té diferents parts ubicades en diverses zones del vehicle.

El conjunt de parts es pot dividir en cinc grans grups: el quadre, les rodes, el seient, el tren davanter, el tren mitjà i el tren posterior. En la següent il·lustració es mostra la distribució de cada component i la zona on aquest s'ubica.



Il·lustració 2. Distribució dels components d'un tricicle tipus tadpole

### 2.3.4. Sistema de frens

En el procés de frenada, hi ha una variació de les reaccions normals a les rodes a causa de l'augment del pes en la part davantera, aquest fet provoca un increment de la força de fricció que acaba aturant el vehicle.

Hi ha diversos tipus pel que fa als sistemes de frenada, on destaquen els frens de llanda i frens de caixa. En els frens de llanda, la força de frenat s'aplica per la fricció dels coixinets, de cuir o de goma, sobre la llanda de la roda giratòria, provocant d'aquesta manera la frenada del tricicle. L'activació es produeix en comprimir una palanca situada en el manillar. Els frens de caixa poden ser de contra pedal, fent frenar la roda posterior en pedalejar cap enrere, o de tambor, on les dues sabates oposades per un moviment d'expansió es toquen amb l'interior d'un cilindre (tambor) que gira entre la roda i la caixa.

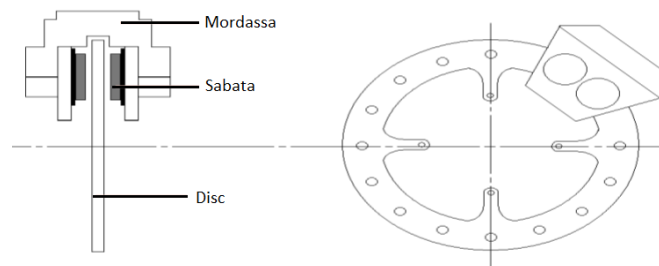
Dins d'aquests dos grups, cal destacar tres tipus de sistemes que són els més usats en el món dels velocípedes: frens de disc, frens V-Brake i frens de tambor.

## Frens de disc

Els frens de disc consisteixen en un sistema d'un rotor el qual es fixa a la maça, generalment per mitjà de cargols, i un caliper amb dues pastilles que en accionar-se, pressionen les dues cares del rotor.

Cal destacar dos tipus de frens de disc, amb accionament mecànic o hidràulic. En el sistema hidràulic, s'utilitza un oli lleuger que es desplaça des de la bomba a la mordassa, per tal d'aconseguir la transmissió de potència. En el sistema mecànic per cable, la frenada s'acciona a través d'una palanca unida a un cable que comprimeix les dues pastilles de fre contra el rotor.

En la següent il·lustració, es mostra un esquema del sistema de frens de disc, amb la distribució dels diferents components.



Il·lustració 3. Frens de disc

Com tot sistema, té els seus avantatges i inconvenients. És per això que és necessari tenir en compte les característiques d'aquest sistema de frens i determinar si és aquest l'ídoni per a la funció que han de realitzar.

Els principals avantatges són:

- Alta força de frenada i modulació.
- Frenada suau.
- L'efectivitat no es veu afectada per les condicions ambientals.
- La llanta no es desgasta pel frenat.

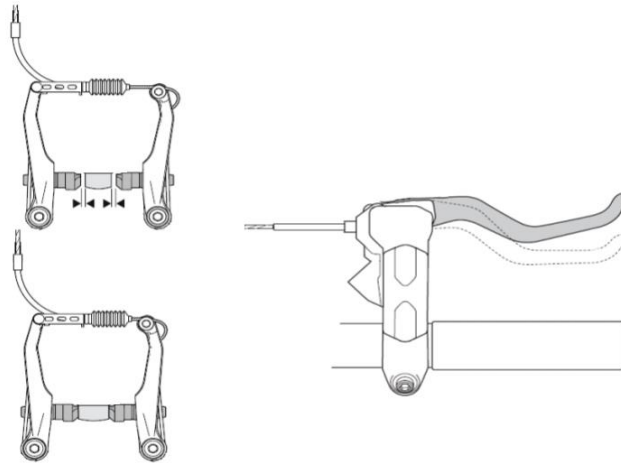
Alguns dels inconvenients són:

- Alt cost d'adquisició i manteniment.
- La forquilla pateix un major esforç al moment de frenada.
- Causa sorolls molestos.

## Frens V-Brake

Els frens V-brake pertanyen al subgrup de frens de llanda. Aquest tipus de frens utilitza la superfície de la llanda per aplicar la força de frenada. En accionar el mecanisme, el folre empeny un dels braços que es munten en paral·lel al quadre del tricicle.

En la següent il·lustració es mostra la manera d'efectuar la frenada en accionar la palanca del fre.



*Il·lustració 4. Frens V-Brake*

Algun dels beneficis d'aquest sistema enfront dels altres són:

- Lleugers ja que utilitzen la mateixa llanda pel frenat.
- Al moment de frenar ofereixen un esforç baix a la forquilla.
- Major compatibilitat amb accessoris.
- Cost baix.
- Manteniment baix.

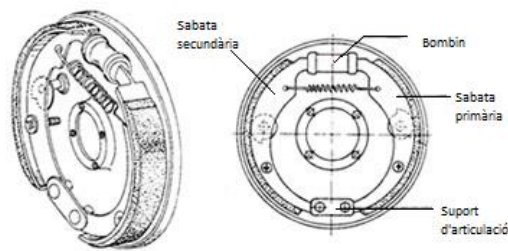
Els principals contres d'aquest sistema de frens són:

- La llanda està sotmesa al desgast.
- Possible escalfament de la llanda que pot provocar una punxada de la càmera.
- En algunes condicions ambientals l'efectivitat és baixa.

## Frens de tambor

Els frens de tambor és el sistema menys usat en el món de ciclisme. En comparació amb la resta de sistemes, aquest té un major pes i un funcionament més complex. El seu funcionament consisteix en un parell de sabates contingudes en un tambor, en accionar les sabates, aquestes pressionen cap a fora contra la cara interna del tambor i generar la frenada.

L'esquema del sistema de frens és el mostrat a la següent figura.



*Il·lustració 5. Frens de tambor*

Els principals avantatges són:

- L'efectivitat no es veu afectada per les condicions ambientals.
- Poc susceptibles al desgast de les llantes.
- Necessiten un baix manteniment.
- Proporcionen una frenada uniforme.

Els inconvenients són:

- Alt pes i complexitat.
- No tenen un tancament de ràpida fixació.
- Necessiten un període d'adaptació per aconseguir la màxima potència de frenada.

## Selecció del sistema de frens

Tenint en compte que un tricicle consta de tres rodes, concretament un tricicle de la configuració tadpole té dues rodes davanteres i una roda posterior, cal determinar quin tipus de fre és el més idoni per a cada una de les rodes.

En el procés de frenada hi ha un augment del pes en la part frontal del tricicle, és per això que és necessari que els frens davanters tinguin una alta força de frenada tot mantenint una frenada el més suau possible.

Tenint en compte les necessitats de frenada, s'escull el fre de disc per a les dues rodes davanteres. Aquesta tria fa augmentar el cost del producte però s'ha de tenir en compte que s'obté una frenada més eficaç.

Per altra banda, per a la roda posterior, no és necessari un grau de frenada tan elevat, és per això que per tal de reduir el cost i per una millor disposició, s'ha triat el fre V-Brake. Aquest fre té un baix manteniment però provoca un desgast de la llanda, d'aquesta manera caldrà tenir cura i revisar que tot es troba en les bones condicions.

### **2.3.5. Sistema de direcció**

El sistema de direcció permet que el vehicle segueixi el camí que el pilot desitja. La direcció pot estar ubicada a la part davantera o a la posterior del tricicle.

La direcció posterior consta d'un disseny més simple, un pes més lleuger, i un menor radi de gir, no obstant això, cal tenir en compte que aquest disseny presenta una major tendència a bolcar durant maniobres ràpides. Per altra banda, la direcció davantera és el camí més còmode, ja que incorpora un sistema de major facilitat pel pilot, una configuració més intuïtiva i anàloga al sistema que es fa servir en els automòbils d'ús quotidià.

En el cas d'un tricicle basculant, la direcció és davantera.

#### **Direcció per inclinació**

Un mecanisme més complex és el de direcció per inclinació que requereix la inclinació del mateix pilot en la direcció desitjada del gir. Hi ha diferents variacions, tot i que la més comuna és que les rodes modifiquin la seva geometria respecte a terra.

Aquest sistema provoca un desplaçament del centre de gravetat, augmentant el maneig del tricicle a altes velocitats. A més a més, el canvi d'angle de les rodes redueix les càrregues laterals i evita el lliscament. Cal destacar que a causa de la seva complexitat, és un sistema costós que cal valorar abans de la seva implementació.

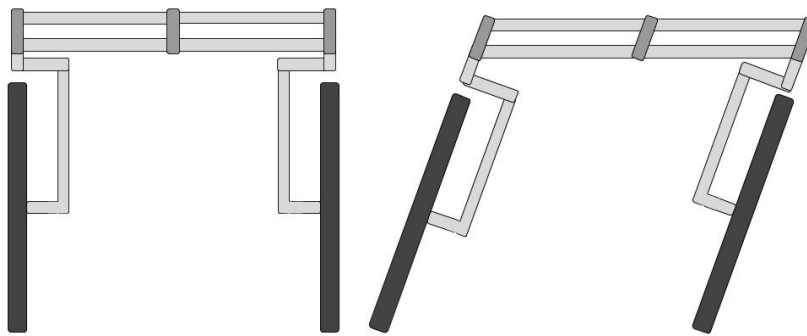
Hi ha diversos dissenys que permeten aconseguir la inclinació, és per això que cal fer un estudi i veure quin és l'adequat per al disseny desitjat.

El disseny ha de complir les necessitats del tricicle, tenint en compte els reptes que el disseny amb dues rodes davanteres comporta. La complicitat depèn en quant es vol que el disseny s'inclini. A més a més, un altre factor que cal destacar és la simplicitat i el pes, ja que no es vol un disseny pesat i complex.

Primer de tot, cal tenir en compte una sèrie de consideracions pel que fa a l'angle d'inclinació. És necessari assegurar que el tricicle inclini de la mateixa manera que ho fa una bicicleta o tricicle normal, on el màxim angle d'inclinació és de  $35^\circ$ . A més a més, tenint en compte que una motocicleta de tres rodes té un angle màxim de  $45^\circ$ , l'objectiu és aconseguir un angle entre  $35^\circ$  i  $45^\circ$ .

Un primer model és el que consta de dos braços paral·lels que malauradament, han d'estar situats just sobre les rodes per mantenir la prioritat de geometria del disseny.

La següent il·lustració mostra la geometria del disseny caracteritzat.



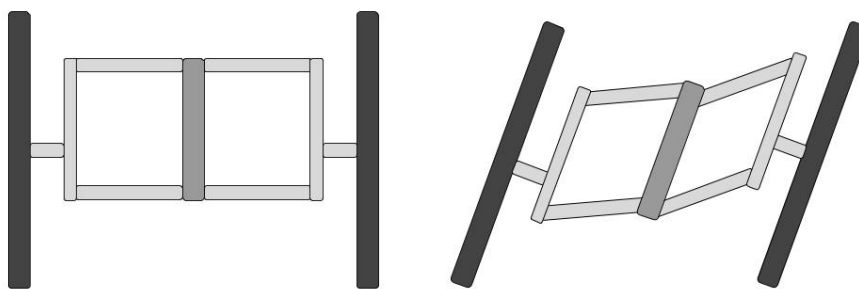
*Il·lustració 6. Model del primer disseny d'inclinació*

A causa de la inclinació, els braços es mantenen paral·lels al terra i les rodes es mantenen paral·leles a la línia central del tricicle. Tot i que aquest disseny funciona per a un tricicle, s'ha de tenir en compte que restringeix el diàmetre de la roda i augmenta considerablement l'àrea frontal. Els braços necessiten estar ben espaiats per donar-li el punt de rigidesa que fa que el disseny sigui el correcte, de manera que només és una opció per a la configuració del tricicle amb dues rodes a la part posterior, és a dir, la configuració delta.

Tot i ser una bona opció, en estar dissenyant un tricicle de configuració tadpole, aquesta no és una alternativa. Així doncs, és necessari trobar la geometria que millor es compara amb aquest disseny. El disseny que més s'assembla, ha de tenir el centre instantani de rotació situat en el mateix punt que el disseny comentat, tant el de la roda posterior com el de les davanteres.

El disseny proposat que més s'apropa a l'ideal, conserva els dos braços paral·lels però mou els pivots cap a l'interior, per estar ben situats respecte a les rodes. A més a més, els braços se separen en dos perquè d'aquesta manera permet realitzar una bona inclinació.

A continuació es mostra el model del disseny descrit.



*Il·lustració 7. Model del disseny d'inclinació final*

Com es pot observar, a la posició de repòs els braços estan alineats entre si i paral·lels a terra, però per un angle inclinat diferent de zero, això es deixa de complir. A més a més, cal destacar que les dues rodes no s'inclinen amb un mateix angle, aquest és lleugerament diferent. L'efecte de no inclinar-se el mateix angle es redueix en disminuir la distància entre ambdues rodes. Tot i això aquest efecte es desconeix i no s'estudia en aquest projecte, és per això que caldria fer un estudi sobre aquest aspecte en un prototip real.

### **Direcció per fil**

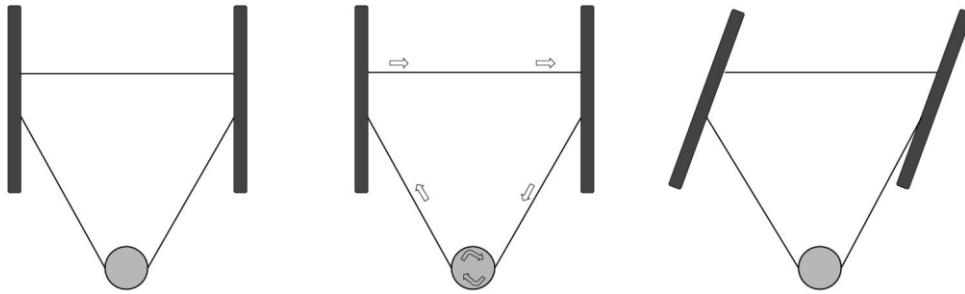
Un sistema guiat per fil és el que, en una configuració ideal, elimina la connexió mecànica entre el manillar i el sistema de direcció del vehicle. En un sistema bàsic de direcció, el conductor gira el manillar i aquestes entrades es transfereixen, mitjançant una sèrie d'eixos, cap a l'adreça de la direcció de la part davantera del tricicle.

Aquesta configuració ofereix diversos avantatges, entre els quals s'inclou un perfeccionament millorat, perquè la manca de connexió mecànica rígida, significa que no es transmeten vibracions al manillar.

En el disseny del tricicle, el mètode utilitzat és el que es mostra a continuació, on mitjançant dos cables, en efectuar el gir del manillar, el cable es tensa més o menys segons la direcció a la qual es vol girar. A més a més, hi ha un segon cable a la part frontal que ajuda a la roda que es destensa a efectuar el canvi de direcció del moviment.

En l'exemple, es mostra el sistema de direcció per fil en el cas d'efectuar un gir a la dreta. Primer de tot en girar el manillar es tensa el cable de la roda dreta i es destensa el de la roda esquerra. Aquesta tensió en el cable de la dreta, provoca un gir que alhora provoca una tensió al cable del davant. Aquest tensa a la vegada la roda esquerra per la zona frontal, que fa que aquesta també agafi la mateixa direcció que la roda dreta.





*Il·lustració 8. Esquema del sistema de direcció per fil*

Per tal que el gir efectuat per les dues rodes sigui el mateix que el gir efectuat pel manillar, és necessari que el radi de gir de la roda sigui el mateix que el radi de gir del cable respecte al manillar. Així doncs el radi de la politja ha de ser el mateix que el radi de gir de la roda, és a dir, la distància entre el centre de l'eix de la roda i el punt de contacte amb el cable. D'aquesta manera s'assegura que l'angle de gir que efectua el pilot amb el manillar, és el mateix que l'angle de gir de les rodes.

En aquest sistema de direcció no es respecta el principi d'Ackermann que diu que en una corba, els eixos de totes les rodes han de coincidir en un mateix punt. Com el tricicle a dissenyar no és per a altes velocitats ni per a una conducció extrema, inicialment no és un aspecte que es tingui en compte, tot i que en un prototip real s'hauria de comprovar.

### 2.3.6. Suspensió

Un tricicle acostuma a fer servir rodes més petites que una bicicleta estàndard. El problema que es genera és que la roda, al ser de menor mesura, proveeix una marxa més dura que les rodes de diàmetres grans. És per això que, un sistema de suspensió ben dissenyat, és el que pot oferir un maneig més esmorteït i suau [5].

#### Suspensió posterior

Fins fa poc, la majoria d'implementacions estaven limitades a la suspensió del darrere, ja que aquesta era extremadament fàcil de dissenyar i instal·lar. Malgrat tot, aquest sistema de suspensió pot ser refutable, ja que la roda del darrere només presenta un terç de l'impacte percebut per l'usuari.

La suspensió posterior és de fàcil implementació per a les dues configuracions a causa de les baixes complicacions tècniques. En aquest tipus de suspensió, és comú l'ús d'amortidors amb molla incorporada.

S'ha de tenir en compte que la roda posterior ofereix menys absorció dels cops que les rodes davanteres i és per això que cal fer ús de materials resistents i rígids, la qual cosa fa que el sistema de suspensió sigui més pesat.

## Suspensió davantera

La suspensió frontal és més efectiva en la reducció de l'impacte que la suspensió del darrere. Més del 60% dels impactes són produïts a les rodes davanteres. La suspensió frontal té els seus propis problemes, ja que un amortiment lleuger a la suspensió frontal és propens a causar un balanceig excessiu, compromentent per tant l'estabilitat del vehicle.

A diferència de la suspensió posterior, la davantera és tot un repte per a la configuració tadpole, ja que el seu disseny i configuració han d'estar en coordinació amb la direcció que tingui el vehicle, és per això que el dissenyador ha de tenir en compte més aspectes a l'hora de realitzar el disseny.

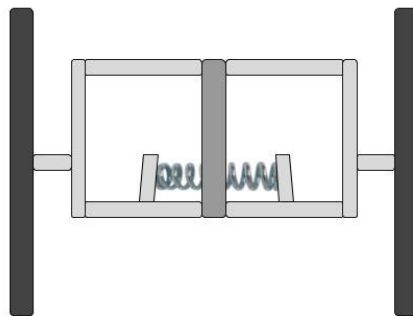
## Selecció de la suspensió

A causa de l'efectivitat en la reducció de l'impacte que té la suspensió davantera, s'escull aquesta com a model per al disseny del tricicle, ja que com s'ha comentat, més del 60% dels impactes es produeixen a les rodes davanteres.

De cara a la realització d'un prototip real, seria necessari tenir en compte que el disseny amb suspensió davantera és més complex i que caldria fer un bon estudi perquè la suspensió sigui la més efectiva possible.

Així doncs el sistema de suspensió anirà relacionat amb el sistema de direcció per inclinació, ja que la suspensió anirà situada en el sistema creat per tal de poder efectuar la inclinació del tricicle.

La suspensió s'efectua amb un amortidor col·locat entre els dos braços inferiors del disseny escollit per al sistema d'inclinació. L'efecte de la molla en produir-se la inclinació és neutre, així que en inclinar-se el tricicle la molla manté la mateixa longitud que en el cas de repòs.



*Il·lustració 9. Sistema de suspensió del tricicle*

### 3. Especificació bàsica

Per a dissenyar el quadre d'un tricicle, cal definir uns aspectes sobre els diferents components que el formen. Una sèrie d'especificacions s'han de tenir en compte per tal de definir els objectius i els límits en el que aquestes es troben. Aquestes especificacions es basen en les característiques que ha de tenir el tricicle per tal de complir unes prestacions adequades per al seu ús.

En la llista següent es mostren les especificacions que ha de complir el quadre pel que fa a la seva geometria, cinemàtica, pes, resistència i rigidesa.

Paràmetre	Objectiu	Rang requerit
Talla del tricicle	50 cm (Alçada de 1,65m)	Entre 49 i 52 mm
Massa total	20 kg	Entre 15 i 25 kg
Rodes davanteres	20"	Entre 18 i 22 "
Roda posterior	26"	Entre 25 i 28 "
Longitud total	180 cm	Entre 140 i 200 cm
Longitud del quadre	130 cm	Entre 100 i 150 cm
Amplada total	80 cm	Entre 60 i 100 cm
Alçada total	110 cm	Entre 100 i 150 cm
Angle de caiguda	20 graus	Entre 15 i 25 graus
Angle del tub del seient	75 graus	Entre 74 i 78 graus
Alçada eix de pedaler	30 cm	Entre 25 i 35 cm

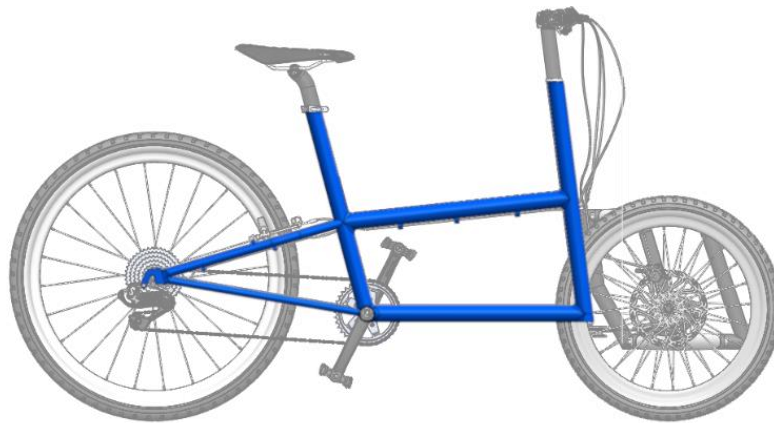
*Taula 4. Llistat de les especificacions bàsiques*

## 4. Disseny conceptual

### 4.1. Geometria del quadre

Una de les parts principals d'un tricicle és el quadre o xassís. El quadre està format per una sèrie de tubs soldats entre si que defineixen les característiques principals del seu comportament, així com descriuen la talla del tricicle.

Els principals elements d'un quadre són els dos tubs verticals, els dos tubs horitzontals, els tirants i les beines. La seva distribució es pot observar a la següent il·lustració.



*Il·lustració 10. Quadre d'un tricicle*

#### 4.1.1. Talla del tricicle

Els tricicles, igual que les bicicletes, tenen diferents mides, és per això que és necessari determinar la talla de cada persona. Aquesta talla determina la mesura del tub vertical que connecta el pedaler amb la tija del seient. Hi ha dos paràmetres que permeten decidir quina és la talla corresponent.

Primer de tot, es pot calcular la talla del tricicle a partir de l'alçada de la persona. Tot i això, no només s'ha de tenir en compte aquest paràmetre, ja que l'alçada d'una persona és una dada orientativa però no un valor definitiu. Cal tenir en compte que no totes les persones que mesuren el mateix tenen la mateixa llargada de cama.

A la taula següent es mostra la corresponent talla indicada tant en centímetres com en polzades.

<b>Alçada (cm)</b>	<b>Talla (cm)</b>	<b>Talla (polzades)</b>
1,55 a 1,60	47, 48	14, 15
1,60 a 1,65	49, 50	15, 16
1,65 a 1,70	51, 52	16, 17
1,70 a 1,75	53, 54	17, 18
1,75 a 1,80	55, 56	18, 19
1,80 a 1,85	57, 58	19, 20
1,85 a 1,90	59, 60	21, 22
+ 1,90	+ 61	+23

Taula 5. Talla del tricicle segons l'alçada

Com a segon paràmetre d'estudi, cal mesurar l'alçada del maluc. Aquesta mesura es realitza mesurant la longitud interna de la cama. Un cop mesurat el valor de la longitud, multiplicant aquest número per 0,21 s'obté la talla expressada en polzades. A la següent taula es mostra l'equivalència pel que fa a la longitud de la cama.

<b>Longitud cama (cm)</b>	<b>Talla (cm)</b>	<b>Talla (polzades)</b>
71 a 74	47, 48	14, 15
74 a 77	49, 50	15, 16
77 a 80	51, 52	16, 17
80 a 83	53, 54	17, 18
83 a 86	55, 56	18, 19
86 a 89	57, 58	19, 20
89 a 92	59, 60	21, 22
+ 92	+ 61	+23

Taula 6. Talla del tricicle segons la cama

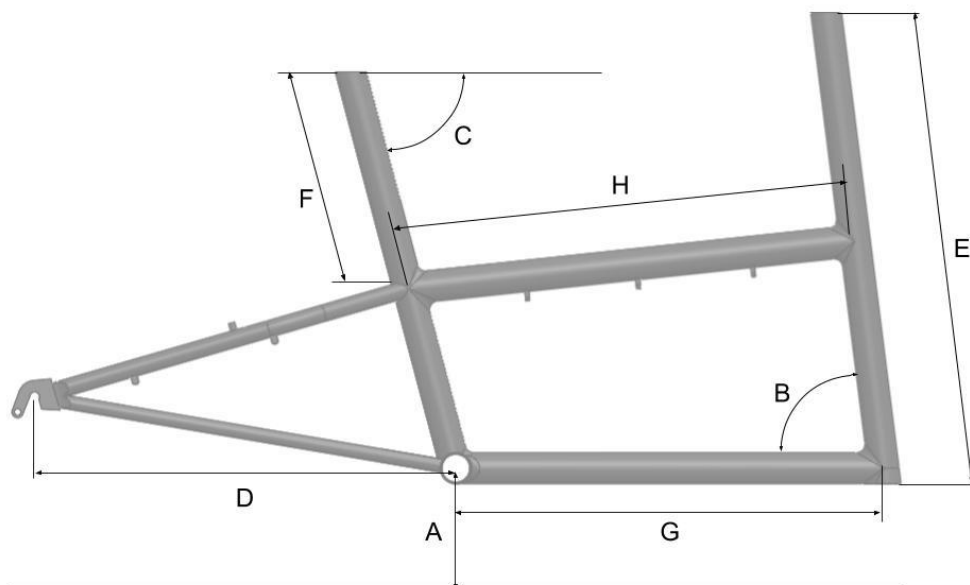
De vegades pot passar que, en fer el càlcul, el resultat estigui entre dos valors diferents. Hi ha dos criteris per a poder determinar quina és la talla més adient:

- Criteri biomecànic: Mesurar l'envergadura, longitud des de la punta d'una mà a l'altre amb els braços estirats. Si el resultat és major a l'alçada total de la persona, escollir una talla superior. Per exemple si el valor obtingut és de 54 i mig, la talla escollida seria de 55.
- Criteri del tipus d'ús: Caldrà escollir la talla petita si l'ús que se li donarà al tricicle és esportiu o de competició. Per altra banda, s'escollirà la gran per a un ritme més suau on la comoditat és la prioritat.

### 4.1.2. Paràmetres de la geometria

La mida i l'ergonomia del tricicle vénen descrits per una sèrie de paràmetres que prenen un valor determinat segons l'ús i les característiques que ha de tenir el tricicle. Cal tenir en compte tots els paràmetres dels quals disposa el quadre per a determinar les mesures necessàries que ha de tenir.

En la següent il·lustració es mostra la ubicació dels diferents paràmetres.



*Il·lustració 11. Paràmetres del quadre d'un tricicle*

- Alçada de l'eix del pedaler (A): distància entre el centre de l'eix de pedaler i el terra. Aquesta distància és important, ja que cal evitar que els pedals toquin obstacles que pugui tenir el terreny.
- Angle de direcció o d'atac (B): angle del tub de direcció respecte a l'horitzontal.
- Angle del seient (C): angle de la recta horitzontal que forma el seient amb el tub del seient.
- Distància entre l'eix del pedaler i l'eix de la roda posterior (D): mesura entre el centre de l'eix de pedaler i el centre de l'eix de la roda.
- Longitud del tub de direcció (E): mesura del tub de direcció en el qual es col·loquen les cassoletes de direcció per tal d'articular el gir de la direcció transmès pel manillar.

- Longitud del tub del seient (F): mesura des del centre de l'eix del pedaler fins on va situada la tija del seient. Aquesta mesura és la que defineix la talla del tricicle, expressada en polzades, valor que multiplicat per 2,54 dóna la mesura en centímetres.
- Longitud del tub horitzontal inferior (G): mesura del tub inferior del quadre que uneix l'eix del pedaler amb el tub de direcció.
- Longitud del tub horitzontal superior (H): mesura del tub superior del quadre que uneix el tub del seient amb el tub de direcció.

## 4.2. Material

Els materials més comuns amb els quals es fabrica el quadre del tricicle són: acer, alumini, fibra de carboni, titani i aliatges [6]. La major part dels velocípedes estan fets d'alumini o d'acer, tot i que la tria del material depèn de la funcionalitat que se li vulgui donar al tricicle. Cada tipus de material té unes propietats i ofereix una sèrie de característiques diferents.

La utilitat del tricicle té un pes important a l'hora d'escollir el tipus de material. No és el mateix un tricicle de competició, on la rigidesa i la lleugeresa tenen un paper important, que un tricicle per a fer llargues rutes per trams amb irregularitats al camí, que exigeixen més flexibilitat i durabilitat.

Un altre factor a tenir en compte és el temps d'ús, ja que no tots els materials es desgasten al mateix temps. La fibra de carboni és un material sensible a grans impactes però poc proper a un desgast a causa de seu ús. L'acer s'oxida amb major facilitat que l'alumini, però té una durabilitat major.

Per altra banda, el pes és un altre factor a tenir en compte, ja que els diferents materials difereixen en la seva densitat. El quadre d'un tricicle de fibra de carboni pot ser 400 grams més lleuger que si fos d'alumini. Per contra, un quadre fet d'acer és tres vegades més pesat que un d'alumini. Cal considerar que hi ha diferents factors que afecten el pes com són les rodes i els diferents components dels quals disposa.

Finalment, el pressupost s'ha convertit en un punt important a l'hora d'escollir un tricicle. Si només es té en compte el quadre, generalment, un tricicle d'alumini és més car que un d'acer, així com un de fibra de carboni és molt més car que un d'alumini, i un de titani té un major cost de fabricació que la resta de materials.

El material del qual està compost el tricicle és una decisió important, ja que com s'ha comentat, algunes de les característiques principals d'aquest depenen del seu material. És per això que, per tal de prendre la millor decisió, s'ha realitzat una taula amb les principals propietats dels diferents materials.

Material	Densitat (g/cm <sup>3</sup> )	Preu (€/kg)	Propietats	
			Avantatges	Inconvenients
Acer	7,85	0,5	- Resistent - Fàcil de soldar - Baix cost	- Dúctil i mal-leable - S'oxida amb facilitat - Alta densitat
Alumini	2,71	1,3	- Lleuger - Alt grau de flexibilitat - Alta resistència a l'impacte	- Complicat de soldar - Poca resistència a la fatiga mecànica
Fibra de carboni	1,75	30	- Alta resistència mecànica - Alta rigidesa - Gran capacitat d'aïllament tèrmic - Molt lleuger	- Elevat preu de producció - Difícil control de qualitat
Titani	4,51	30	- Gran resistència mecànica - Bona flexibilitat - Biocompostable	- Resistent a la corrosió - Cost elevat

Taula 7. Propietats dels diferents materials

#### 4.2.1. Selecció del material

Pel que fa al quadre del tricicle s'ha de tenir en compte que el material ha de ser molt resistent. S'ha escollit l'acer, concretament l'AISI 430. És l'aliatge més conegut i més freqüent dins la família de l'acer per a la construcció de quadres de bicicletes i tricicles. Aquest presenta una alta resistència a la corrosió en estructures soldades, una excel·lent ductilitat i una alta resistència amb un baix pes.

Propietat	Valor	Unitats
Mòdul elàstic	200	GPa
Coefficient de Poisson	0,28	N/A
Tensió de ruptura	508	MPa
Tensió límit elàstic	291	MPa
Densitat	7720	Kg/m <sup>3</sup>

Taula 8. Propietats de l'acer AISI 430

Per tal de disminuir la massa del tricicle, es tria l'alumini per a la fabricació dels braços articulats de les rodes davanteres encarregats de la inclinació. L'alumini és un material de construcció comú a causa de la seva baixa densitat, resistència i reduït preu. Hi ha molts aliatges d'alumini, però per a la construcció de tricicles i bicicletes destaquen el 6061 i el 7005 per la relació que tenen de rigidesa-duresa.



Els dos aliatges anomenats tenen unes propietats molt semblants. Els dos materials passen per un tractament tèrmic T-6 que consisteix a refredar el material a l'aigua un cop aquest ha estat extruït. Finalment s'escull l'alumini 6061 T-6, ja que és més econòmic i més fàcil de tractar, amb bones característiques de soldadura i corrosió.

<b>Propietat</b>	<b>Valor</b>	<b>Unitats</b>
Mòdul elàstic	68,9	GPa
Coefficient de Poisson	0,33	N/A
Tensió de ruptura	313	MPa
Tensió límit elàstic	259	MPa
Densitat	2700	Kg/m <sup>3</sup>

*Taula 9. Propietats de l'alumini 6061 T-6*

## 5. Disseny detallat

### 5.1. Disseny 3D amb SolidWorks

Per al disseny del tricicle és necessari crear tantes peces com components es tinguin. Un cop totes les peces es tenen creades es pot procedir a realitzar un assemblatge per a poder obtenir el disseny final. El disseny es realitza utilitzant el programa CAD SolidWorks, que permet crear les diferents peces del tricicle a partir de les mesures desitjades i escollir el material de cada un dels components.

El tricicle consta de diferents parts, entre les principals es troben el quadre i la part davantera encarregada de permetre una bona inclinació. A més a més, hi ha una sèrie de components necessaris per a tenir el tricicle ben definit i completament dissenyat.

#### 5.1.1. Disseny del quadre i del sistema d'inclinació

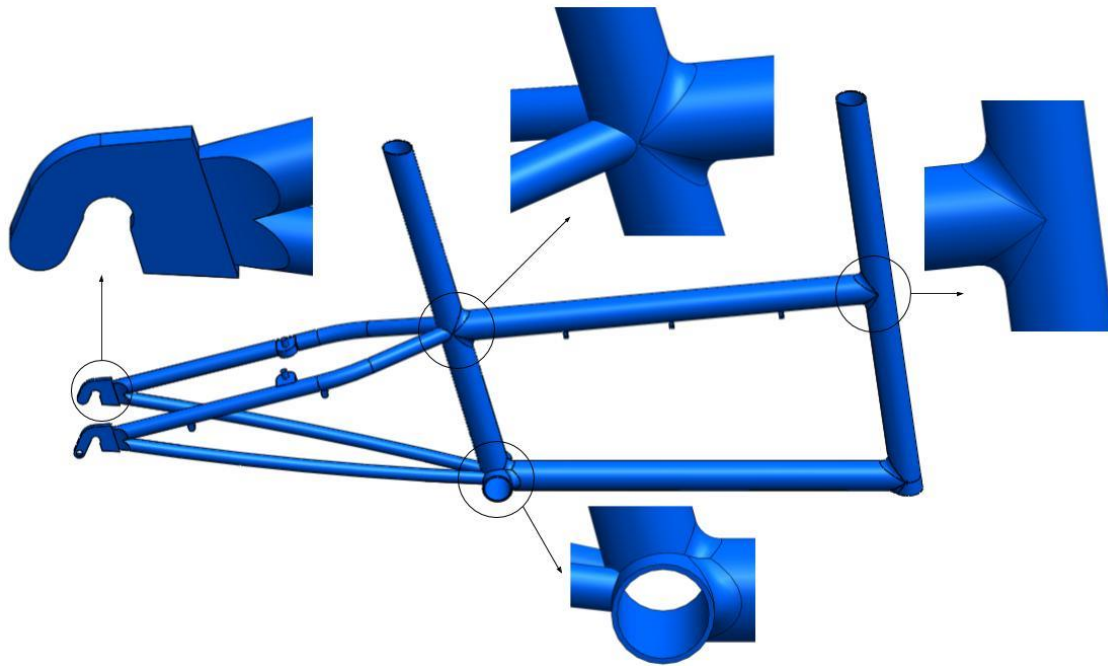
El quadre s'ha realitzat mitjançant una sèrie d'escombrats per a la realització dels tubs. Aquesta operació permet generar un sòlid a partir de la prolongació d'un perfil a través d'una trajectòria. Els tubs es realitzen escollint el diàmetre i el gruix, un gruix d'1,5 mm tenint en compte que el material escollit és l'acer. Excepte els tubs de la part posterior que són de 20 mm de diàmetre exterior, la resta de tubs són de 28 mm.

L'alçada de la persona és el paràmetre que fixa la longitud del tub vertical, el tub on es col·loca el tub del seient, en aquest cas de longitud 50 cm. S'ha determinat aquesta mesura considerant un ciclista d'1,65 m. Tot i haver establert la mesura del tub vertical per una alçada concreta, com el tub del seient és d'alçada regulable, no es limita l'ús només a persones d'aquesta alçada.

La zona posterior del quadre està dissenyada tenint en compte que s'hi ha de col·locar la roda posterior i tots els components per a poder fer el canvi de marxa. A més a més, també a la part posterior, s'han dissenyat unes peces per a poder fixar el fre de pinça.

Respecte als diàmetres de tubs o eixos, hi ha que van connectats o relacionats amb altres components i cal dissenyar-los en concordança. Pel que fa a l'eix del pedaler, aquest diàmetre s'ha escollit després de tenir el component del conjunt del pedaler dissenyat, per tal d'unir els dos components a través d'un roscat entre eix i tub.





Il·lustració 12. Disseny del quadre

Amb totes les mesures i els tubs dissenyats, el quadre té una longitud total de poc més d'un metre, una amplada de 137 cm i una alçada de poc més de mig metre. El conjunt de plànols del disseny del quadre es mostren en el capítol d'annexos, concretament en l'*Annex A*.

Un cop realitzat el disseny del quadre, és necessari definir el material per tal que aquest adquireixi una massa. El material escollit per al quadre és l'acer inoxidable tipus AISI 430, i configurant-lo, s'obté una massa total del quadre de 4,29 kg.

L'altra zona del tricicle que té un disseny detallat és la zona frontal, encarregada d'efectuar la inclinació d'aquest tipus de tricicle. Aquesta zona es podria dividir en una sèrie de subgrups: la zona central, els dos braços superiors, els dos braços inferiors i les dues barres laterals.

Aquest disseny de la part frontal s'ha executat tenint en compte el mecanisme de barres triat per efectuar la inclinació, amb braços superiors i inferiors que permeten una inclinació semblant, però no exacte, de les dues rodes davanteres.

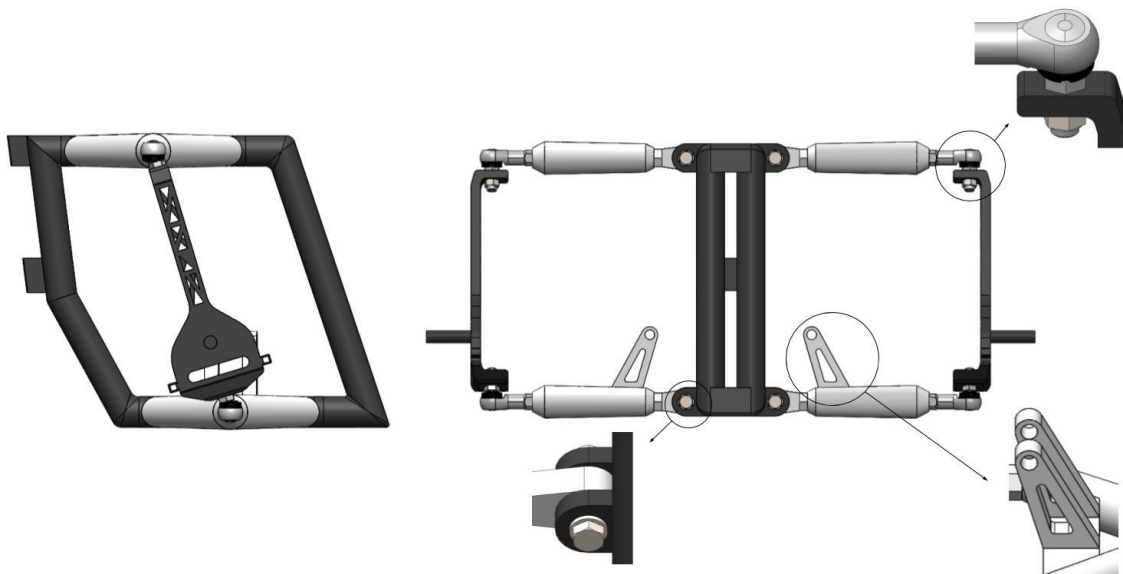
Primer de tot, la zona central és la que va fixa al quadre del tricicle i el connecta amb les dues rodes davanteres. Està formada per dos escombrats de diàmetre exterior 35 mm on s'uneixen els quatre braços.

Els dos braços superiors estan formats per dos escombrats de diàmetre variant, de 35 a 40 mm, formant un angle de 45° entre si. La unió amb la zona central es realitza mitjançant un clau i, per assegurar un bon moviment i fricció, es col·loca a l'interior del forat del braç dos casquets de bronze.

Per altra banda, els braços inferiors tenen, a més a més, una superfície per col·locar l'amortidor i així assegurar una bona suspensió davantera. La resta del component és igual que els braços de la zona superior.

Per acabar, les dues barres laterals van unides als braços superiors i inferiors a través d'una ròtula que permet el gir per tal d'efectuar la inclinació. Sobre aquestes dues barres laterals és on van fixades les dues rodes davaneres.

L'orientació de les dues barres laterals ha de tenir en compte l'angle d'avanç del pivot, l'objectiu del qual és crear estabilitat direccional sobre el vehicle i evitar les vibracions. L'angle varia depenent del tipus de vehicle que es vulgui dissenyar. Per a motocicletes de turisme es tenen angles d'avançada d'entre 20 i 30°, mentre que per motocicletes tipus cross l'angle pot reduir-se fins als 15°. Com que el tricicle que es vol dissenyar no és de competició però tampoc és un tricicle de passeig, s'escull un angle intermedi de 20°.



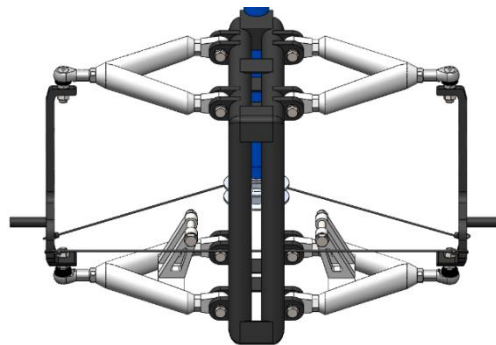
*Il·lustració 13. Disseny de la zona davantera*

Les mesures del disseny de la part frontal es mostren en el capítol d'annexos, concretament en l'Annex B. Així doncs, la longitud total de la zona frontal és d'aproximadament 75 cm, amb una amplada de 44 cm i una alçada de 33,5 cm.

Per acabar amb el disseny de la part frontal i la direcció del tricicle, és necessari afegir el mecanisme de direcció per fil. Com ja s'ha explicat anteriorment, aquest mecanisme s'actua en girar el manillar cap al camí que es vulgui prendre. El gir que el ciclista efectua sobre el manillar és traslladat al mecanisme a través d'un volant distribuïdor de la direcció, situat al final del tub de direcció.

Aquest volant té dos cables que van lligats a cada una de les parts laterals, connectades a les rodes davanteres. D'aquesta manera, quan el manillar pren una direcció, aquesta es trasllada sobre una de les rodes, i mitjançant un tercer cable situat més a la zona davantera, s'acaba de traslladar el moviment a l'altra roda.

En la següent il·lustració es pot observar el mecanisme descrit i com aquest va lligat tant al quadre com a la part frontal del tricicle. El diàmetre del volant distribuïdor és de 78 mm, distància igual al recorregut entre el centre de l'eix de la roda i el punt de contacte entre el fil i la part lateral de la zona frontal.



Il·lustració 14. Disseny de la direcció per fil

### 5.1.2. Definició i selecció de components

Un cop dissenyats i dimensionats el quadre i la zona davantera del tricicle, és necessari dissenyar la resta de components.

Així doncs, en aquest apartat es definiran i seleccionaran la totalitat de components que configuren el tricicle, alguns d'ells dissenyats amb SolidWorks i d'altres extrets de GrabCAD, una comunitat d'enginyers, dissenyadors i estudiants on hi ha fitxers creats de diferents dissenys. Els dissenys extrets de GrabCAD o d'altres fonts que s'ha integrat en el disseny, en el cas que el projecte fos real, s'hauria de realitzar un contracte amb les empreses de la compra de les peces.

D'aquesta manera, cal valorar els diferents tipus de components que hi ha al mercat i incorporar aquell que sigui el més adequat tenint en compte les necessitats i el disseny del tricicle. Per a cada un dels components es mostra una il·lustració on, a l'esquerra hi ha el component comercial i a la dreta el disseny en 3D. A més a més, s'adjunta una taula amb les principals característiques.

## Manillar

El manillar és el mecanisme encarregat de la direcció del tricicle i el suport per a altres components com les manetes de fre. El diàmetre del centre del manillar és important que estigui en concordança amb el de l'acoblament amb la potència. Per altra banda, la longitud del manillar, d'extrem a extrem, depèn del tricicle i de l'ús que se li vulgui donar. Un manillar llarg afavoreix la maniobrabilitat, l'estabilitat i l'equilibri, mentre que un manillar estret facilita la conducció entre possibles obstacles. D'aquesta manera, la mesura adequada es situa en un entremig entre un manillar llarg i un molt estret.



*Il·lustració 15. Manillar comercial i dissenyat*

Característica	Valor
Marca i model	Laurelmartina Gwendoll
Color	Blanc i negre
Diàmetre acoblament potència	31,8 mm
Longitud	783 mm
Material	Alumini 6061
Massa	303,73 g

*Taula 10. Característiques del manillar*

## Potència

La potència o també anomenada tija del manillar, és el component que serveix com a unió entre el manillar i el tub de direcció. D'aquesta manera, és l'encarregat de transmetre la direcció indicada a través de la rotació del manillar a les rodes davanteres. A més a més, la forma i la grandària de la potència juguen un paper important en la postura del cos que adopta el ciclista.



*Il·lustració 16. Potència comercial i dissenyada*

Característica	Valor
Marca i model	Truativ Hussefelt
Color	Negre mate
Diàmetre acoblament manillar	31,8 mm
Diàmetre acoblament tub	28,6 mm
Longitud	40 x 60 mm
Material	Alumini 6061
Massa	211 g

*Taula 11. Característiques de la potència*

## Manetes

La funció principal de la maneta és la d'accionar el fre del tricicle. El fre és l'encarregat de garantir la seguretat en ocasions extremes o habituals. És important que la maneta s'adapti al manillar i que suposi un ús còmode per al ciclista.

A més a més dels frens, a la maneta dreta s'ubica el canvi de marxes posterior, per així poder canviar les marxes per assolir una millor conducció adaptada a les condicions.



*Il·lustració 17. Maneta comercial i dissenyada*

<b>Característica</b>	<b>Valor</b>
Marca i model	Kaiwei
Color	Negre mate
Diàmetre acoblament manillar	22 mm
Longitud	160 mm
Material	Alumini 6061
Massa	363 g

*Taula 12. Característiques de les manetes*

## **Roda**

Els dissenys de tricicles tenen una gran varietat pel que fa a la mida de les rodes, ja que afecta directament a l'eficiència, pes i ergonomia del tricicle.

Una roda està composta per un pneumàtic a l'interior del qual hi ha una cambra d'aire. El pneumàtic és una peça de cautxú que té com a funció principal permetre un contacte amb el paviment, contacte amb adherència i fricció. La ubicació del pneumàtic és sobre la llanda, compostes normalment per un aliatge d'alumini.

Un tricicle consta de tres rodes de diferents mesures, una de major mida i les altres dues més petites. La mida de les rodes s'expressa en polzades que tenen una equivalència pel que fa al diàmetre de la roda [7].

<b>Polzades (")</b>	<b>Diàmetre interior (mm)</b>
20	406
24	507
26	559
29	622

*Taula 13. Mida de les rodes i equivalència de diàmetres*

La roda posterior és l'encarregada de mantenir la rigidesa del quadre i d'aplicar la tracció del tricicle. Així doncs, pel que fa als tricicles i al seu disseny, s'utilitzen rodes d'entre 26 i 29 polzades de diàmetre per tal d'obtenir una transmissió de potència òptima.

Per altra banda, com el pneumàtic davanter té més càrrega lateral, no és recomanable utilitzar rodes de gran diàmetre. És per això que per a les rodes davanteres les mesures es troben entre les 18 i les 22 polzades.





*Il·lustració 18. Roda comercial i dissenyada*

Característica	Valor
Marca i model	FireCloud Cycles
Color	Negre i plata
Diàmetre	20 " / 26 "
Radis	24 radis
Material llanda	Alumini 6061
Material neumàtic	Cautxú
Massa	1,1 kg / 1,4 kg

*Taula 14. Característiques de les rodes*

### Plat i bieles

Els plats i les bieles són el component propulsor de la transmissió del tricicle. Conjunt encarregat de convertir el moviment de les cames del ciclista en la rotació utilitzada per a moure la cadena. Els plats consten de diferents dents, nombre situat entre 20 i 48 dents.

La seva composició es basa en un conjunt de plats units a les bieles, on es subjecten els pedals del tricicle. La connexió al quadre del tricicle es fa a través de l'eix del pedaler, que es connecta de manera ajustable a la caixa de pedaler del quadre.



*Il·lustració 19. Plat i bieles comercial i dissenyat*

Característica	Valor
Marca i model	Sram NX
Color	Negre i plata
Nombre de dents	37 dents
Longitud biela	173 mm
Material plat	Acer
Material biela	Alumini
Massa	710 g

Taula 15. Característiques del plat i les bieles

## Pedals

El pedal és el component que gira sobre un eix ancorat a la biela. Els pedals es componen de dues parts, la part de suport on es col·loca el peu, i l'eix, on es col·loca el suport. Per a millorar la comoditat del ciclista, el pedal pot rotar per així adaptar-se a la posició del peu.



Il·lustració 20. Pedal comercial i dissenyat

Característica	Valor
Marca i model	Eltin
Color	Negre mate
Material	Alumini
Massa	310 g x 2

Taula 16. Característiques dels pedals

## Pinyons

El pinyó és la roda més petita del parell de rodes que conté un tricicle en una cadena de transmissió. La cadena de transmissió és l'encarregada de transmetre el moviment dels pedals a la roda del darrere. Els pedals fan girar els plats que alhora transmeten el moviment a la cadena que tot seguit, transmet la rotació als pinyons que finalment, ho transmeten a la roda posterior.



Il·lustració 21. Pinyons comercials i dissenyats

Característica	Valor
Marca i model	Shimano TZ
Color	Plata
Dentat	15 a 43 dents
Material	Acer / Alumini
Massa	212 g

Taula 17. Característiques dels pinyons

### Desviador posterior

El desviador posterior s'encarrega de canviar la cadena de pinyó i mantenir la cadena tensada en passar. Una de les característiques principals del desviador és la longitud de la caixa, distància entre la politja guia (superior) i la politja tensora (inferior).



Il·lustració 22. Desviador posterior comercial i dissenyat

Característica	Valor
Marca i model	Shimano SX
Color	Negre
Longitud de la caixa	80 mm
Material	Alumini
Massa	280 g

Taula 18. Característiques del desviador posterior

## Cadena

La cadena és el component del tricicle encarregat de transmetre la potència dels pedals a les rodes. Aquest sistema s'utilitza des dels inicis de les bicicletes degut a la seva simplicitat, eficiència energètica, facilitat de manteniment i preu.

Consta d'una sèrie de rodets que transfereixen l'empenta a la roda o rodes propulsors del tricicle. El gruix de la cadena depèn del nombre de pinyons que aquesta tingui.



Il·lustració 23. Cadena comercial i dissenyada

Característica	Valor
Marca i model	Shimano XT
Color	Negre i plata
Longitud total	1,6 m
Pas	1/2"
Amplada de rodet	5/32"
Material	Acer
Massa	270 g

Taula 19. Característiques de la cadena

## Seient

El seient és un component que té un pes molt important sobre la comoditat del ciclista, ja que és el component del tricicle on s'asseu.

Hi ha molts tipus de seients diferents, on destaquen els models amples i els allargats. Depèn de la modalitat de sortida que es vulgui prendre amb el tricicle, s'escull un model o altre. Els tricicles de passeig acostumen a tenir seients més amples, mentre que els seients més estrets solen ser per a modalitats amb major velocitat.



*Il·lustració 24. Seient comercial i dissenyat*

<b>Característica</b>	<b>Valor</b>
Marca i model	Mein Hertz
Color	Negre
Diàmetre tija	35 mm
Angle del seient respecte la tija	15 graus
Material	Poliuretà, cuir i alumini
Massa	310 g

*Taula 20. Característiques del seient*

### **Pinça de fre de disc**

Element encarregat d'aturar l'acceleració de les dues rodes davanteres del tricicle. En accionar la maneta del fre, es produeix una pressió de les dues pastilles de fre sobre el disc que finalment provoquen l'aturada del tricicle.



*Il·lustració 25. Pinça de fre comercial i dissenyada*

<b>Característica</b>	<b>Valor</b>
Marca i model	Shimano Caliper B01S
Color	Negre mate
Material	Alumini
Massa	200 g x 2

*Taula 21. Característiques de la pinça de fre*

## Disc

El disc de fre pot tenir diferents dissenys, alguns són massissos mentre que d'altres tenen la superfície ratllada o amb forats que l'entravessen. El fet de tenir forats provoca una major dissipació de la calor i ajuda a l'evacuació de l'aigua de la superfície de frenada.



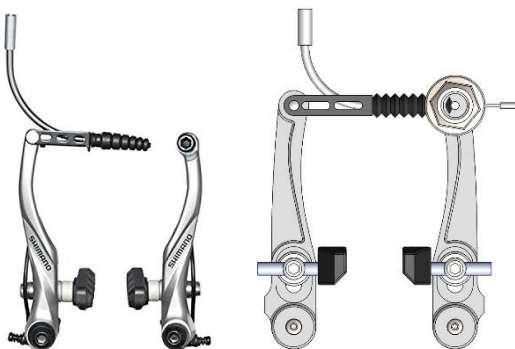
*Il·lustració 26. Disc comercial i dissenyat*

Característica	Valor
Marca i model	Shimano SLX
Color	Plata
Diàmetre exterior	185 mm
Material	Acer
Massa	180 g x 2

*Taula 22. Característiques del disc*

## Fre V-Brake

Sistema de frenada per a la roda posterior. La potència de frenada d'aquest tipus de fre és molt bona en relació amb la força que cal efectuar a la maneta de fre situada al manillar del tricicle. L'ajustament d'aquest fre és ràpid i senzill, és per això que requereix molt poc temps de muntatge. Aquest tipus de frenada es basa en exercir pressió sobre les dues cares laterals de la llanda.



*Il·lustració 27. Fre V-Brake comercial i dissenyat*

Característica	Valor
Marca i model	Shimano BR-T4000
Color	Plata mate
Longitud de l'arc	107 mm
Material	Alumini
Massa	360 g

Taula 23. Característiques del fre V-Brake

## Parafang

El parafang és el conjunt que envolta, en aquest cas, la roda posterior del tricicle. La seva funció principal és evitar que la roda sigui esquitxada per aigua, fang o altres, en girar o circular. Hi ha vehicles que tenen el parafang incorporat en el xassís del vehicle, però en el cas del tricicle, s'ha mantingut com a part independent.



Il·lustració 28. Parafang comercial i dissenyat

Característica	Valor
Marca i model	Zefal Paragon
Color	Negre
Radi	370 mm
Material	Alumini
Massa	200 g

Taula 24. Característiques del parafang

## Amortidor de molla

L'amortidor és l'encarregat d'absorbir els impulsos d'un xoc, incrementar la comoditat i la capacitat de control sobre un terreny amb irregularitats. A més a més, és un component de la suspensió del tricicle que ajuda al fet que les rodes es mantinguin a terra.

L'amortidor està compost per la carcassa pròpia de l'amortidor i per una molla. En aquest projecte no s'ha treballat amb els paràmetres dels dos components, tant pel que fa a la constant K de la molla com pel que fa a la constant C del amortidor.



*Il·lustració 29. Amortidor comercial i dissenyat*

Característica	Valor
Marca i model	Exa Form
Color	Negre
Longitud	180 mm
Recorregut	38 mm
Diàmetre forat	12 mm
Material	Acer
Massa	470 g

*Taula 25. Característiques de l'amortidor*

## Ròtula

La ròtula és el component que es col·loca a la part frontal del tricicle, com la unió entre les barres horitzontals i la barra lateral on es troba l'eix de les rodes frontals. És l'encarregada de permetre el gir que permet tant el canvi de direcció de les dues rodes, com el canvi d'inclinació del tricicle.



*Il·lustració 30. Ròtula comercial i dissenyat*



Característica	Valor
Marca i model	Misumi
Color	Negre
Longitud	180 mm
Diàmetre forat	12 mm
Material	Alumini
Massa	60 g

Taula 26. Característiques de la ròtula

### Reflector posterior

El joc de llums en un tricicle ofereix una conducció segura. La llum és un component adequat per a tota mena de clima i proporciona una visibilitat per a una major seguretat i protecció en condicions adverses. A més a més, aquest reflector permet ajustar la brillantor a la necessitat de la conducció.



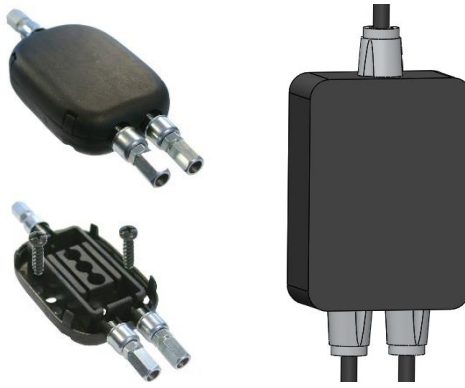
Il·lustració 31. Reflector comercial i dissenyat

Característica	Valor
Marca i model	Busch and Muller
Color	Negre
Material	Plàstic
Massa	38 g

Taula 27. Característiques del reflector

### Separador de cable de fre

El separador de cable de fre permet actuar els dos frens davanters actuant una sola maneta. Aquest divisor consta d'una entrada i dues sortides. L'entrada és la que connecta el separador amb el cable situat a la maneta de fre, mentre que a la sortida es troben els dos cables que accionen la pinça de fre de disc.



Il·lustració 32. Separador de cable de fre comercial i dissenyat

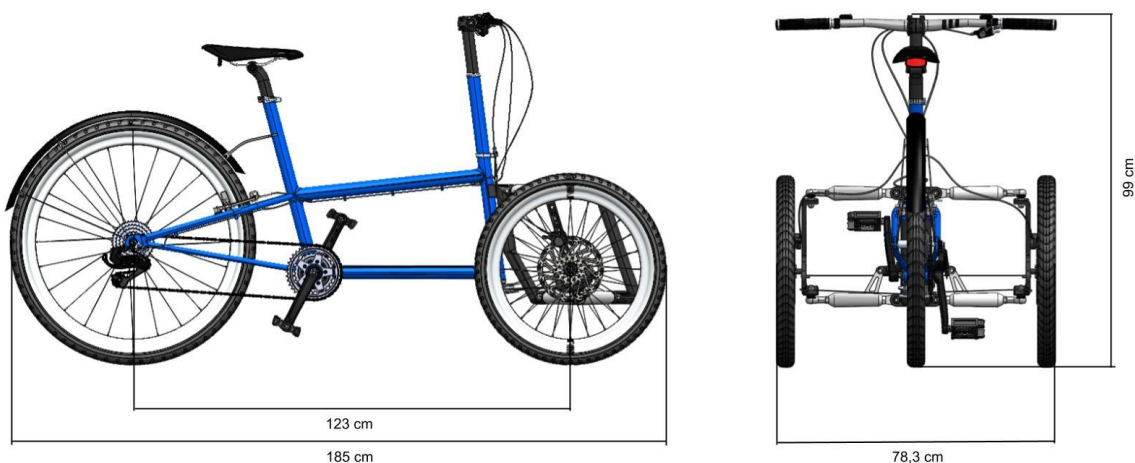
Característica	Valor
Marca i model	Sacson R version
Color	Negre
Material	Plàstic
Massa	53 g

Taula 28. Característiques del repartidor de líquid de frens

### 5.1.3. Disseny final

Amb totes les parts dissenyades, es du a terme l'assemblatge de tots els components. Per a realitzar l'assemblatge, és necessari imposar les relacions de posició entre els components que estiguin en contacte i definir la relació a l'espai.

En el disseny final del tricicle es poden definir unes dimensions principals característiques com són: l'alçada, la llargada, l'amplada i la distància entre els eixos de les rodes davanteres i la roda posterior.



Il·lustració 33. Disseny final del tricicle amb dimensions principals

Finalment, per a poder determinar si s'han assolit els objectius marcats en iniciar el projecte, és necessari fer un estudi dels conceptes i característiques citades al punt d'especificacions bàsiques. En aquest punt es van definir diferents aspectes sobre els diferents components que formen el tricicle, especificacions que calia tenir en compte a l'hora de dissenyar-lo.

Així doncs, tenint en compte el llistat d'especificacions, es fa un càlcul de diferents mesures mitjançant el SolidWorks per a poder determinar si s'ha assolit l'objectiu o si la mesura està dins del rang requerit.

<b>Concepte</b>	<b>Mesura final</b>	<b>Objectiu inicial</b>
Alçada de l'eix de pedaler	26 cm	30 cm
Alçada total	99 cm	110 cm
Amplada total	78,6 cm	80 cm
Angle de caiguda	20 graus	20 graus
Angle del tub del seient	75 graus	76 graus
Distància entre els eixos de les rodes	123 cm	130 cm
Longitud de l'eix de pedaler	6,8 cm	-
Longitud del tub de direcció	57,5 cm	-
Longitud del tub vertical	50 cm	-
Longitud del tub horitzontal inferior	52 cm	-
Longitud del tub horitzontal superior	50 cm	-
Longitud total	185 cm	180 cm
Massa total	21,8 kg	20 kg
Roda posterior	26 "	26 "
Rodes davanteres	20 "	20 "

*Taula 29. Mesures finals del tricicle*

Amb el conjunt de mesures finals i tenint en compte les especificacions citades abans de començar el disseny, es pot concloure que tots els paràmetres establerts estan dins del rang requerit. A més a més, moltes de les especificacions tenen un valor molt proper a l'objectiu.

Així doncs, aquest és el disseny final del tricicle.



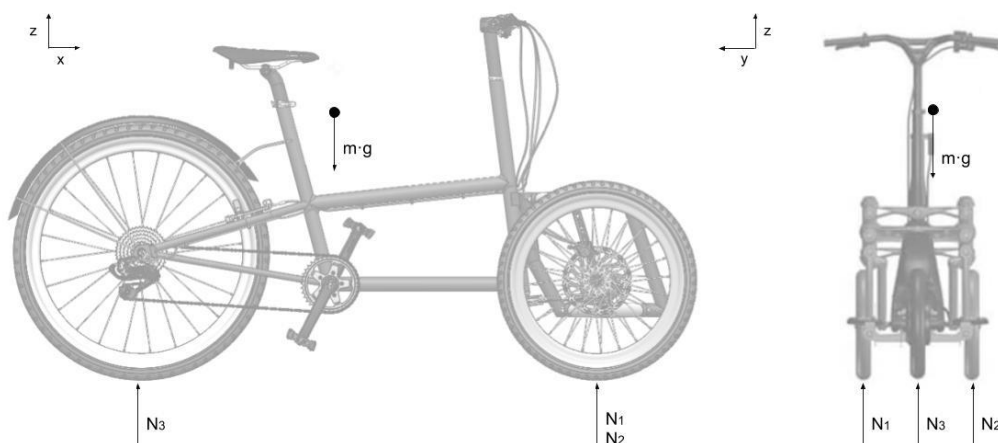
*Il·lustració 34. Disseny final del tricicle vista general*

## 5.2. Càlcul de les reaccions

En aquest apartat del treball es durà a terme un càlcul teòric de les reaccions entre cada una de les rodes en contacte amb el terra. D'aquesta manera, es realitzarà els càlculs necessaris per tal de determinar les tres reaccions normals.

### 5.2.1. Cas estàtic

En la situació estàtica al tricicle se li apliquen les següents forces que provoquen moments entorn a l'eix X i l'eix Z en el centre de gravetat del conjunt tricicle i ciclista.



*Il·lustració 35. Diagrama de forces sobre el tricicle*

Les incògnites són les tres reaccions a les rodes, ja que la massa total és una dada. La massa és de 91,8 kg, tenint en compte que el tricicle té una massa de 21,8 kg i considerant una massa mitjana de 70 kg per a l'usuari del tricicle.

Per al càlcul de les forces, es té en compte que el sumatori de forces en l'eix Y és igual a zero. A més a més, es considera que el sumatori de moments entorn dels tres eixos al centre de gravetat també ha de ser igual a zero, ja que el sòlid no es troba en moviment.

$$\sum F_z = 0 \quad + N_1 + N_2 + N_3 - m \cdot g = 0$$

$$\sum M_x = 0 \quad + N_1 \cdot y_{1g} - N_2 \cdot y_{2g} + N_3 \cdot y_{3g} = 0$$

$$\sum M_y = 0 \quad - N_1 \cdot x_{1g} - N_2 \cdot x_{2g} + N_3 \cdot x_{3g} = 0$$

Un cop es té el sistema de tres equacions i tres incògnites, es crea una matriu per tal de trobar els valors de les reaccions utilitzant el programa Matlab.

$$\begin{bmatrix} 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\ 0,3841 & -0,3988 & 0,0073 \\ -0,6795 & -0,6795 & 0,5517 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} N_1 \\ N_2 \\ N_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 900,56 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Solucionant aquest sistema s'obté els valors de les tres reaccions pel cas estàtic.

$$N_1 = 200,89 \text{ N}$$

$$N_2 = 202,64 \text{ N}$$

$$N_3 = 497,03 \text{ N}$$

### 5.2.2. Cas dinàmic

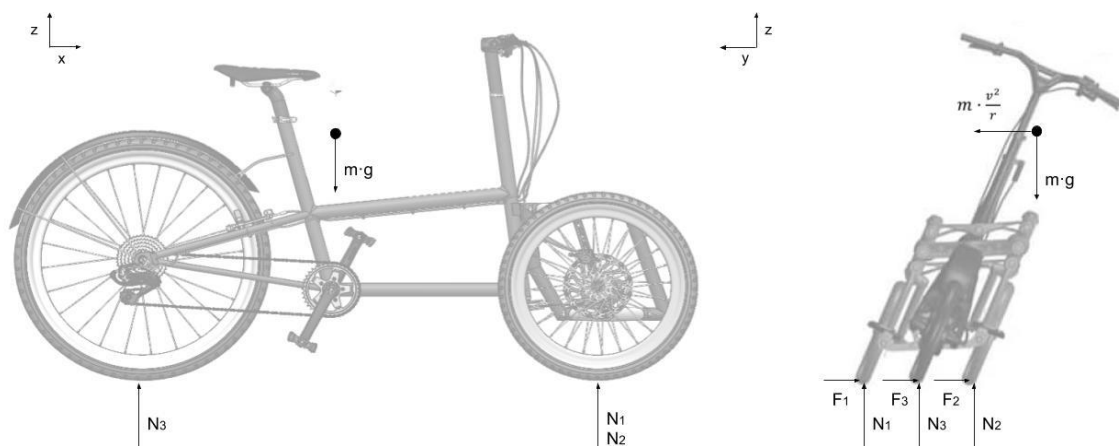
Un cop calculades les reaccions a les rodes, cal calcular un cas més crític per assegurar que el disseny aguanti. És per això que es fa un estudi de les reaccions però en efectuar un gir a la dreta i en inclinar el tricicle.

Es considera una inclinació de 40° respecte a la vertical, una velocitat de 20 km/h i que el tricicle es mou sobre asfalt ( $\mu=0,8$ ). Amb aquestes dades i sabent que la massa total del conjunt és de 91,8 kg, es determina un mínim radi de gir de 3,94 m.

$$v = \sqrt{\mu \cdot g \cdot r}$$

En aquest cas, apareixen una sèrie de forces i reccions que no es tenien en el cas estàtic. En el contacte entre roda i terra apareix una força de fricció i en el centre de gravetat hi actua l'acceleració centrípeta que dóna lloc a la força inercial fictícia.

En aquest apartat es calculen les tres reaccions normals, per altra banda, el càlcul de les forces de fricció es troba en l'apartat d'Annexos, concretament en l'Annex C.



Il·lustració 36. Diagrama de forces sobre el tricicle inclinat

Si es considera una acceleració constant, és a dir, una acceleració angular nul·la, llavors els moments entorn dels tres eixos són nuls. D'aquesta manera, fent sumatori de forces al centre de gravetat en la direcció y i sumatori de moments al punt 1 entorn a x i a z, es dedueixen tres equacions de les quals es poden determinar les tres reaccions normals.

Al centre de gravetat:

$$\sum F_z = 0 \qquad + N_1 + N_2 + N_3 - m \cdot g = 0$$

Al punt 1:

$$\sum M_x = 0 \qquad -N_2 \cdot y_{21} - N_3 \cdot y_{31} + y_{g1} \cdot m \cdot g - z_{g1} \cdot m \cdot \frac{v^2}{r} = 0$$

$$\sum M_y = 0 \qquad + N_3 \cdot x_{31} - m \cdot g \cdot x_{g1} = 0$$

Un cop es té el sistema de tres equacions i tres incògnites, es creen dues matrius a Matlab per tal de trobar la solució al sistema.

$$\begin{bmatrix} 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\ 0 & 0,7329 & 0,3665 \\ 0 & 0 & 1,2313 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} N_1 \\ N_2 \\ N_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 900,56 \\ 359,17 \\ 611,97 \end{bmatrix}$$

Solucionant el sistema s'obté els valors de les tres reaccions.

$$N_1 = 161,98 \text{ N}$$

$$N_2 = 241,54 \text{ N}$$

$$N_3 = 497,03 \text{ N}$$

### 5.2.3. Càlcul de les forces pel criteri de les 5G

Un cop calculades les reaccions a cada una de les rodes, tant pel cas estàtic com pel cas dinàmic efectuant una corba, s'observa com el segon cas és lleugerament més crític.

Per a fer l'estudi, s'aplica el criteri de les 5G, que s'utilitza en estudis de resistència i rigidesa, ja que té en compte efectes dinàmics com cops, caigudes, o obstacles; i també els efectes de sol·licitació a la fatiga. D'aquesta manera, l'esforç aplicat es troba per sobre del que se li aplicaria al tricicle en condicions normals d'ús.

Així doncs, pel criteri de les 5G, es multiplica per cinc el valor de les reaccions i del pes per a realitzar la comprovació del disseny del tricicle amb elements finits.

$$P = 900,56 \cdot 5 = 4.502,8 \text{ N}$$

$$N_1 = 161,98 \cdot 5 = 809,9 \text{ N}$$

$$N_2 = 241,54 \cdot 5 = 1.207,7 \text{ N}$$

$$N_3 = 497,03 \cdot 5 = 2.485,2 \text{ N}$$

S'ha calculat pel criteri de les 5G les quatre forces, tot i que a ANSYS només se li proporciona la força referent al pes del tricicle i la persona. Per altra banda, el càlcul de les tres reaccions normals servirà per a realitzar una comprovació més detallada al final d'aquest projecte.

### 5.3. Comprovació amb elements finits amb ANSYS

L'estudi amb elements finits es realitza amb l'ajuda del programa ANSYS Workbench.

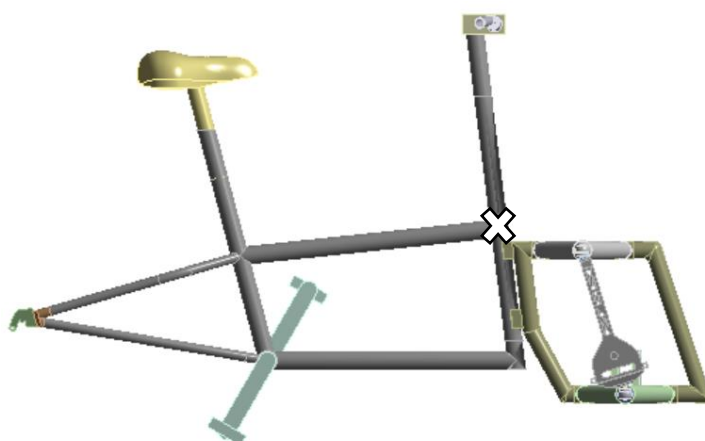
Primer de tot cal crear un nou projecte a ANSYS del tipus "Static estructural" i definir les propietats dels materials que seran utilitzats. Es definiran dos materials, l'acer AISI 430 i l'alumini 6061 T-6.

Un cop definits els materials, el següent pas és el d'importar la geometria. La geometria importada és una simplificació del disseny del tricicle, ja que ANSYS no pot mallar algunes zones del disseny a causa de la seva complexitat. A més a més, la geometria importada no consta de tots els components del tricicle, només aquells que ens interessin per l'estudi, el quadre, la part frontal, els pedals, el manillar i el seient.

Amb la geometria ja importada, és necessari definir el material corresponent a cada component. Al tenir els materials ja definits, només cal anar component a component i seleccionar el material que li correspon.

A continuació, cal realitzar un mallat de l'element per a poder fer la simulació i analitzar els resultats. L'element finit utilitzat pel mallat és de tipus tetraedre. Per a saber quin mallat és el més precís per a ser utilitzat, es procedeix a fer un estudi de la tensió equivalent de Von Mises en un punt concret, per a determinar quan el valor de la tensió passa a convergir. El punt triat és un punt amb esforços però no amb els màxims, ja que aquests varien en un grau major. El punt escollit és el que es situa a la unió del tub de direcció amb el tub horitzontal superior del quadre.

En la següent il·lustració es pot veure tant la geometria importada com el punt seleccionat per a l'estudi del mallat.



*Il·lustració 37. Geometria importada a ANSYS i punt d'estudi*



El mallat s'ha fet escollint la mida de l'element, entre 100 i 4 mm. Per a cada un dels mallats corresponents a les mides de l'element, s'ha observat la tensió equivalent en el punt indicat.

Mesura de l'element (mm)	Nombre d'elements	Tensió equivalent (MPa)
100	123767	48,724
50	124032	54,955
25	136290	60,093
10	205333	65,75
7	269814	68,094
5	406016	70,981
4	587785	71,021

Taula 30. Tensió màxima per als diferents mallats

Per a poder determinar quan convergeix la tensió màxima en el punt, es realitza una gràfica per tenir una millor visualització.

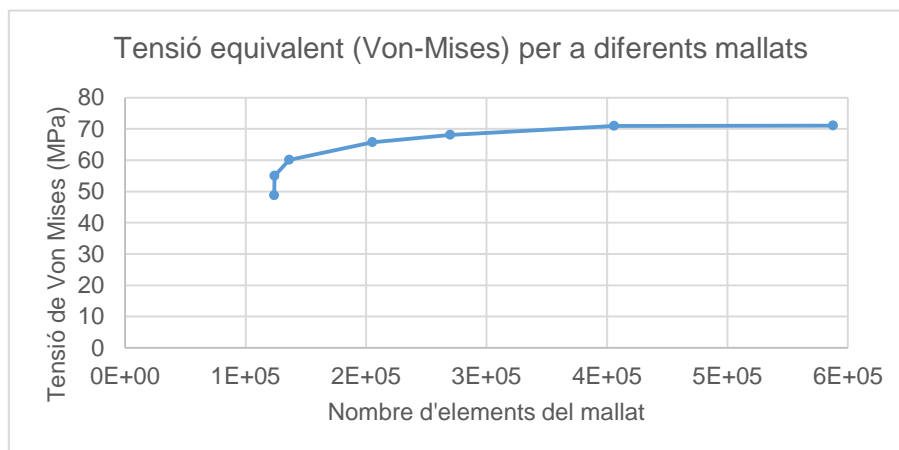
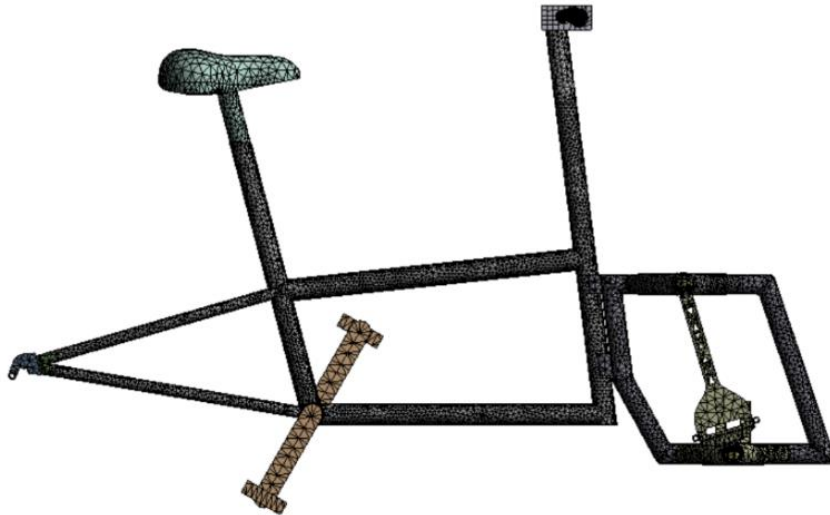


Figura 3. Gràfica de la tensió màxima per als diferents mallats

Així doncs, el mallat escollit és el que té una mida de l'element de 5 mm. A més a més, per una millor precisió, s'ha fet un mallat més fi en algunes zones del disseny. Concretament, s'ha refinat en els punts d'unió dels diferents tubs del quadre i en algunes zones de la part davantera, zones on hi ha més activitat quant a les tensions.



*Il·lustració 38. Mallat final del disseny*

Tot seguit, s'ha d'imposar les condicions de contorn perquè no hi hagi problemes a l'hora de realitzar els càlculs en la simulació.

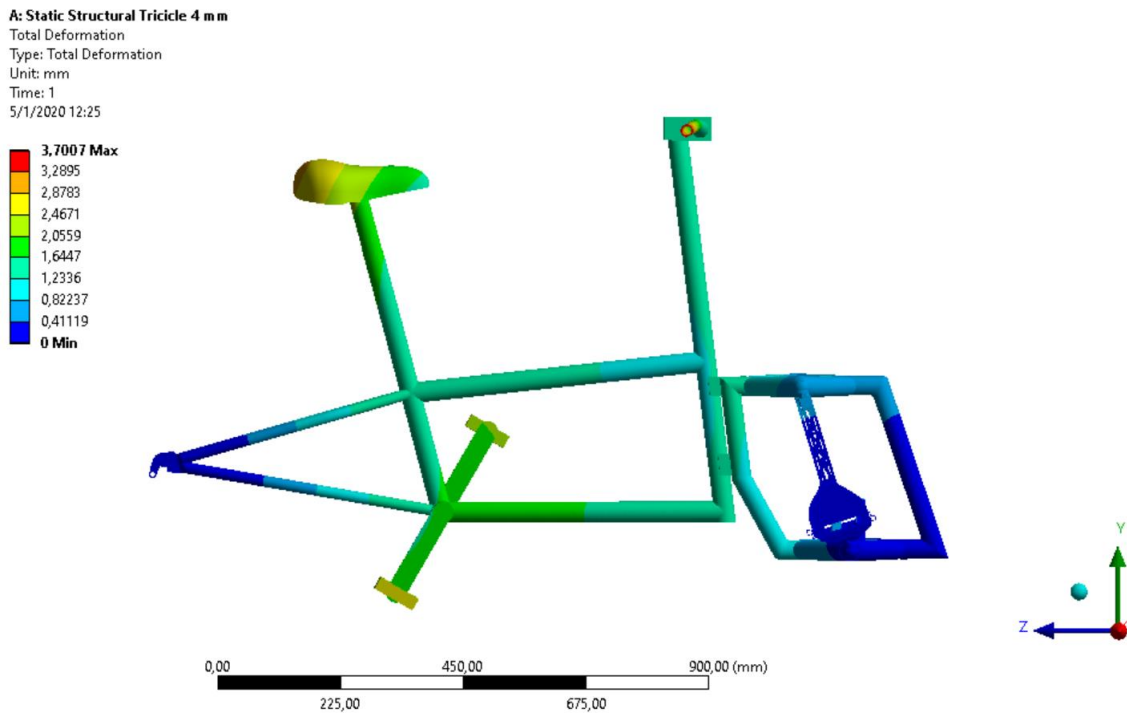
- El punt de contacte entre el quadre i l'eix de la roda posterior no té desplaçament lineal en cap dels eixos.
- Els dos punts de contacte entre la part frontal i els eixos de les dues rodes davanteres no es desplacen en la direcció vertical.

A continuació, és necessari aplicar les forces que es tenen en el tricicle: el propi pes i el pes del ciclista. És important tenir en compte el sentit i la direcció de cada una de les forces. El valor de les forces es considera tenint en compte el criteri de les 5G.

- Definir l'acceleració de la gravetat en la direcció Z negativa.
- Definir el pes del ciclista en la direcció Z negativa de la següent manera:
  - 60% del pes al seient.
  - 40% del pes al manillar.
  - 40% del pes als pedals.

Amb les condicions de contorn i les forces ja definides, es pot executar el programa perquè calculi els primers resultats.

Primer de tot, es fa un estudi dels desplaçaments totals del disseny, per a assegurar que el desplaçament és mínim o negligible. Pel que fa a la deformació, es pot observar que aquesta apareix en major nombre en la zona del manillar i del seient.



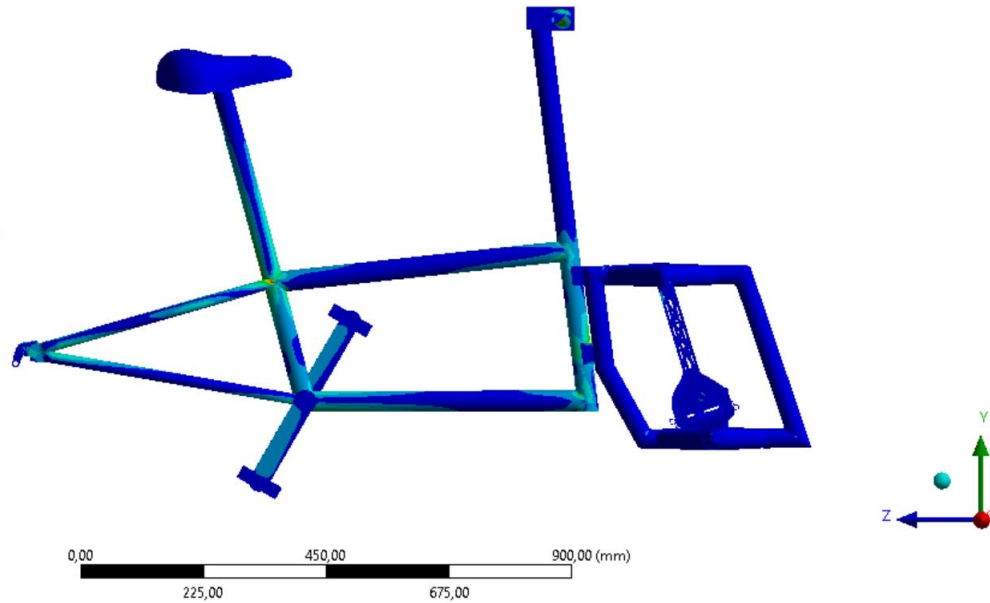
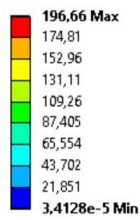
*Il·lustració 39. Estudi de les deformacions*

La deformació màxima és de 3,7 mm, situada en la zona del manillar. És un valor baix i tenint en compte que s'ha considerat el criteri de les 5G, aquest valor en la realitat és cinc cops menor, donant així un valor molt raonable que no suposa un problema.

A més a més, cal considerar que s'està suposant unes forces molt extremes i que aquest desplaçament no posa en perill l'estructura del tricicle o el ciclista. D'aquesta manera es considera un desplaçament baix que no afecta el bon funcionament del tricicle.

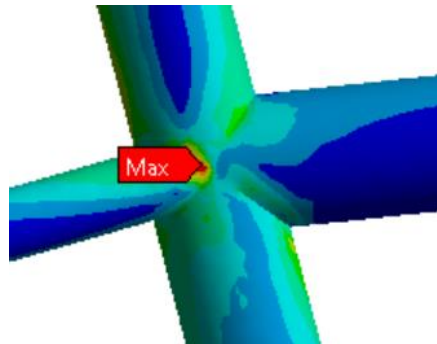
A continuació, es fa un estudi de les tensions de l'element, per a poder caracteritzar quina és la tensió màxima que aquest pateix. Al tractar-se d'un material dúctil, la tensió a observar és la tensió equivalent de Von Mises per així veure la distribució de les tensions al llarg del disseny.

A: Static Structural Tricicle 4 m m  
 Equivalent Stress  
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress  
 Unit: MPa  
 Time: 1  
 5/1/2020 12:26



Il·lustració 40. Estudi de les tensions de Von-Mises

Es pot observar que les tensions compleixen les especificacions de tensió màxima admissible, ja que la tensió màxima del conjunt és de 196,66 MPa.



Il·lustració 41. Punt amb tensió de Von-Mises màxima

Com es pot observar en la il·lustració anterior, pot ser que el punt de tensió màxima sigui degut a una zona de concentració de tensions. El conjunt d'elements al voltant del punt de tensió màxima tenen tensions menors, d'entre 30 i 150 MPa, així doncs el valor màxim podria no ser real i caldria realitzar un estudi complet per determinar si és una zona de concentració de tensions.

Aquesta tensió màxima està situada en la unió dels tubs del quadre de la zona posterior del tricicle, per tant està situada en el quadre. El quadre té com a material l'acer, amb tensió admissible de 291 MPa, és per això que es pot dir que compleix amb l'especificació. A més a més, el coeficient de seguretat addicional per l'acer, tenint en compte que el criteri de les 5G està aplicat, és el següent:

$$\gamma_{se\_acer} = \frac{\sigma_{admissible}}{\sigma_{equivalent}} = \frac{291,00}{196,66} = 1,5$$

Per altra banda, la tensió màxima que s'observa en les zones d'alumini és de 119,57 MPa, amb tensió admissible de l'alumini de 259 MPa. El coeficient de seguretat addicional per a l'alumini és:

$$\gamma_{se\_acer} = \frac{\sigma_{admissible}}{\sigma_{equivalent}} = \frac{259,00}{119,57} = 2,2$$

Així doncs, es pot concloure que es compleixen les especificacions de tensió admissible tant per l'acer com per l'alumini.

Per acabar amb l'estudi d'elements finits, s'ha fet una anàlisi de les reaccions en el punt de contacte entre el quadre i la roda posterior i, entre la part frontal i les dues rodes davanteres. Concretament sobre aquells punts als quals se'ls ha restringit el desplaçament lineal com a condició de contorn.

Aquest càlcul s'ha realitzat en l'apartat anterior de manera teòrica, per a tenir una idea dels esforços que el tricicle podia arribar a patir. A partir de l'anàlisi amb ANSYS, s'ha arribat a la conclusió que les reaccions calculades i les reaccions obtingudes en l'anàlisi són valors propers.

Reacció	Càlcul teòric cas estàtic	Càlcul teòric cas dinàmic	Comprovació ANSYS
N <sub>1</sub>	1.004,5 N	809,9 N	806,5 N
N <sub>2</sub>	1.013,2 N	1.207,7 N	992,7 N
N <sub>3</sub>	2.485,2 N	2.485,2 N	2239,6 N

Taula 31. Valor de les reaccions normals calculades i amb ANSYS

## 6. Planificació

Per a poder fer el seguiment del projecte de la manera més eficient possible, és important planificar la feina que es farà al llarg del temps que dura aquest treball. Així doncs, es planteja una previsió del desenvolupament de les diferents etapes de les quals consta el projecte.

L'ordre és important, ja que l'objectiu és assolir el producte desitjat i perquè aquest es pugui dur a terme, s'ha de seguir uns passos de la manera més eficaç possible. Així doncs, és necessari analitzar les fases i preveure el temps necessari per així centrar l'esforç en aquelles fases que necessitin una durada major.

El projecte comprèn diferents etapes que es duen a terme des de el 18 de setembre del 2019 fins al 16 de gener del 2020. El seguit d'etapes que s'ha seguit per a dissenyar el tricicle han estat les següents:

<b>Activitat</b>	<b>Descripció</b>
A	Planificació
B	Estudi de mercat i investigació tecnològica
C	Anàlisi funcional i de components
D	Objectius i abast del projecte
E	Definició de les especificacions
F	Disseny conceptual
G	Disseny detallat
H	Impacte ambiental i pressupost
I	Redacció memòria

*Taula 32. Descripció de les diferents fases del projecte*

Un cop es tenen totes les fases ordenades temporalment, es fa ús del diagrama de Gantt per a poder representar la planificació d'una manera més visual, indicant l'inici i el final de cada etapa.

ACTIVITAT	INICI	FINAL	Durada (setmanes)	Setembre	Octubre	Novembre	Desembre	Gener
A	18-set	25-set	1	█				
B	18-set	16-oct	4	█	█			
C	2-oct	23-oct	3		█			
D	16-oct	23-oct	1		█			
E	16-oct	30-oct	2		█			
F	23-oct	6-nov	2		█			
G	6-nov	18-des	6			█	█	
H	18-des	25-des	1				█	
I	12-des	16-gen	5				█	█

Figura 4. Diagrama de Gantt del projecte

## 7. Pressupost

Tot projecte té un cost, i és per això que s'ha fet una estimació econòmica d'aquest, de manera que es podrà tenir una visió sobre el que podria costar el disseny d'aquest tricicle quant al treball i a les eines utilitzades. Els costos considerats són els d'enginyeria, sense tenir en compte les fases de prototipatge.

Per efectuar el pressupost, s'ha de tenir en compte diferents aspectes. Primer de tot, cal considerar els costos que avaluen les hores de feina com a enginyer i les eines utilitzades per a dur a terme el projecte. Així doncs, caldrà considerar el cost de les llicències del programari utilitzat.

Aquest projecte de fi de grau equival a 12 crèdits ECTS, és a dir, 300 hores, dividides en diferents etapes i tasques. Es considera una primera etapa de disseny, seguida de l'elaboració del tricicle en 3D amb l'ajuda de SolidWorks, de la comprovació amb elements finits amb el programa ANSYS i finalment, la redacció final del projecte.

Tasca	Temps dedicat (h)	Cost per hora (€/h)	Cost (€)
Investigació mercat i tecnologies	80	35	2.800
Disseny 3D amb SolidWorks	100	35	3.500
Comprovació amb ANSYS	80	70	5.600
Redacció memòria	40	20	800
<b>Total</b>	<b>300</b>	<b>-</b>	<b>12.700 €</b>

Taula 33. Cost associat a les hores de dedicació

Pel que fa a l'ús de programari amb llicències per tal de poder ser utilitzat, s'ha consultat el cost de les llicències i s'ha fet l'equivalència al preu per hora tenint en compte una jornada de feina de 4 hores diàries.

La tasca del disseny en 3D s'ha dut a terme amb el programa SolidWorks, i un cop el disseny ha estat complet, s'ha fet la comprovació amb ANSYS Workbench. Per altra banda, els càlculs numèrics s'han realitzat mitjançant el programa Matlab i els gràfics s'han fet amb l'ajuda de Minitab. Finalment, la redacció de la memòria s'ha fet amb Microsoft Word.



El càlcul del cost associat a la utilització dels diferents programes, s'ha calculat considerant les hores dedicades a cada una de les tasques. Per ta tenir el cost de cada etapa s'ha multiplicat el nombre d'hores pel cost per hora calculat, corresponent a cada programa.

<b>Programa</b>	<b>Temps dedicat (h)</b>	<b>Cost anual (€/any)</b>	<b>Cost per hora (€/h)</b>	<b>Cost (€)</b>
SolidWorks	100	5.200	5,42	542
ANSYS Workbench	80	26.500	27,60	2.208
Matlab	10	100	0,10	1,04
Microsoft Word	40	70	0,07	2,92
Minitab	4	180	0,19	0,75
<b>Total</b>				<b>2.755 €</b>

*Taula 34. Cost associat al programari utilitzat*

## 8. Impacte ambiental

L'avaluació de l'impacte ambiental és un aspecte important que tot projecte ha de valorar i tenir en compte. S'ha de considerar quin és l'efecte que el projecte té sobre el medi ambient i que aquest sigui el mínim possible. És necessari assegurar el major respecte als factors mediambientals i humans en la creació de projectes com és el cas del disseny d'un tricicle.

Aquest estudi ha d'avaluar i compensar tots els efectes directes i indirectes que es tenen.

Pel que fa al tricicle, és un dels vehicles més ecològics com a forma de desplaçament. No és d'estranyar que el fet d'usar els pedals en comptes de pujar a un vehicle de motor, redueix la contaminació. No obstant això, un tricicle no deixa de generar una sèrie d'impactes ambientals quan es contempla tot el seu cicle de vida, des de l'extracció dels materials necessaris per a la seva fabricació, fins que es gestiona com a residu.

### 8.1. Material

Un aspecte a tenir en compte és el material del qual està fabricat el projecte en qüestió. En aquest cas, els materials més abundants són l'acer i l'alumini.

L'acer és un aliatge que prové del mineral de ferro. El contingut d'energia primària de l'acer comercial és de 35 MJ/kg, un alt consums d'energia pel que fa als materials de la construcció. Tot i això, cal dir que és un material amb una llarga vida. A més a més, l'acer pot ser completament reutilitzat sense perdre qualitats, i les escòries generades en la seva fusió es poden aprofitar.

Per altra banda, l'alumini és el material més reciclable pel que fa a materials de la construcció. L'alumini comercial presenta un contingut energètic molt elevat, de 160 MJ/kg. Aquest té una vida també molt llarga a causa de la seva alta resistència a la corrosió i, de la mateixa manera que l'acer, pot ser reutilitzat sense perdre qualitat.

### 8.2. Ús

L'impacte que genera l'ús del tricicle és positiu des del punt de vista del foment de l'activitat física i la reducció d'emissions de CO<sub>2</sub> en les ciutats. Amb l'ús de vehicles de tracció humana es disminueixen les emissions al medi ambient, però desafortunadament la major part de l'energia segueix provenint del combustible fòssil.

Segons un estudi del Massachusetts Institute of Technology realitzat per Shreya Dave [8], s'estima que l'ús d'un tricicle per anar a treballar suposa una generació mitjana de 22 grams



de CO<sub>2</sub> per passatger i kilòmetre. En aquesta quantitat es té en compte tant el gas exhalat pel ciclista com el generat per la fabricació. Així doncs la generació d'un tricicle és molt baixa tenint en compte que de mitjana un cotxe genera 255 grams per kilòmetre.

Per altra banda, l'ús del tricicle també pot ser un aspecte negatiu, concretament, el mal ús. Segueix sent molt elevat el nombre de persones que no respecten la convivència amb altres vehicles o persones i tampoc la normativa, com per exemple, la de portar casc. Així doncs, si es fa un ús irresponsable, podria arribar a ser un impacte ambiental negatiu.

### **8.3. Correcció**

Per tal de corregir o prevenir de la millor manera possible l'impacte ambiental del tricicle, és necessari fer servir materials nets en la fabricació i comercialització. Una manera de corregir aquest impacte és la inversió directa de part del preu del producte en la generació d'energia renovable, per així compensar l'impacte que es provoca.

Pel que fa a l'ús, és necessari que tothom sigui conscient que un ús temerari pot tenir greus conseqüències. Així doncs és important que tothom segueixi les normes de circulació i, si no és així, cal que aquests siguin sancionats.

## Conclusions

En aquest apartat s'ha de fer una avaluació del treball realitzat i analitzar si s'ha complert amb els objectius establerts a l'inici del projecte.

Primer de tot, pel que fa a la documentació prèvia al disseny, s'ha buscat informació i s'ha estudiat les diferents configuracions i característiques que defineixen un tricicle. Així doncs, s'ha pogut dissenyar el tricicle tot coneixent les característiques que aquest havia de tenir i tenint en compte els punts que calia dissenyar amb més detall. Una fase addicional hauria de ser la realització de càlculs pel que fa a la suspensió, per assegurar que aquesta treballa de la manera correcta.

Respecte al disseny del tricicle amb SolidWorks, s'ha dedicat més temps de l'esperat, però això no ha estat un aspecte negatiu, ja que d'aquesta manera, s'ha pogut assolir un disseny més optimitzat i complet.

Pel que fa a l'anàlisi d'elements finits amb ANSYS Workbench, s'ha portat a terme la comprovació i s'ha arribat a la conclusió que el disseny no presenta cap punt que no treballi correctament.

Tot i això, tot disseny pot presentar millores, és per això que el projecte podria constar d'una fase addicional dedicada a fer una anàlisi més detallada de les zones crítiques que s'ha observat en realitzar l'estudi amb elements finits. A més a més, caldria una optimització del dimensionament d'algunes zones, com les barres del tren davanter.

A continuació, s'ha fet un estudi de l'impacte ambiental i s'ha considerat les diferents correccions que es podria dur a terme perquè aquest fos mínim.

A més a més, s'ha fet una estimació del cost del projecte pel que fa a les hores dedicades i al cost que correspon al programari utilitzat en el llarg del treball. Aquest apartat es podria estendre tenint en compte la compra dels components i el cost de construcció d'un prototip.

Així doncs, s'ha aconseguit complir amb les especificacions i objectius que s'havia establert en un inici.

Pel que fa als coneixements adquirits durant el projecte, cal dir que en un primer moment suposava tot un repte, ja que és el primer projecte que es realitza amb tanta dedicació i complexitat.

Finalment, el projecte ha servit per aprofundir sobre coneixements pel que fa als programes utilitzats i aspectes que no s'ha tocat durant el grau.



# Bibliografia

## Referències bibliogràfiques

- [1] Abad, M. (2012). *Noomad Bike: una bici de dos ruedas delanteras para uso urbano*. [en línia] Yorokobu. Disponible a: <https://www.yorokobu.es/noomadbike/>.
- [2] Cameroon M. (2018). "Hace diez años, nadie sabía lo que era una bicicleta reclinada" (Jason Harris, 3ike). [en línia] Ciclosfera. Disponible a: <https://www.ciclosfera.com/bicicleta-reclinada-3ike/>.
- [3] M. Horwitz, R. (2018). *The Recumbent Trike Design Primer*. [en línia] Hell-Bent Cycle Works. Disponible a: <https://es.scribd.com/document/30297339/Recumbent-Trike-Design-Primer>.
- [4] Stefanovich, D. (2019). *Tadpole vs. Delta Trikes: Which is right for me?* - RAD Innovations. [en línia] RAD Innovations. Disponible a: <https://www.rad-innovations.com/compare-trikes.html>.
- [5] Master, W. (2020). *¿Qué sistemas de suspensión hay?*. [en línia] Biking Point Blog. Disponible a: <https://www.bikingpoint.es/blog/que-sistemas-de-suspension-hay/>
- [6] FOSS, K. (2016). *¿Qué material es el mejor para el cuadro de mi bicicleta?*. [en línia] la bicikleta. Disponible a: <https://labicikleta.com/material-mejor-cuadro-bicicleta/>.
- [7] Recreational Equipment, Inc. (2019). *How to Choose Bike Tires*. [en línia] Disponible a: <https://www.rei.com/learn/expert-advice/bike-tires.html>.
- [8] Álvarez, C. (2012). *Lo que contamina una bicicleta*. El País. [en línia] Disponible a: <https://blogs.elpais.com/eco-lab/2012/03/lo-que-contamina-una-bicicleta.html>.

## Bibliografia complementària

- Dold, B. (2019). *Preliminary Front Suspension Completed*. [en línia] Human Electric Trike Thesis. Disponible a: <https://zept.wordpress.com/2006/06/22/preliminary-front-suspension-completed/>.
- K, G. and P, D. (2018). *Design and fabrication of tilting bike*. [en línia] Jetir. Disponible a: <http://www.jetir.org/papers/JETIRC006249.pdf>.
- Martin, W. (2015). *Tilting Three Wheeler Suspension*. [en línia] Youtube. Disponible a: [https://www.youtube.com/watch?v=Atxnr3\\_TiS4&t=2s](https://www.youtube.com/watch?v=Atxnr3_TiS4&t=2s).
- Martin, W. (2017). *Tilting Three Wheeled Electric Car Suspension 3.0 – WILLMARTIN.COM*. [en línia] Willmartin.com. Disponible a: <https://willmartin.com/tilting-three-wheeled-electric-car-suspension-3-0/>.
- Us.misumi-ec.com. (2019). *Find MISUMI products and many other industrial components | MISUMI USA*. [en línia] Disponible a: <https://us.misumi-ec.com/vona2/maker/misumi/>.
- Webdeptos. (2019). *Propiedades de los materiales*. [en línia] Disponible a: [http://webdeptos.uma.es/qicm/Doc\\_docencia/Fig\\_7.pdf](http://webdeptos.uma.es/qicm/Doc_docencia/Fig_7.pdf).
- Stratasys solution (2020). *Grabcad*. [en línia] Disponible a: [www.grabcad.com](http://www.grabcad.com)