

Treball final de grau

Estudi: Grau en Enginyeria Mecànica

Títol: Disseny i modelització d'una roda sense aire

Document: Memòria i Annexos

Alumne: Guillem Nauguet Gonzalez

Tutor: Lluís Ripoll Masferrer

Departament: Enginyeria Mecànica i De la Construcció Industrial

Àrea: Enginyeria Mecànica

Convocatòria (mes/any): Febrer de 2019

ÍNDIX

1. INTRODUCCIÓ.....	3
1.1. Antecedents.....	3
1.2. Objecte	3
1.3. Requeriments i abast.....	4
1.3.1. Requeriments	4
1.3.2. Abast	4
2. DISSENY FINAL	5
2.1. Disseny global	5
2.2. Parts principals	7
2.3. Dimensions	10
3. ESTUDIS I SIMULACIONS.....	11
3.1. Estudis.....	11
3.1.1. Deformació radial	11
3.1.2. Estudi de forma.....	15
3.2. Simulacions.....	18
3.2.1. Roda real	19
3.2.2. Model existent	20
3.3. Millores	23
4. RESUM DEL PRESSUPOST	25
5. CONCLUSIONS.....	25
6. RELACIÓ DE DOCUMENTS.....	25
ANNEX A ESTUDI DE MERCAT.....	26
A.1 Rodes actuals	27
A.2 Rodes sense aire	28
ANNEX B PROVES EXPERIMENTALS	34
B.1 Introducció	35
B.2 Estudi d'una goma.....	35
B.3 Estudi de la deformació de la roda	37
ANNEX C EVOLUCIÓ I CÀLCULS DEL DISSENY FINAL.....	39
C.1 Activació de l'opció Large Deflection.....	40
C.2 Condicions de contorn i càrregues aplicades	42
C.3 Evolució del disseny final.....	44

1. INTRODUCCIÓ

1.1. Antecedents

Durant els darrers anys, el mercat de les rodes ha augmentat de manera progressiva i constant. Principalment, s'utilitzen en vehicles de motor (com cotxes o motocicletes), així com l'existència d'un mercat ampli en vehicles de propulsió humana (com és el cas de les bicicletes). Dins aquest mercat, els pneumàtics han millorat respectivament amb la utilització de nous materials i formes, però la tecnologia ha sigut la mateixa: una peça en forma de torus feta de cautxú, la qual envolta la cambra interior formada per aire a pressió, que permet un esmorteïment amb el terra, però mantenint la forma rodona per seguir rodant.

En aquest mercat, més específicament en el món de les bicicletes, hi ha algunes limitacions que no poden ser resoltes per una roda convencional. Aquestes limitacions són la possibilitat de punxar-se o desinflar-se, amb la necessitat de substituir o arreglar aquesta.

Per resoldre aquestes limitacions, s'ha pensat la possibilitat de millorar aquesta tecnologia dins el món dels pneumàtics. Aquest nou concepte és la possibilitat de dissenyar un pneumàtic sense la necessitat d'aire però que pogués aportar les mateixes prestacions o similars als models actuals.



Figura 1: Exemple de roda sense air

1.2. Objecte

Dissenyar una roda per una bicicleta de descens sense aire, formada per una estructura elàstica que realitza el mateix efecte que l'aire. Aquest disseny estarà basat en diferents estudis i proves per comprovar que el comportament d'aquest nou model serà el mateix que el dels pneumàtics convencionals.

1.3. Requeriments i abast

1.3.1. Requeriments

Per la correcta determinació dels requeriments, s'ha realitzat un estudi de mercat dins l'Annex A, on s'introdueixen les prestacions dels models actuals. En funció d'aquestes prestacions, s'han establert uns requeriments i especificacions per obtenir un model amb certa similitud als actuals.

	Obligació/Desig
Funció	
Roda per bicicleta de descens	O
Dimensions	
Mida estàndard per roda de descens (27,5")	O
Pneumàtic de 30 mm d'amplada	O
Materials	
Pneumàtic de cautxú	O
Radis de poliuretà elàstic	O
Llanta convencional	O
Característiques	
Pes igual o inferior a 2,5 kg	D
Pes aproximat de ciclista de 100 kg	O
Mantenir l'esmorteïment actual	D
Resistència al desgast i als impactes	D

1.3.2. Abast

S'estudiaran diferents rodes actuals, redissenyant i desenvolupant uns plànols constructius, basant-se en un model existent. Alhora, es realitzaran simulacions per obtenir un resultat capaç de mantenir les prestacions dels models actuals basant-se en diferents estudis durant el treball.

2. DISSENY FINAL

2.1. Disseny global

Per arribar a obtenir EL disseny, s'han realitzat dissenys previs per determinar les millors dimensions i formes possibles. Tots aquests models dissenyats es poden trobar en l'Annex C, on s'explica l'evolució que ha tingut aquesta roda fins a obtenir aquest nou disseny i totes les millores que es van obtenint pas a pas. També es mostra com afecta la rigidesa de la roda introduir-hi diferents característiques i fins a quin punt són necessàries.

Un d'aquests dissenys es mostra en la següent imatge.

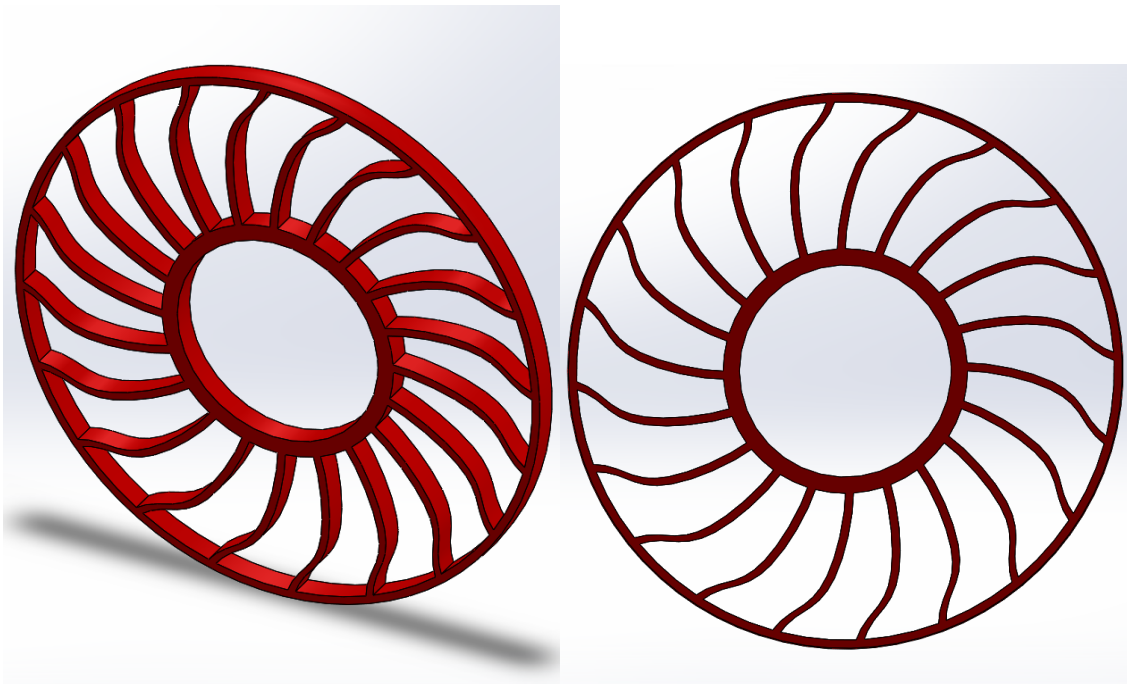


Figura 2 : Segon disseny realitzat

Bàsicament, en aquest treball s'han estudiat els radis exteriors, els quals generen l'esmoreïment necessari per simular l'efecte d'un pneumàtic amb càmera d'aire.

La roda està composta per 4 elements principals:

- La coberta exterior
- Els radis dissenyats
- Els radis convencionals
- La caixa central

Per poder satisfer tots els requeriments establerts, s'ha realitzat el disseny que es pot observar en la figura 3. Aquest disseny està basat en un model existent, el qual es poden veure totes les seves característiques en l'Annex A del treball. Les dimensions de la roda són estàndards per l'àmbit que ha sigut dissenyada, és a dir, per una roda de bicicleta de descens.

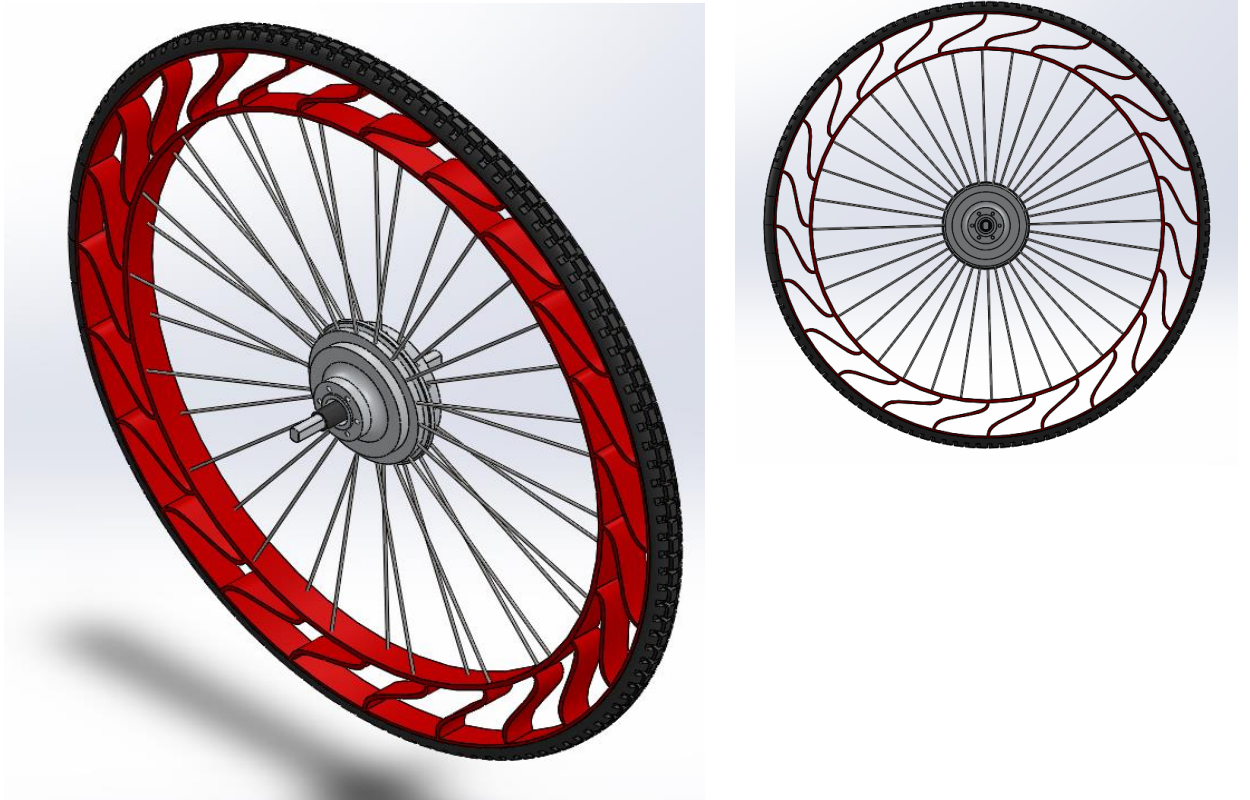


Figura 3: Disseny final

2.2. Parts principals

Com hem esmentat anteriorment, la roda està composta per 4 elements principals, dels quals només s'han estudiat dos (els radis exteriors i el pneumàtic). Els altres dos elements s'esmentaran a continuació perquè són necessaris per poder formar la roda i així crear una visió més global de com és aquest nou disseny.

A continuació s'exposen les parts principals de la roda:

- Coberta exterior

Aquesta part és molt important a l'hora de dissenyar una roda, ja que és l'element que entra en contacte amb el terra i s'encarrega de proporcionar l'adherència. A l'hora de realitzar el disseny i els càlculs necessaris per determinar com hauria de ser aquesta roda, s'ha realitzat una simplificació del pneumàtic per poder facilitar l'estudi. S'ha establert un pneumàtic format per una goma de 30 MPa, un Poisson de 0,47 i una densitat de 950 kg/m^3 . A continuació podem observar la simplificació en la figura 4 i com seria el pneumàtic en cas de portar-se a terme la fabricació.



Figura 4: Simplificació del pneumàtic

- Radis exteriors

Els radis exteriors són l'element més important d'aquest treball, ja que és on es vol realitzar la millora i estudiar el seu funcionament per poder realitzar un disseny que compleixi tots els requisits establerts.



Figura 5 : Radis exteriors

Aquests radis estan formats per dues circumferències que uneixen els radis amb el pneumàtic per la part exterior, i amb la llanta en la part interna. Aquests contactes són unions enganxades, les quals permeten mantenir tot el conjunt fixat.

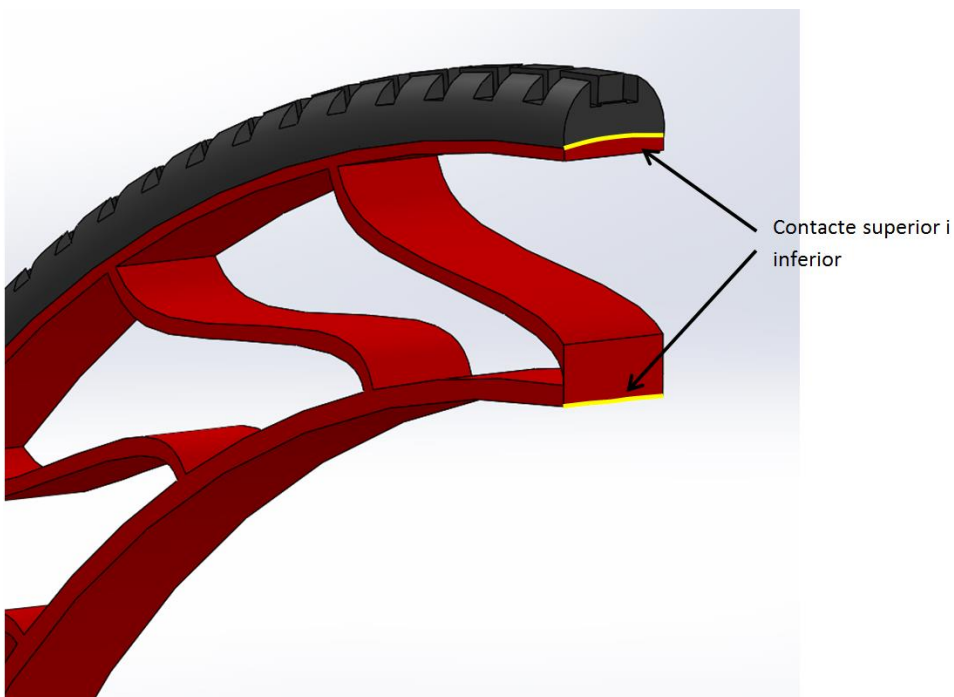


Figura 6 : Contactes dels radis

- **Radis convencionals i boixa**

Aquests dos elements són necessaris per completar la roda, però no s'han estudiat en aquest treball. Per això, no entrarem en detall sobre les característiques i propietats d'aquests, però és necessari saber que són dues parts essencials de la roda dissenyada i que seria necessari realitzar un estudi més a fons sobre aquests elements. En el nostre cas suposem que implantem aquests dos elements estandarditzats, dels quals es poden obtenir les dimensions en el document 2 "Plànols".



Figura 7 : Radis convencionals i boixa en el conjunt

2.3. Dimensions

En aquest apartat es mostraran les dimensions principals del disseny final obtingut i els avantatges respecte al model existent.

A continuació es mostra una taula amb les especificacions principals del disseny obtingut.

Dimensions principals de la roda	
Diàmetre exterior	27,5" – 700 mm
Diàmetre interior	560 mm
Amplada	30 mm
Número de radis	24 radis
Gruix dels radis	3,5 mm
Pes	1200 grams, sense llana

Observant la taula anterior, podem veure que totes les especificacions marcades a l'inici del treball s'han realitzat, ja que s'han pogut mantenir les prestacions d'un pneumàtic actual de descens obtenint avantatges respecte aquest, com és la resistència al desgast, impactes i la impossibilitat de punxar, tot això amb un model d'un pes de tan sols 1200 grams, sense tenir en compte la llanta que augmentarà el pes aproximadament 1 quilogram. Per tant, el pes total serà menor als 2,5 kg establerts en les especificacions.



Figura 8 : Dimensions principals del disseny final

3. ESTUDIS I SIMULACIONS

En el següent apartat, s'observaran els diferents estudis i simulacions realitzats per poder determinar correctament el disseny final del pneumàtic, esmentat anteriorment.

3.1. Estudis

Abans d'iniciar el modelatge i els càlculs realitzant simulacions, ha sigut necessari conèixer realment els resultats esperats en funció dels casos reals que existeixen, per així poder determinar si el camí que s'està realitzant és correcte.

Amb tots els estudis realitzats a continuació, s'ha pogut crear un camí per redissenyar el model existent.

3.1.1. Deformació radial

Un dels estudis necessaris per poder observar si els resultats obtinguts durant les simulacions són correctes, és la deformació del radi de la roda en aplicar una força estàtica, és a dir, quan l'usuari es puja a la bicicleta. Teòricament aquesta deformació ha de ser aproximadament un 3% del radi real de la roda, per així obtenir el màxim rendiment. Obtenint una deformació més gran, augmentaria el contacte amb el terra i així el fregament; i amb una deformació menor, el contacte amb el terra seria tan petit que la roda no treballaria correctament, ja que perdria adherència.

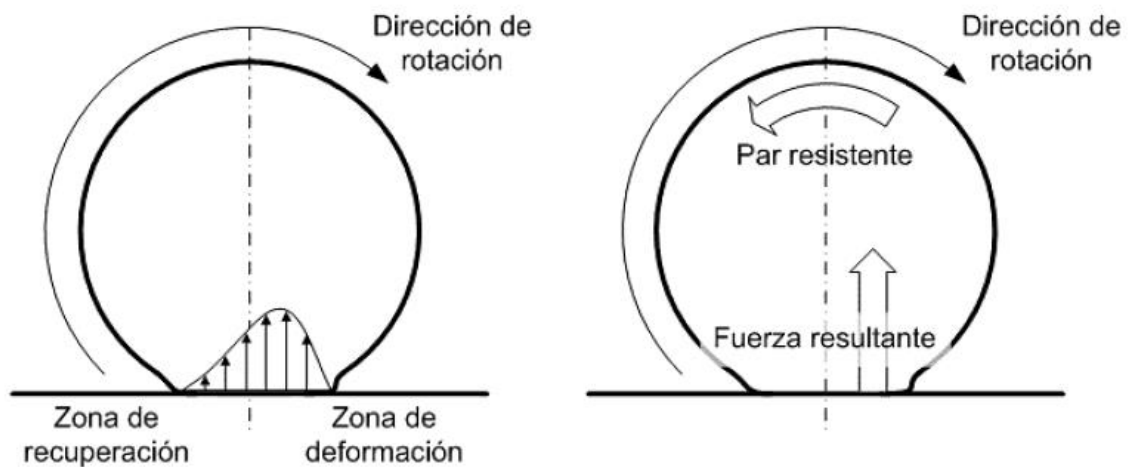


Figura 9 : Forces en la roda pel contacte amb el terra

Per determinar aquesta deformació també ens hem basat en un estudi realitzat per en *Jordi Renart* i en *Pere Roura*, els quals van estudiar de forma experimental, les deformacions d'una roda de bicicleta inflada. Com podem observar a la figura 9, l'estudi fou realitzat amb els valors predictius i experimentals, en funció de la pressió del pneumàtic i la càrrega aplicada.

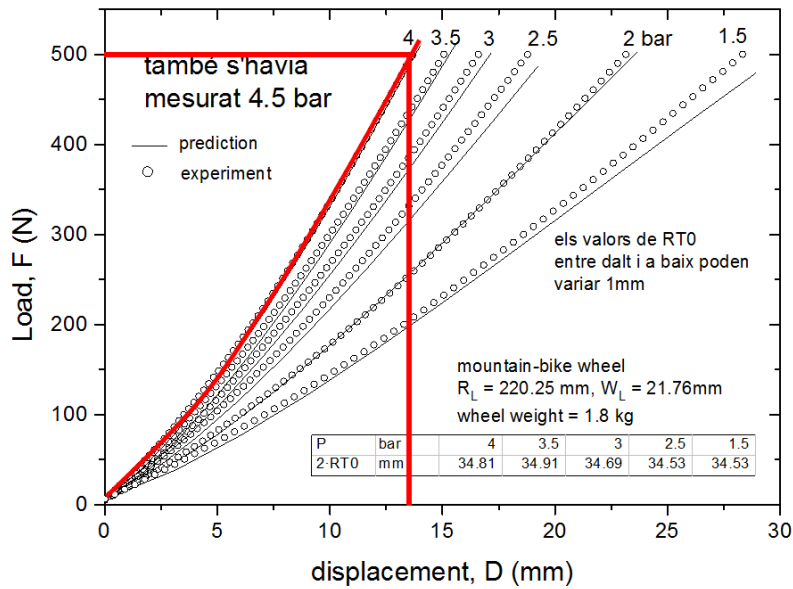


Figura 10 : Gràfic desplaçament-força

En el nostre cas, observant la següent taula, que ens mostra les pressions aproximades d'un pneumàtic de muntanya, i suposant un pes d'usuari d'uns 100 kg, podem determinar les pressions del nostre pneumàtic i així la deformació que hauríem d'obtenir amb el nostre model.

Tabla de presiones de los neumáticos para bicicleta montaña:

Peso Usuario	Delantera	Trasera
40 kg	2.5 bares	3 bares
60 kg	3 bares	3,5 bares
80 kg	3,5 bares	4 bares
100 kg	4 bares	4,5 bares

En ambdós estudis, per la roda a modelar, la qual té un radi de 350 mm, seria necessari obtenir una deformació d'aproximadament 10-15 mm, ja que la força repartida seria la meitat i les pressions d'uns 4 o 4,5 bars.

Un cop coneguda aquesta deformació, és necessari determinar com serà el contacte amb el terra. Podem observar en la figura 10, la variació del radi (de 367 a 336 mm) i també podem observar l'angle de contacte que té sobre el terra, 28° aproximadament.

Aquest valor és molt important a l'hora d'implantar les condicions de contorn en les simulacions, ja que és necessari conèixer en quin rang s'han d'aplicar les forces de contacte amb el terra.

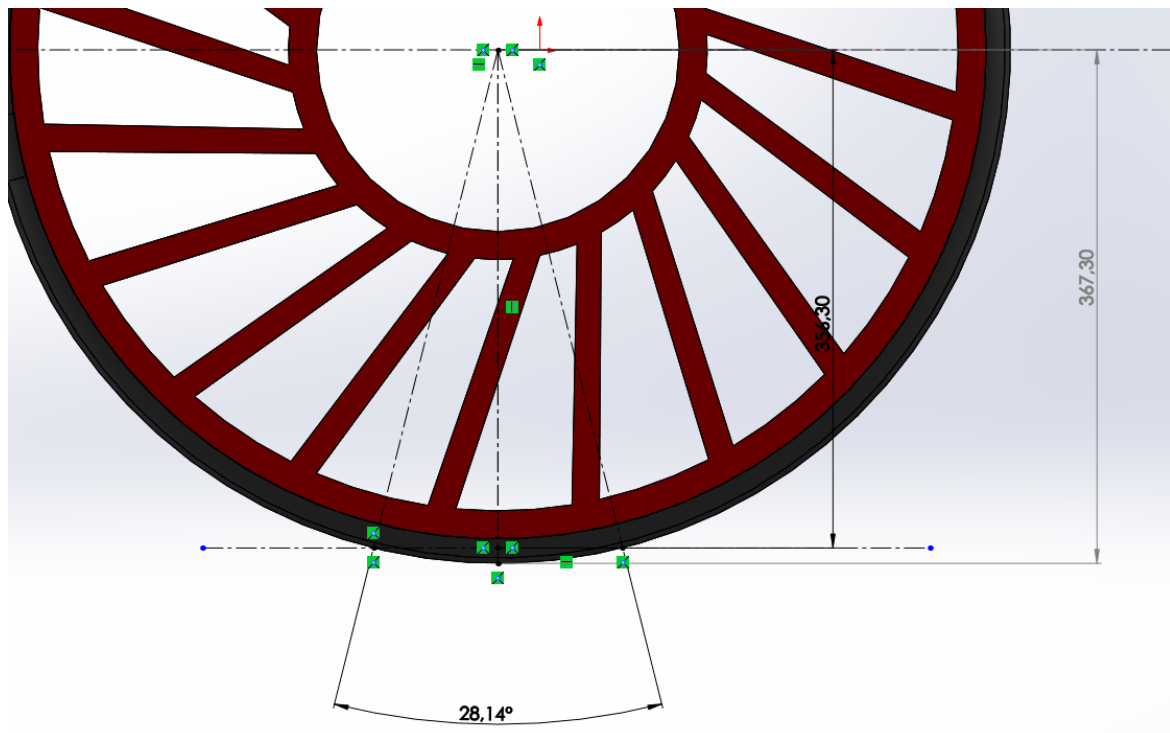


Figura 11 : Angle de contacte amb el terra

Amb el coneixement de la deformació i l'angle de contacte amb el terra, es poden determinar, d'una manera bastant aproximada, les reaccions creades pel contacte pneumàtic-terra.

Per simular aquestes reaccions, s'ha dividit la zona de contacte en quatre parts iguals, on les dues centrals s'aplica una força major (150 N), ja que la pressió serà més gran en el cas pràctic. En canvi, en les dues zones exteriors s'hi aplica una força menor (100 N), per tal d'intentar obtenir una superfície plana de contacte.

Aquesta distribució es pot observar en la següent figura.

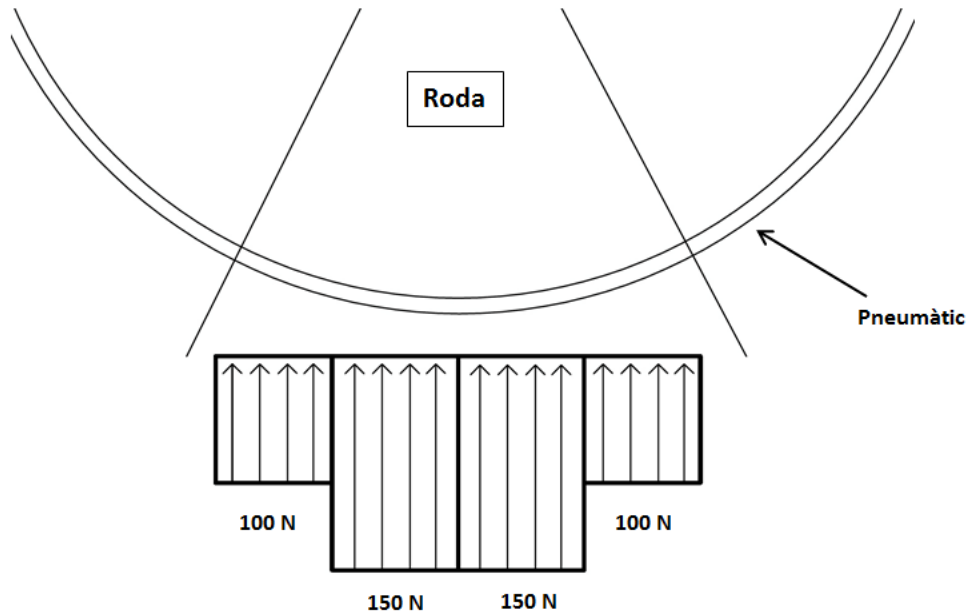


Figura 12: Distribució de les reaccions de contacte

Un cop aplicada aquesta distribució, es realitza una simulació per observar si realment s'obté una superfície plana amb el contacte contra el terra. En aquest cas concret, sí que s'ha obtingut una superfície plana simulant el contacte, com es pot observar en la figura 12.

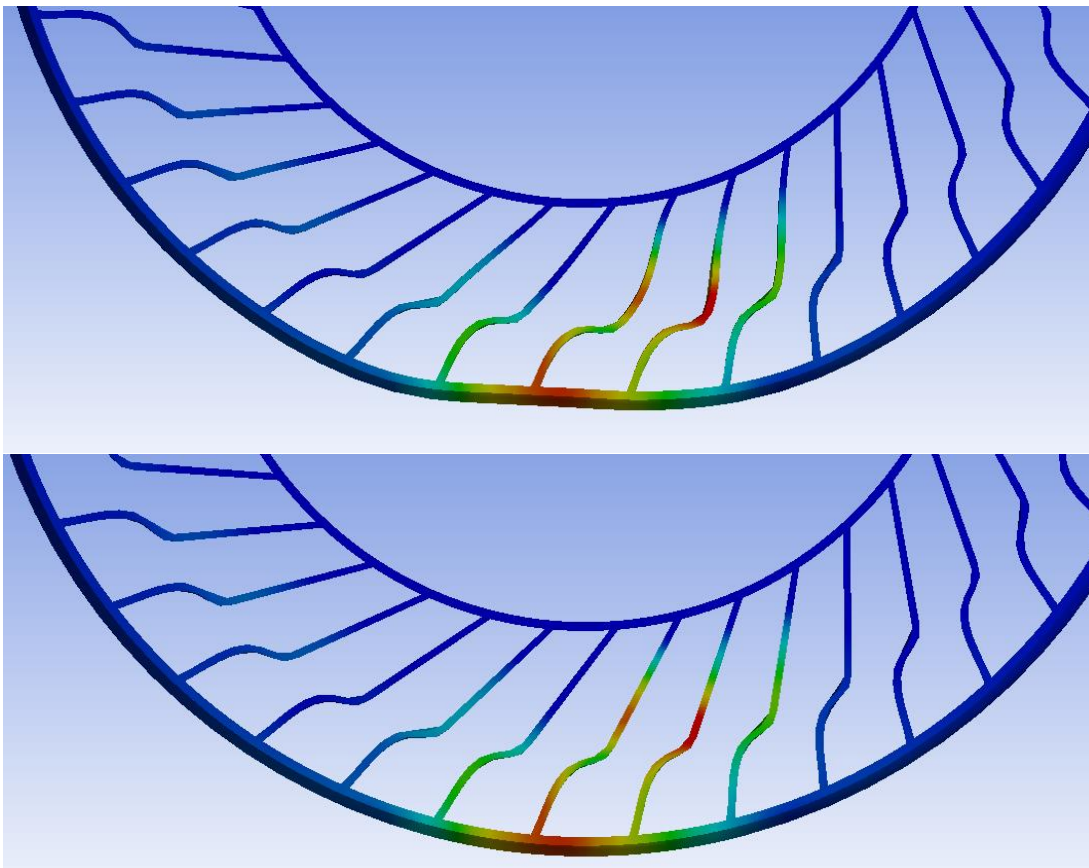


Figura 13 : Sense deformació i amb deformació

3.1.2. Estudi de forma

Un altre concepte important, que és necessari estudiar abans de realitzar les simulacions, és la forma dels radis que defineixen les rodes sense aire. El model existent està dissenyat amb una forma dels radis molt particulars i seria necessari conèixer com reaccionen en l'aplicar forces i si existeix la possibilitat de millorar-la per augmentar la deformació total de la roda.

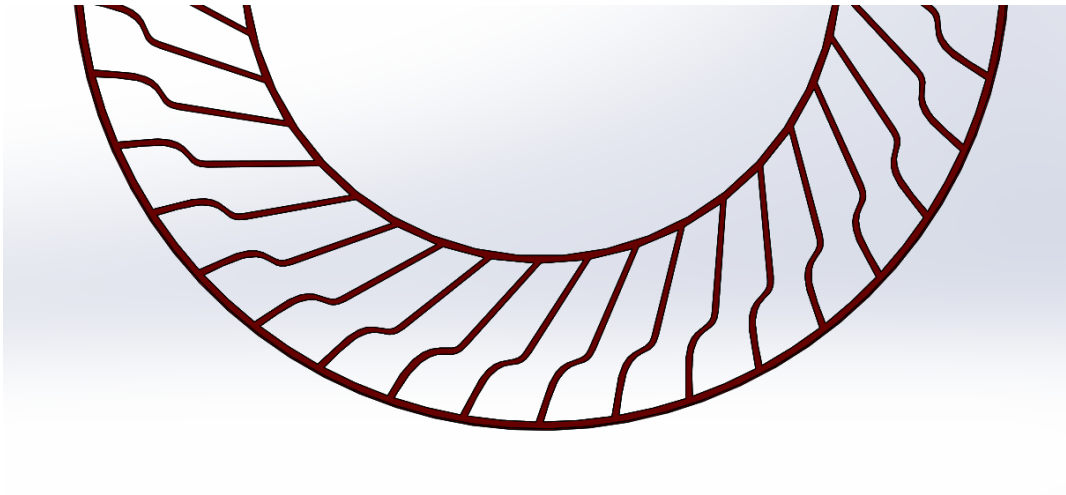


Figura 14 : Radis del model existent

Per determinar la possible nova forma s'ha realitzat un petit estudi utilitzant l'Ansys Workbench. Per la correcta realització d'aquest, s'han modelat les dues formes a estudiar, amb el mateix espessor i dimensions generals (30x28x10 mm i 5 mm de gruix), i s'han aplicat les mateixes condicions de contorn. A l'hora de realitzar la simulació amb l'Ansys Workbench, s'ha afegit un cos rectangular i s'han imposat condicions de contorn per evitar girs de l'objecte i així no obtenir deformacions diferents del cas real. En introduir aquest cos nou, els resultats obtinguts no queden afectats, ja que s'ha afegit en ambdós casos.

Les condicions aplicades, són la fixació de la part inferior, i una força vertical de 100N a la part superior. Aquestes condicions es poden observar en la figura BBB. Per determinar la deformació vertical, és necessari centrar-se en el moviment de la peça rectangular afegida.

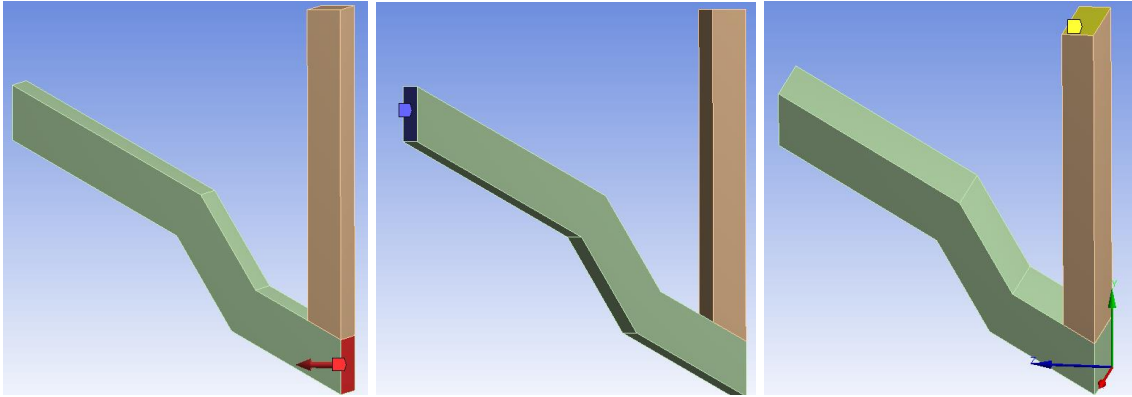


Figura 15: Força, fixació i desplaçament nul respectivament

Forma 1

Aquesta forma està basada en el model actual, ja que els radis que el formen tenen una similitud molt gran. Bàsicament està formada per tres línies a 60° i 30° respecte a l'horitzontal

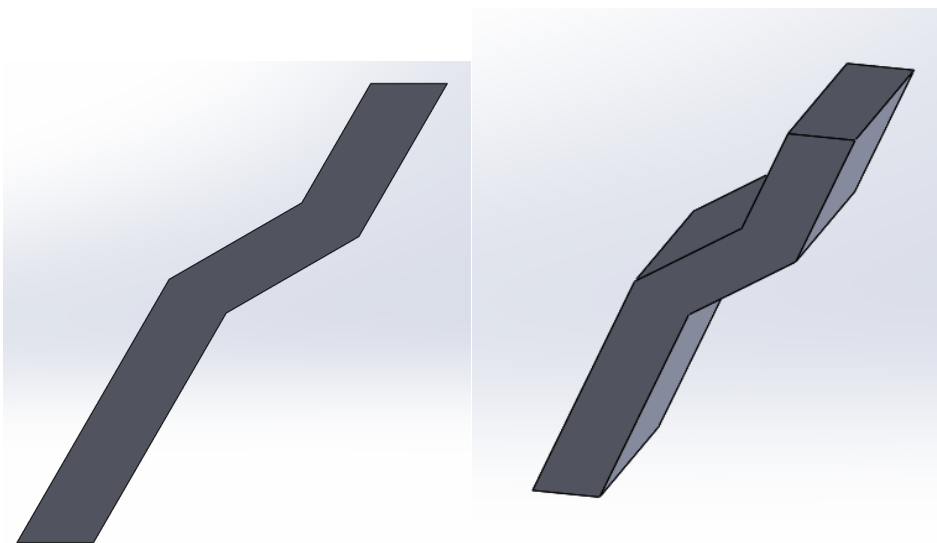


Figura 16 : Forma 1

A continuació, en la figura DDD podem observar els resultats obtinguts amb l'Ansys Workbench. En la imatge podem veure la deformació que pateix aquesta forma en aplicar la força. Podem observar que es deforma en sentit oposat per poder suportar el moment que es genera.

La màxima deformació és de 2'12 mm però es pot suposar una mica menys, ja que aquest màxim es troba en la punta inferior, on es genera una petita deformació que no es crearia en el cas real.

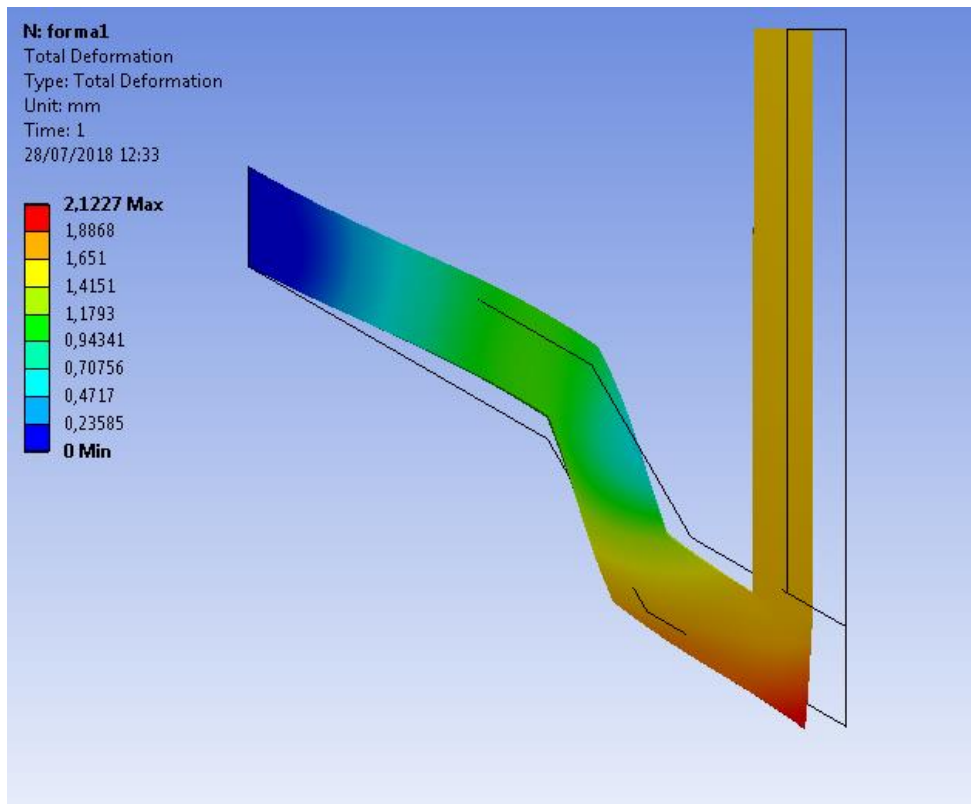


Figura 17 : Deformació de la forma 1

Forma 2

A continuació, vegem la següent forma, la qual és la nova proposta per millorar els radis.

Aquest nou disseny es basa en una simetria en la qual no trobem cap línia recta, evitant així possibles concentracions de tensions, i facilitant la deformació del material.

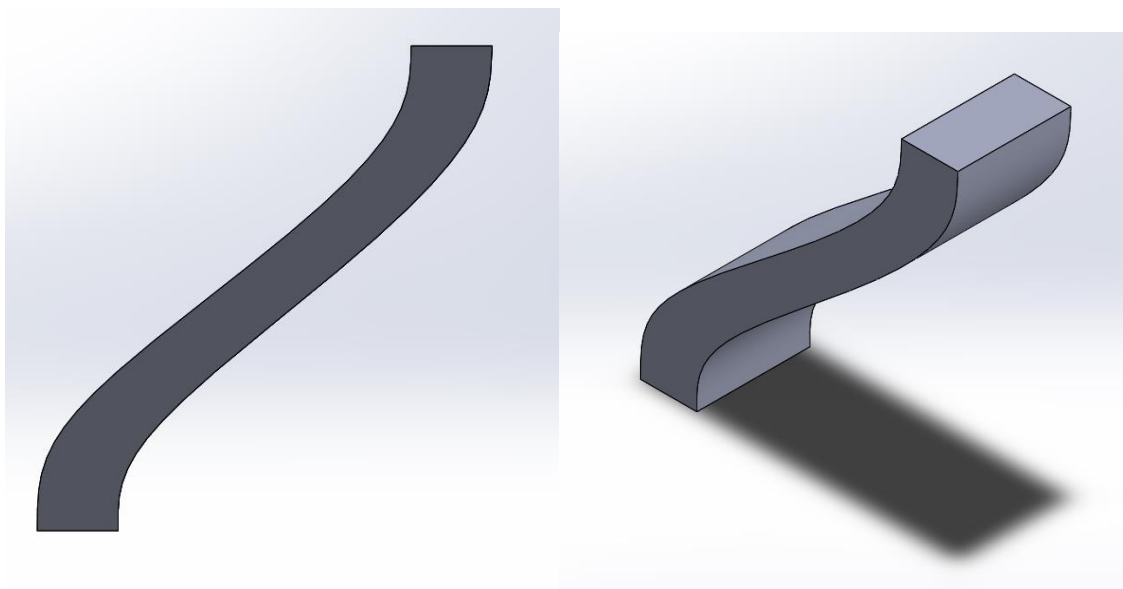


Figura 18 : Forma 2

Com en el cas anterior, observem en la figura ZZZ els resultats obtinguts de la deformació a través de l'Ansys Workbench. En aquest cas observem que la deformació màxima es troba en la forma generada, i és de 2'15 mm. Per tant, podem determinar que amb aquesta nova forma dissenyada obtenim una major deformació amb les mateixes condicions i forces. Per aquest motiu, cal tenir present aquest concepte a l'hora de redissenyar el model actual, ja que pot ser necessari canviar dimensions per afavorir el canvi de forma.

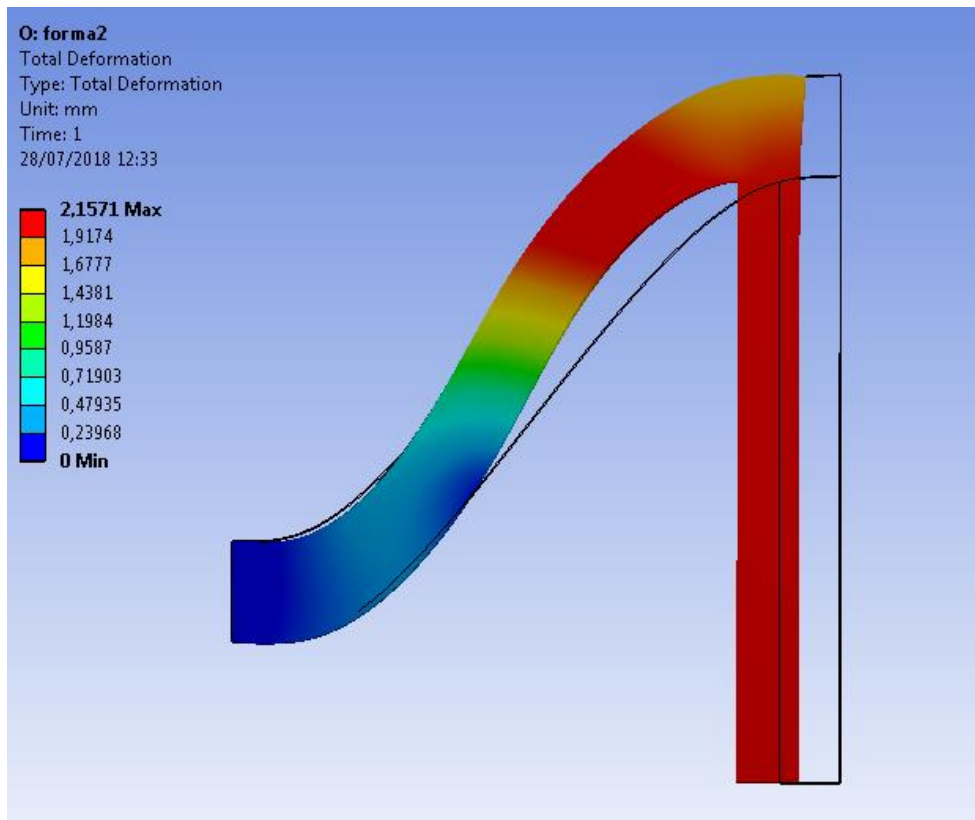


Figura 19 : Deformació de la forma 2

3.2. Simulacions

Un cop realitzats tots els estudis necessaris, s'ha començat amb la simulació de les diferents rodes a estudiar. En aquest apartat es realitzen les simulacions d'una roda normal amb càmera d'aire (només el pneumàtic), una roda sense aire actual del mercat i el disseny final d'aquest treball.

A continuació, vegem una taula amb les propietats dels materials utilitzats per la realització dels càlculs i simulacions.

Materials utilitzats

	Mòdul de Young (MPa)	Poisson	Densitat (kg/m ³)
Goma pneumàtic	30	0'47	950
Goma radis	500	0'4	1100
Alumini	71000	0'33	2770

Per la realització de les simulacions s'han utilitzat els programes SolidWorks, pel modelatge, i Ansys Workbench pels càlculs i simulacions.

3.2.1. Roda real

La primera simulació realitzada ha sigut el model d'una roda real dins el mercat actual, és a dir, una goma de cautxú amb aire a pressió a l'interior. Per simplificar la simulació, s'ha realitzat només del pneumàtic imposant unes condicions de contorn esmentades més endavant.

El model dissenyat és el següent:

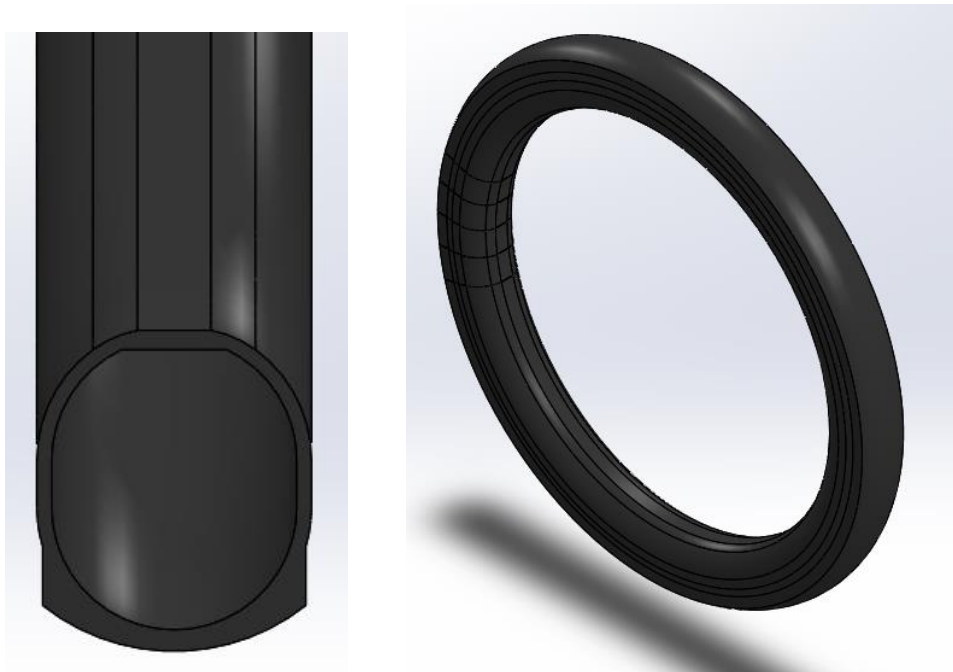


Figura 20 : Pneumàtic real

Un cop realitzat el disseny d'una roda de bicicleta actual, s'ha importat el model a Ansys Workbench per estudiar el seu comportament. Per a la correcta realització de l'estudi s'han imposat unes condicions de contorn i així poder realitzar una simulació semblant a un cas real.

Aquestes condicions de contorn són:

- Unions/connexions soldades.
- Suport cilíndric a la part interior del pneumàtic per simular la unió amb la llanta.
- Pressió interna de 0'2 Mpa.
- Aplicació de 4 forces distribuïdes com en l'apartat 3.1.1.

Una vegada aplicades les condicions i forces, s'observa el resultat obtingut en la figura BBB.

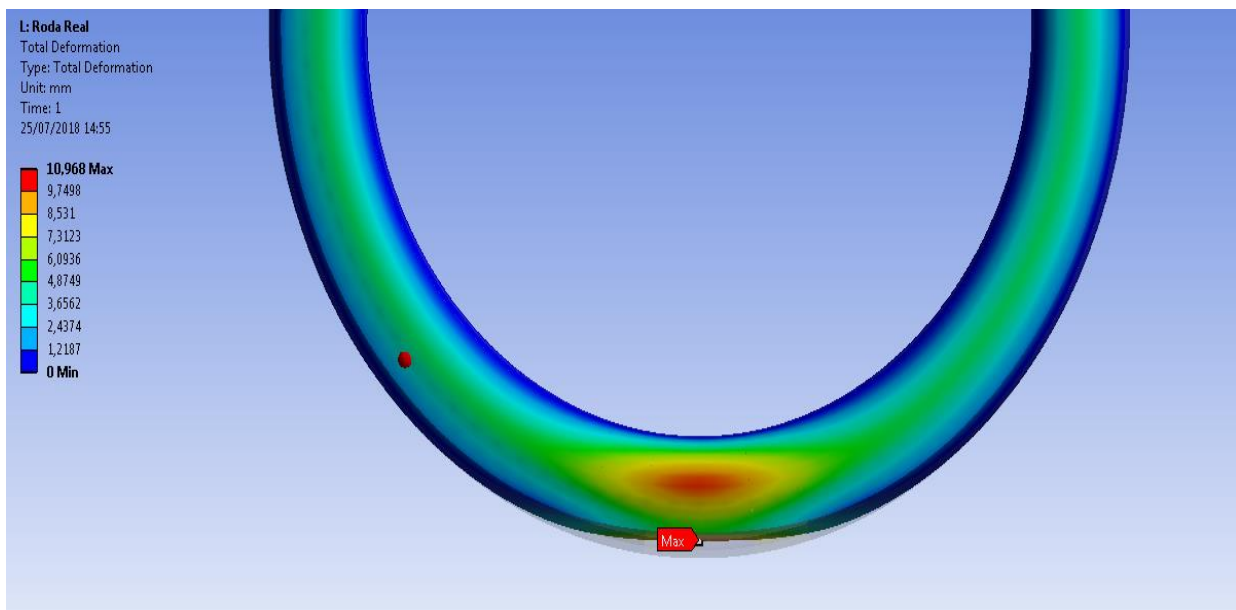


Figura 21 : Deformació de la roda real

La màxima deformació és en el contacte amb el terra, la qual és de 11 mm aproximadament. Això ens demostra que els estudis anteriors són correctes, ja que es buscava una deformació entre 10 i 15 mm. Un cop conegut aquest resultat, ja es pot continuar amb les següents simulacions.

3.2.2. Model existent

Així doncs, quan ja hem obtingut la simulació d'una roda real, és necessari estudiar una roda actual dins el mercat. En el nostre cas, ens hem centrat amb la "Airless Tyre" de Bridgestone. Per la correcta simulació d'aquesta roda existent, s'ha creat un model igual en el SolidWorks, amb les mateixes especificacions.

En el modelatge d'aquesta roda, s'ha realitzat la part interna, la qual faria la funció d'una llanta, formada per un material molt més dur (petites deformacions), els radis (formats d'un material elàstic) i el pneumàtic.

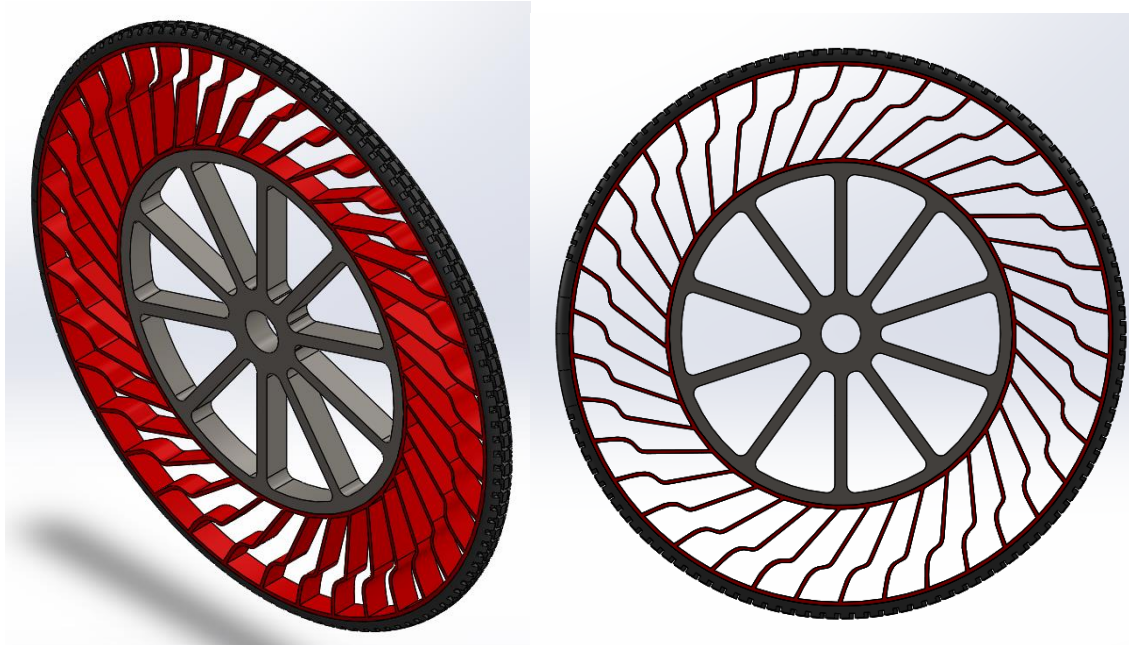


Figura 22 : Model existent "Airless Tyre"

Les especificacions d'aquesta roda són les següents:

Airless Tyre	Bridgestone
Diàmetre exterior	682 mm
Diàmetre interior	430 mm
Amplada	30 mm
Número de radis	38 radis
Gruix dels radis	5 mm
Pes	1700 grams, sense llanta

A l'hora de fer la simulació a l'Ansys Workbench no s'ha importat la llanta, ja que no ens afecta per observar la deformació de la roda. Per mantenir la similitud amb un cas real, s'ha aplicat una fixació (Cylindrical Support) en la unió entre la llanta i els radis. Per la realització del mallat era molt important observar el comportament dels radis, per tant, s'ha augmentat el mallat en aquesta zona, disminuint els hexàgons en el pneumàtic, ja que només influeix a la zona on s'aplica la força. El pneumàtic en aquest model de roda té una importància molt elevada, ja que s'encarrega de distribuir les possibles forces puntuals pels diferents radis, evitant així el sobre esforç en aquests.

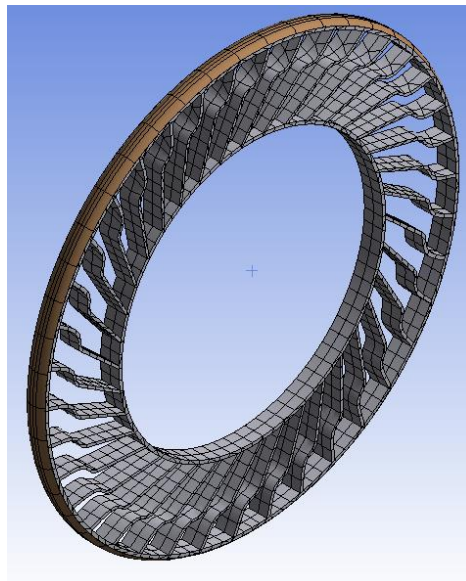


Figura 23 : Mallat del model existent

Per determinar el material utilitzat, s'ha fet una prova-error aplicant diferents propietats del material (en concret el Mòdul de Young), fins a observar una deformació real basada en els nostres estudis realitzats anteriorment, és a dir, els 10-15 mm aproximadament. Això ens ha permès afirmar que, el Mòdul de Young necessari ha sigut de 500 MPa, amb el qual s'ha obtingut una deformació de 11,68 mm.

A continuació podem observar la deformació dels radis obtinguda:

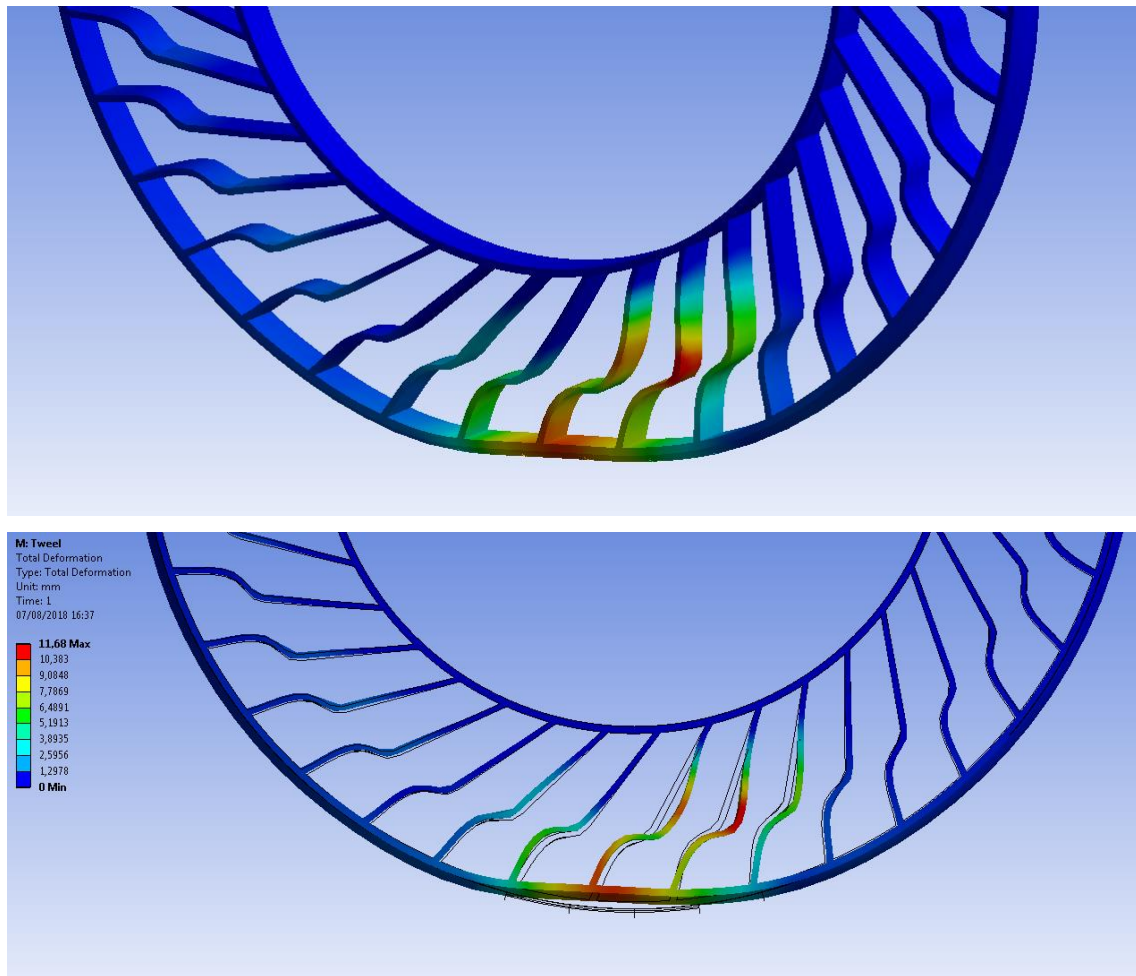


Figura 24 : Deformació del model existent

3.3. Millores

Una vegada observat el funcionament de la roda actual, i totes les seves propietats, és necessari determinar quines millores s'han realitzat en el model existent.

Com a primer concepte, i observant els resultats obtinguts, s'ha disminuït el braç d'acció augmentant el diàmetre interior. En el model existent aquest és de 430 mm i en el disseny final és de 560 mm, disminuint la longitud dels radis a la meitat.

En aplicar aquest canvi, els radis pateixen moments més petits, disminuït així les tensions. També es disminueix el material necessari, obtenint el mateix efecte però amb menys pes. Amb aquest concepte s'obtenen diferents requeriments, aconseguint una millora considerable. Per altra banda, un canvi de forma, observant l'estudi realitzat en l'apartat 3.1.2 és molt beneficiós pel model redissenyat, ja que com s'ha observat en l'estudi, la nova forma proposada es deforma molt més, i així aconseguim anul·lar els inconvenients creats per augmentar el diàmetre interior. Amb aquests dos canvis principals obtenim un redisseny de la roda actual amb millores considerables i mantenint els requeriments d'una roda actual.

A continuació, podem observar dues imatges, a l'esquerra la roda actual del mercat (Airless Tyre de Bridgestone) i a la dreta les millores aplicades per obtenir un redisseny d'aquesta.

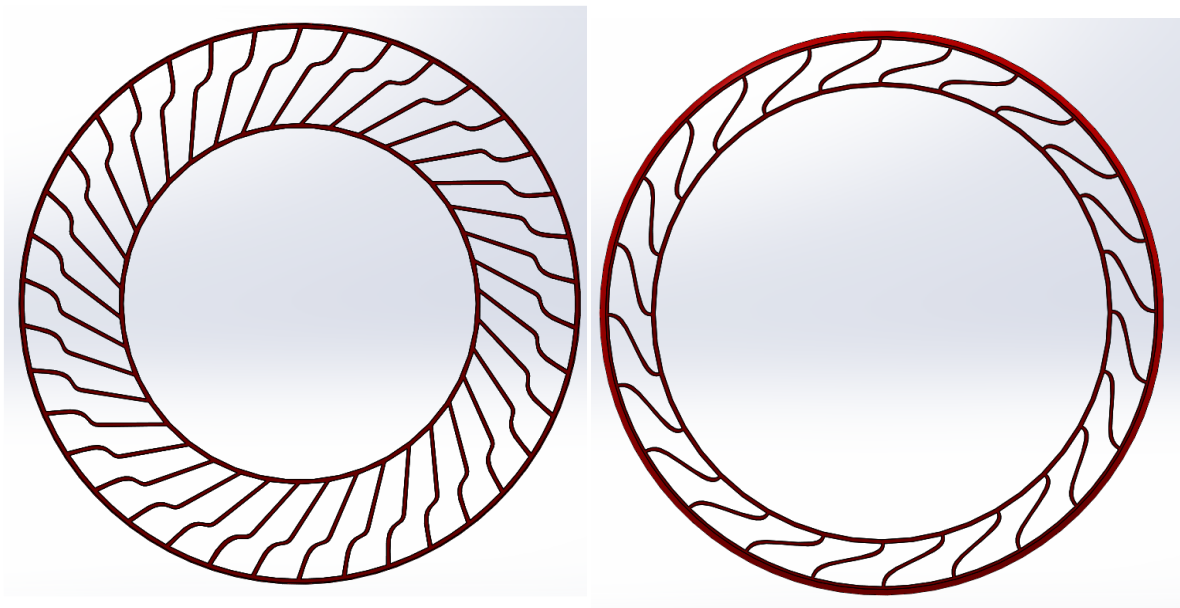


Figura 25 :Disseny actual i disseny final

Observant les dues imatges, podem veure que també s'ha reduït el nombre de radis per mantenir la deformació desitjada, ja que amb menys radis obtenim un esmorteïment igual que en el model existent. Aquest és un punt a favor, ja que reduïm encara més el pes de la roda, la qual cosa és molt important en una bicicleta.

4. RESUM DEL PRESSUPOST

El pressupost de fabricació per la roda, sense tenir en compte possibles canvis o problemes, i sense tenir en compte l'IVA ni el manteniment posterior, es calcula que és de **cent trenta-cinc** euros amb **deu** cèntims.

5. CONCLUSIONS

Amb la realització d'aquest treball s'ha pogut fer un estudi complet sobre les rodes sense aire actuals del mercat i s'ha modelat un nou disseny d'una roda de bicicleta de descens que compleix els requeriments establerts, millorant alhora les prestacions actuals del mercat.

6. RELACIÓ DE DOCUMENTS

DOCUMENT 1

- Memòria
- Annex A: Estudi de mercat
- Annex B: Proves experimentals
- Annex C: Evolució i càlculs del disseny final

DOCUMENT 2

- Plànols

ANNEX A

ESTUDI DE MERCAT

A.1 Rodes actuals

Al mercat actual, podem trobar diferents pneumàtics per bicicletes, - que realitzen tots la mateixa funció-, però estan destinats per a diferents modalitats o sensacions. D'aquesta manera, podem trobar pneumàtics molt més esmorteïts i amb més pes, o amb menys esmorteïment però molt més lleugers i en funció de l'ús necessari es pot centrar en un estil o un altre. Dins d'aquest mercat podem trobar dues grans branques, les quals serien els pneumàtics per bicicletes de carretera o de muntanya.

En el món dels pneumàtics de carretera podem trobar els de coberta convencional, tubulars i fins i tot els tubeless que no porten cambra d'aire, però dins del món de les bicicletes de muntanya és molt més difícil trobar aquesta varietat de pneumàtics, ja que pateixen molts més impactes i aquestes podrien acabar trencant-se molt ràpidament.



Figura 26: Pneumàtic tubeless

Per aquest motiu, aquest treball se centrarà la informació en els pneumàtics de muntanya, ja que es pretén dissenyar una roda per aquesta modalitat en concret. Com sabem, al mercat de bicicletes de muntanya podem trobar una gran varietat de rodes i totes depenen de la modalitat a la qual es participi. En canvi, anys enrere les rodes utilitzades eren d'unes 26 polsades de diàmetre, però amb el temps han anat augmentant fins a 27,5" o 29" per obtenir una menor resistència al rodament i més velocitat.

Les rodes de 27,5 polsades s'utilitzen principalment en les disciplines de descens, i les de 29" en les carreres de muntanya. Observant aquestes diferències, hem decidit centrar l'estudi en les rodes de descens, és a dir, les de 27.5", ja que és una modalitat on podem obtenir molts avantatges i pocs inconvenients incorporant aquesta nova tecnologia de pneumàtic.

A.2 Rodes sense aire

En el mercat podem trobar molts models de pneumàtics per diferents situacions, però quasi tots amb la mateixa tecnologia. Dins d'aquest mercat han començat a aparèixer uns pneumàtics, els quals no utilitzen aire per realitzar l'esmoreïment. La nova tecnologia, de la qual parlem s'anomena Airless, que significa "sense aire". Tots els models definits amb aquesta nova tecnologia, estan compostos per les mateixes especificacions: un material elàstic, normalment polímers de poliuretà elàstic, els quals realitza el mateix efecte que l'aire, però evitant així la necessitat d'introduir una cambra d'aire. Principalment, podem trobar prototips amb aquesta tecnologia, ja que encara no s'ha arribat a implantar en el mercat actual, i estan situats dins el món dels automòbils o el de les bicicletes.

Les parts principals d'aquestes rodes són les següents:

- ✚ Circumferència central deformable, o llanta (petites deformacions o cap) [*acer o plàstic dur*]
- ✚ Radis (entramat) de poliuretà elàstic (flexibilitat, absorció d'impactes i repartició de forces)
- ✚ Tira de pneumàtic (banda de rodament) exterior [cautxú]

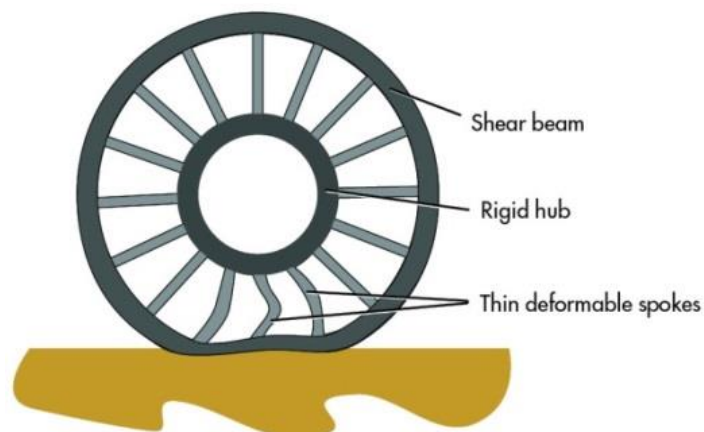


Figura 27: Parts d'una roda sense aire

Al món de les bicicletes, no s'ha implantat el concepte d'Airless com en el cas dels automòbils. En el segon, s'utilitzen "radis" d'un material elàstic, els quals en deformar-se generen l'esmorçiment necessari, en canvi, en el cas de les bicicletes, s'utilitzen pneumàtics d'un material més dens, però foradat per millorar la deformació, i així generar el mateix efecte.



Figura 28: Pneumàtic foradat

En ambdós casos els avantatges i desavantatges són els mateixos:

- **Avantatges**
 - Possibilitat de crear radis amb diferents resistències a la deformació depenent de les necessitats del vehicle.
 - Sense punxades ni desinflar-se.
 - Major superfície de contacte (menys diàmetre per la mateixa adherència), al tenir menys pressió disminueix el desgast

- **Desavantatges**
 - Problemes de vibració a partir de 80 km/h (50 mph) crea soroll i calor.
 - Més resistència al rodament.
 - Menys suspensió.
 - Escalfament del material en distàncies llargues.

Al següent estudi, ens basarem en aquesta tecnologia dins el mercat actual, amb el qual podrem obtenir idees i observar quines possibles millores existeixen dins aquest àmbit. Així doncs, podem observar l'augment d'aquesta tecnologia dins el món dels estudis, però és més difícil observar-lo en el món pràctic, i menys en bicicletes. Per començar, ens centrarem en el món dels automòbils, en el qual ja comencen a introduir aquesta tecnologia en algunes situacions. A continuació es mostren els diferents models existents del mercat amb les principals característiques de cadascun.

Tweel – Michelin

Aquesta roda anomenada Tweel està composta per una banda de cautxú tradicional i una sèrie de radis de poliuretà que absorbeixen l'energia dels impactes. Els seus radis poden estar formats de diferents materials per atorgar més o menys esmorteïment. En canvi, el seu compartiment interior està format per una matriu d'estructura plàstica deformable que es flexiona en ser sotmesa a càrregues i després recuperen la forma original. Al mercat actual, es poden trobar diferents models amb característiques particulars però tots estan dissenyats per vehicles petits, tallagespes, carros motoritzats, vehicles industrials, etc.



Figura 29: Tweel d'un tallagespa

Polaris Sportsman - airless tyre

A continuació, podem veure aquest nou disseny introduït de la marca Polaris Sportsman. Un nou model on s'obtenen millores en adherència i sobretot la impossibilitat de punxar durant el trajecte. En aquest cas concret, el concepte de no poder-se punxar el pneumàtic és la millor evolució dins el model. La principal diferència amb els altres casos esmentats, són les grans forces que ha de suportar durant el trajecte. Per aquest motiu, està compost d'una estructura molt més resistent i difícil de deformar, obtenint així un trajecte més còmode. Amb l'aparició d'aquest nou model no s'han buscat millores en el pes i/o en rendiment, sinó la possibilitat de millorar el trajecte i evitant possibles punxades.



Figura 30 : Polaris Sportsman new airless

Bridgestone - airless tyre

Aquesta empresa té diferents models de rodes sense aire, els quals ja s'han produït i testat en diferents situacions. Cal remarcar que el primer model dissenyat era per un vehicle lleuger, el qual estava format per 4 rodes sense aire que permetien no haver d'inflar-les mai més.



Figura 31 : Roda sense aire per vehicle lleuger

Pel nostre treball és millor centrar-nos en el model creat per una bicicleta, ja que és l'única marca que ha portat a terme un disseny per aquest vehicle concret. Aquesta roda està formada per 3 elements especials: una llanta rígida, la qual uneix la roda amb la bicicleta; els radis que s'encarreguen de simular l'efecte de l'aire a pressió; i un pneumàtic exterior dissenyat especialment per unir-lo als radis.



Figura 32 : Roda sense aire de bicicleta

Pneumàtics foradats

Per últim tenim els pneumàtics foradats, els quals són una versió similar al que es busca en aquest treball, però més simple, ja que l'única variació amb una roda convencional està en el pneumàtic, el qual està format per un cos de cautxú foradat permeten així les deformacions fins a cert punt. Dins d'aquestes tipologies de pneumàtic, també podem trobar diferents versions que alhora, depenen de les prestacions desitjades, però totes estan formades pel pneumàtic i la llanta. A continuació podem observar una imatge d'un d'aquests pneumàtics:



Figura 33: Pneumàtic foradat

Observant la imatge, ens podem fer una idea dels avantatges i inconvenients d'introduir aquesta tecnologia en les nostres bicicletes. La majoria dels avantatges són iguals que en la roda sense aire existent, però en cas de rebre un xoc, la llanta patiria els mateixos problemes que en una roda convencional.

ANNEX B

PROVES EXPERIMENTALS

B.1 Introducció

En aquest Annex es mostren les dues proves experimentals realitzades per determinar les propietats dels materials a utilitzar i la realització de l'estudi realitzat en l'apartat 3.1.1.

B.2 Estudi d'una goma

Per poder determinar les propietats de la goma a utilitzar en el nou model, s'ha realitzat un estudi amb dues gomes elàstiques diferents. S'ha pogut observar la gran flexibilitat d'aquestes, comparades amb la funció necessària, per tant, l'estudi és només amb fins d'observació, ja que les propietats que s'obtidran no es poden aplicar al nostre cas, però podem obtenir informació útil per definir els materials a utilitzar en el nostre model.

Per la realització de l'estudi s'han agafat dues gomes de propietats diferents i s'han posat en voladís, com s'observa en la figura GGG.

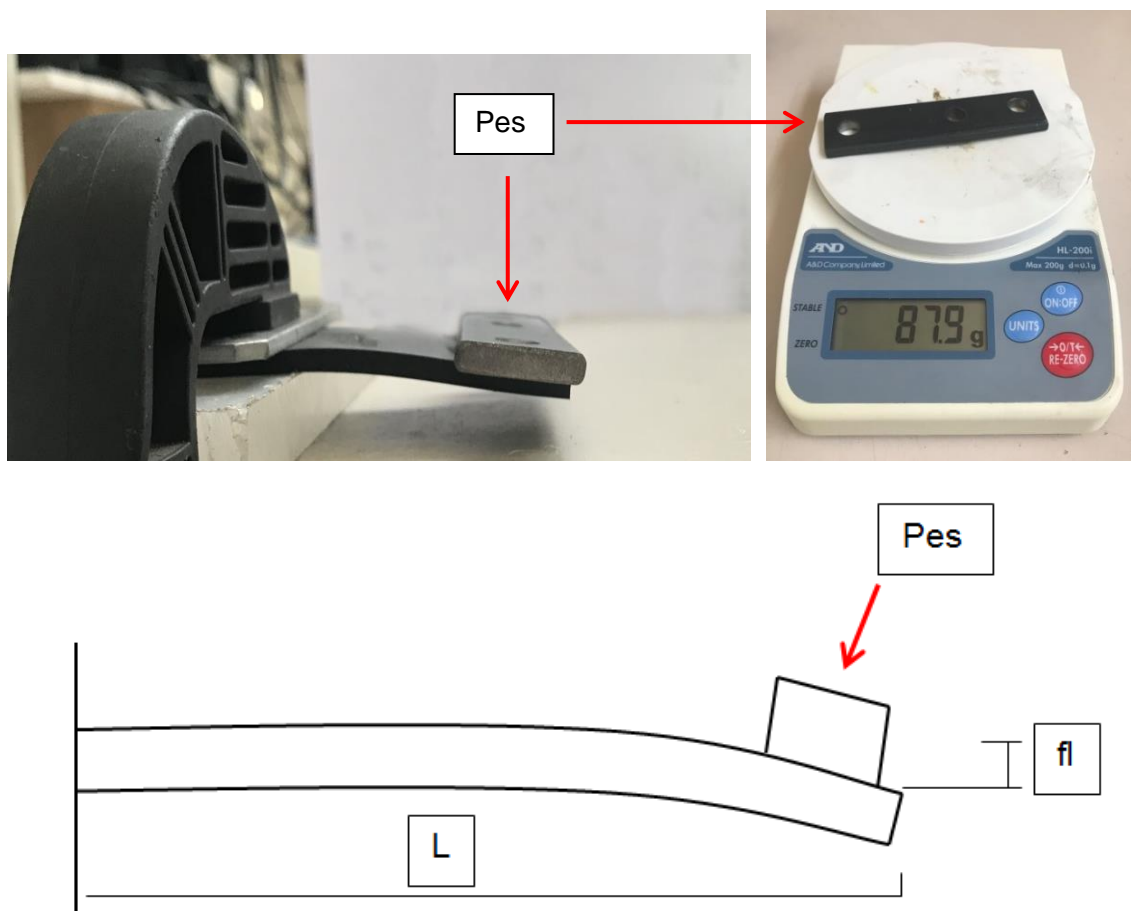


Figura 34 : Goma 2 en voladís i pes aplicat

Després s'ha aplicat una força fins a obtenir una fletxa considerable. A continuació podem observar un esquema i una taula on podem observar les dades més importants en ambdós casos.

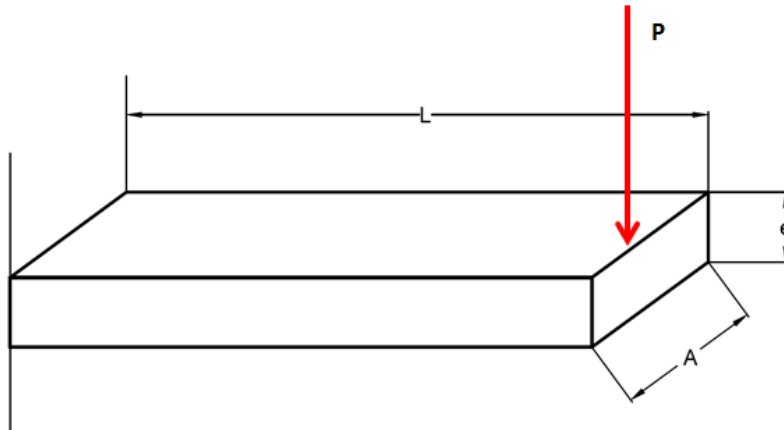


Figura 35 : Esquema del voladís

	Goma 1	Goma 2
Pes aplicat (P)	0,31 N	0,879 N
Braç de palanca (L)	40 mm	45 mm
Gruix (e)	4 mm	4 mm
Amplada (A)	70 mm	70 mm
Fletxa obtinguda	13 mm	5 mm

Un cop apuntades les fletxes obtingudes, s'ha utilitzat la fórmula per deformacions a l'extrem d'una biga en voladís per obtenir el mòdul de Young del material.

$$y_f = \frac{L^3}{3E \cdot I} F \quad \longrightarrow \quad E = \frac{L^3}{3y_f \cdot I} F$$

Amb aquestes dades s'ha pogut obtenir el Mòdul de Young de les dues gomes estudiades.

Modul de Young 1 = **1,36 MPa**

Modul de Young 2 = **14,3 Mpa**

Com a conclusió, cal determinar que l'estudi s'ha realitzat amb dues gomes molt flexibles, les quals no podrien tenir aplicacions dins aquest treball, però comparant els resultats obtinguts amb la diferència de rigidesa que ha de tenir el material per la roda dissenyada i aquestes dues gomes estudiades, podem afirmar que un mòdul de Young de 500 Mpa pel nostre cas pot ser un valor acceptable i pròxim al necessari.

B.3 Estudi de la deformació de la roda

En aquest apartat es realitza un petit estudi experimental sobre la deformació de la roda, ja explicat en l'apartat 3.1.1. Principalment aquest estudi intenta completar i demostrar d'una manera experimental i personal tot l'esmentat en l'apartat 3.1.1. Per la realització d'aquest estudi s'ha utilitzat una bicicleta de muntanya, s'han mesurat les dimensions de la roda sense patir cap força, i després s'ha pujat una persona per simular la deformació que pateix. Així doncs el material utilitzat per aquest estudi és: una bicicleta de muntanya i un peu de rei.

A continuació es mostra com s'ha realitzat la mesura amb el peu de rei, cal dir que aquest càlcul és aproximat, ja que serveix per demostrar si tot l'esmentat en l'apartat 3.1.1 és correcte.



Figura 36 : Mesura de la deformació

Seguidament, per realitzar la mesura s'ha calculat la distància que hi ha entre la part superior de la llanta i el terra, en el nostre cas aquesta distància era de 5,8 cm. Després s'ha tornat a mesura aquesta distància però amb una persona sobre la bicicleta (pes de 70 kg). Clarament en les imatges que es veuen a continuació es pot observar aquesta deformació de la roda.



Figura 37 : Roda sense deformació (superior) i amb deformació (inferior)

Un cop observada la deformació de la roda, s'ha mesurat la distància esmentada anteriorment i ha sigut de 4,7 cm. Per tant, suposant els estudis realitzats en l'apartat 3.1.1 d'aquest treball, aquesta distància s'hauria de disminuir uns 10-15 mm aproximadament. En el nostre cas aquesta distància s'ha escurçat 11mm. Cal esmentar que aquest estudi s'ha realitzat en la roda posterior, la qual pateix deformacions més elevades, principalment perquè la distribució de forces augmenta en aquesta roda. Així doncs, podem arribar a la conclusió amb l'estudi realitzat, que en un cas real s'obtenen deformacions molt similars a les establertes en l'apartat 3.1.1 d'aquest treball.

ANNEX C
EVOLUCIÓ I CÀLCULS DEL
DISSENY FINAL

C.1 Activació de l'opció Large Deflection

A l'hora de realitzar les simulacions dins l'Ansys Workbench, ha sigut molt important imposar unes condicions per així obtenir els resultats més reals possibles. S'ha observat la possibilitat de realitzar-les activant l'opció Large deflecion, com podeu observar en la següent imatge.

[-] Step Controls	
Number Of Steps	1,
Current Step Number	1,
Step End Time	1, s
Auto Time Stepping	Program Controlled
[-] Solver Controls	
Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	Off
Solver Pivot Checking	Program Controlled
Large Deflection	On
Inertia Relief	Off
[+] Rotordynamics Controls	
[+] Restart Controls	
[+] Nonlinear Controls	
[+] Output Controls	
[+] Analysis Data Management	
[+] Visibility	

Figura 38 : Activació de Large Deflection

En un cas general, l'Ansys Workbench aplica les forces imposades i obté uns resultats, però es té present les variacions de dimensions, ja que suposa petites deformacions en l'objecte a estudiar. En canvi, quan s'activa aquesta opció, el programa té present les deformacions que es van creant en aplicar les forces i per tant, torna a calcular els moments que es creen en l'objecte a estudiar. Per demostrar la diferència entre activar o no aquesta opció, s'ha realitzat un estudi i s'ha pogut veure com influeix aquesta opció.

Demostració

Per realitzar aquest estudi s'ha modelat un prisma rectangular, en el qual s'hi ha aplicat una força en una aresta i s'ha fixat la part inferior.

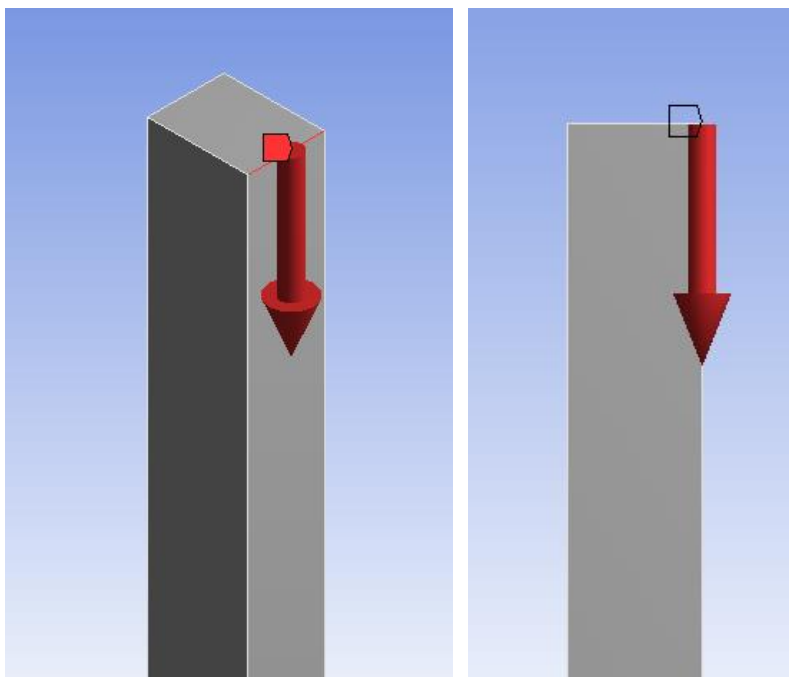


Figura 39: Aplicació de la força

En aplicar aquesta força podem intuir la deformació que patirà el cos (deformació cap a la dreta), augmentant així poc a poc el moment que pateix i així augmentant la deformació.

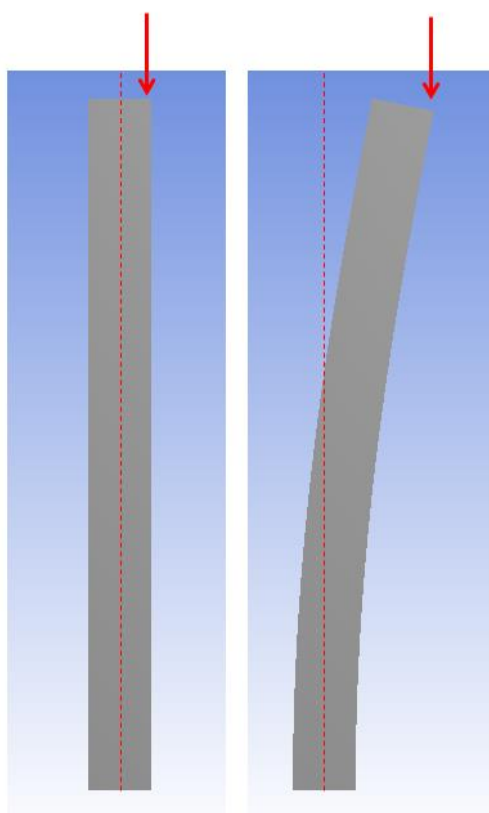


Figura 40 : Nou moment generat

En la següent imatge podem observar les diferències obtingudes activant aquesta opció.

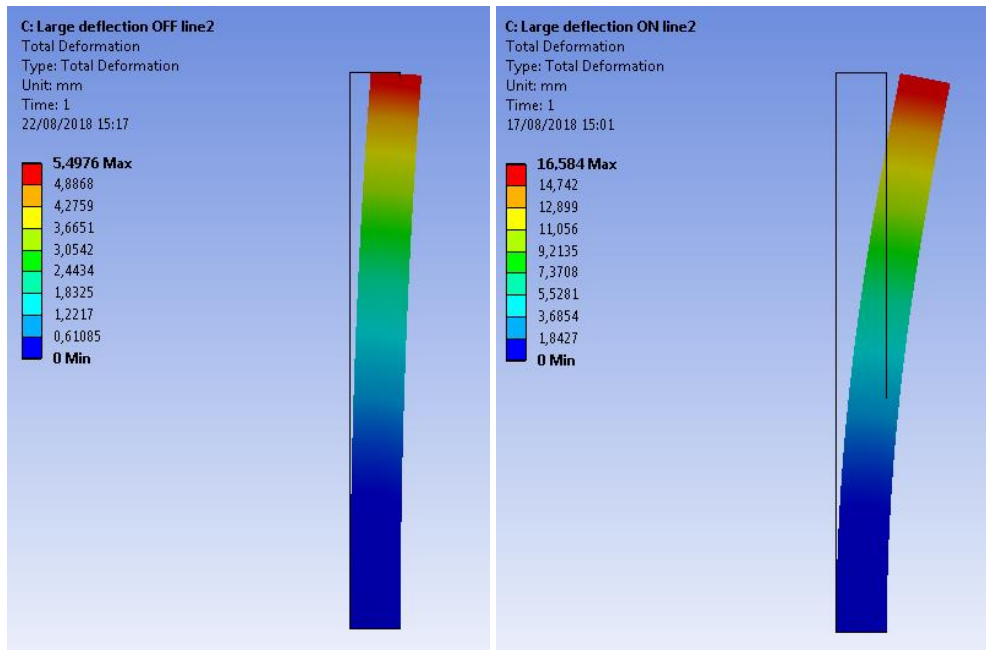


Figura 41 : Diferència amb Large Deflection activat

Clarament veiem que activant aquesta opció, la deformació obtinguda és molt més elevada, ja que el moment que es genera és major que l'inicial. Com a conclusió, podem determinar la importància d'activar aquesta opció a l'hora de realitzar totes les simulacions per aquest treball, ja que s'està estudiant un model, el qual pateix deformacions molt elevades.

C.2 Condicions de contorn i càrregues aplicades

Uns altres conceptes que són necessaris conèixer a l'hora de realitzar les simulacions són les condicions de contorn i càrregues, ja que això pot determinar si s'obtenen resultats reals o no. En tots els casos i simulacions realitzades s'han establert les mateixes condicions i càrregues per així mantenir la veracitat dels resultats obtinguts.

Condicions de contorn

Per començar, a l'importar el model a l'Ansys Workbench es generen 6 parts amb les quals hem de definir una connexió entre aquestes. En el nostre cas concret, aquesta connexió és enllaçat o "bonded", ja que aquesta opció uneix els cossos com si estiguessin enganxats, que seria el nostre cas.

Una vegada definides les connexions, és necessari definir l'ambient, ja que la roda va connectada a la bicicleta a través de la llanta, però aquesta no estat importada, ja que no influeix en l'estudi que volem realitzar. Per tant s'ha imposat un suport cilíndric a la zona on aniria connectada la llanta. Aquesta condició la podem observar en la següent figura.

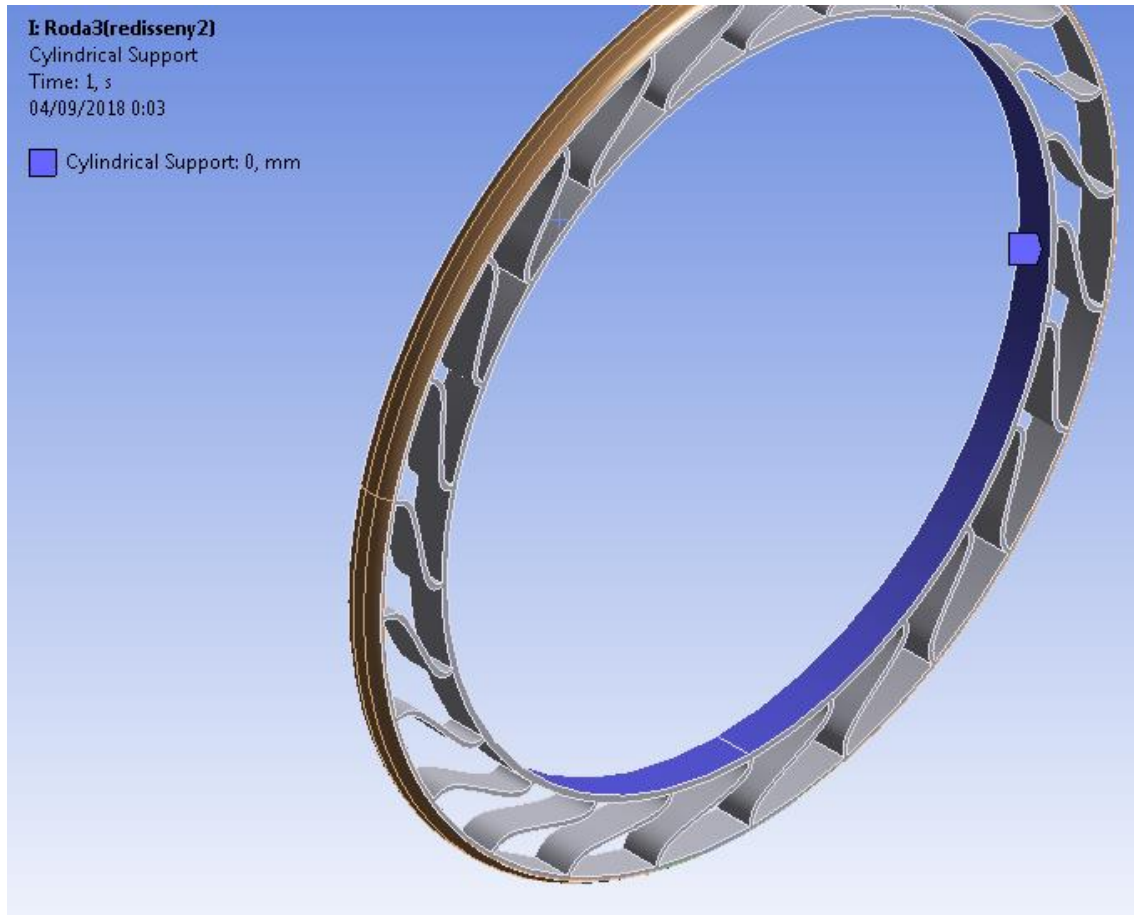


Figura 42 : Suport cilíndric a la roda

Càrregues aplicades

L'altre punt important per definir abans d'iniciar les simulacions són les càrregues que s'han d'aplicar en el model. Per definir la distribució d'aquestes càrregues s'ha realitzat un estudi que es pot observar en l'apartat 3.1.1 d'aquest treball. Així doncs, quan ja hem definit la distribució, imposem quatre forces en diferents superfícies per simular el contacte amb el terra. A continuació, ho podem observar en les següents imatges.

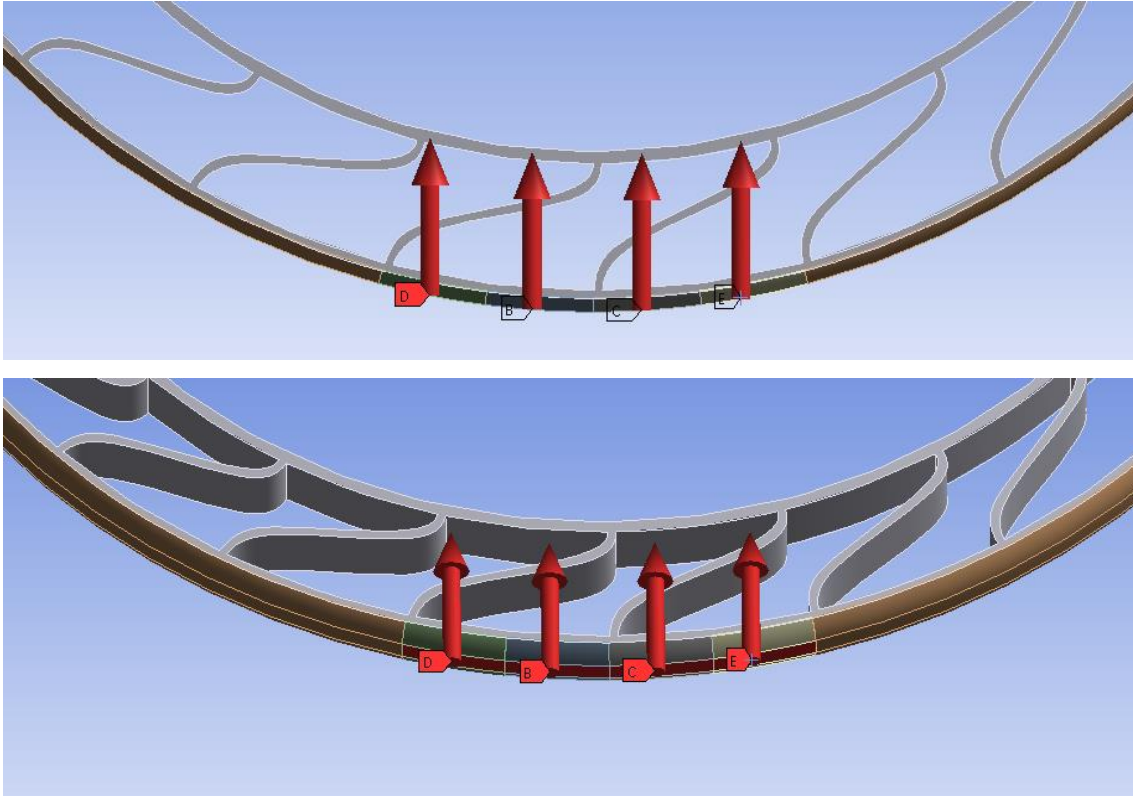


Figura 43 : Càrregues aplicades

C.3 Evolució del disseny final

En aquest apartat es mostraran els diferents dissenys que s'han realitzat per obtenir el resultat final. Cal esmentar que per cada canvi que s'ha realitzat en el model, s'han fet simulacions dins l'Ansys Workbench per observar com afecta en la roda el canvi afegit. Per començar es mostrarà l'evolució que ha tingut el disseny final, mostrat en l'apartat 2 del treball. Un cop explicats tots els canvis imposats, es mostrarà una taula amb els resultats obtinguts de cada simulació, enumerats cronològicament.

Disseny 1

Aquest el primer disseny que es va realitzar per iniciar aquest treball. Principalment es basa en el model estudiat (Bridgestone - airless tyre), simplificant encara més els radis de la roda, ja que aquests són rectes amb una certa inclinació.

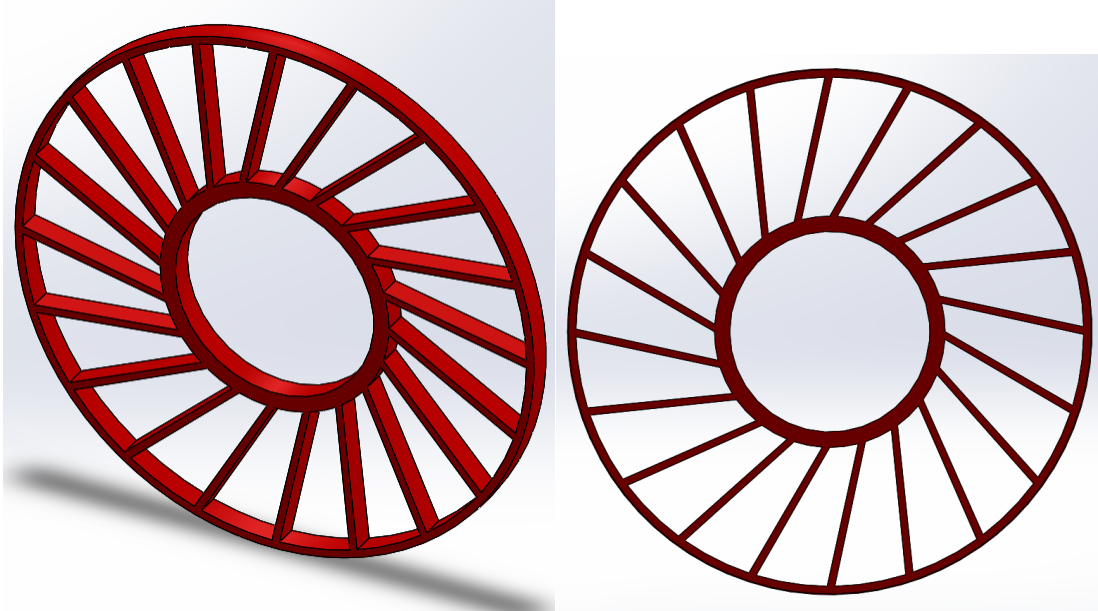


Figura 44: Primer disseny realitzat

Observant el model, podem suposar que la gran rigidesa que té, perquè al no patir no cap línia corbada és molt difícil arribar a doblegar algun dels radis. Una vegada realitzada la simulació, veiem que els radis són rígids i només es deforma el pneumàtic, així doncs s'ha de fer un canvi de forma per millorar l'escorment.

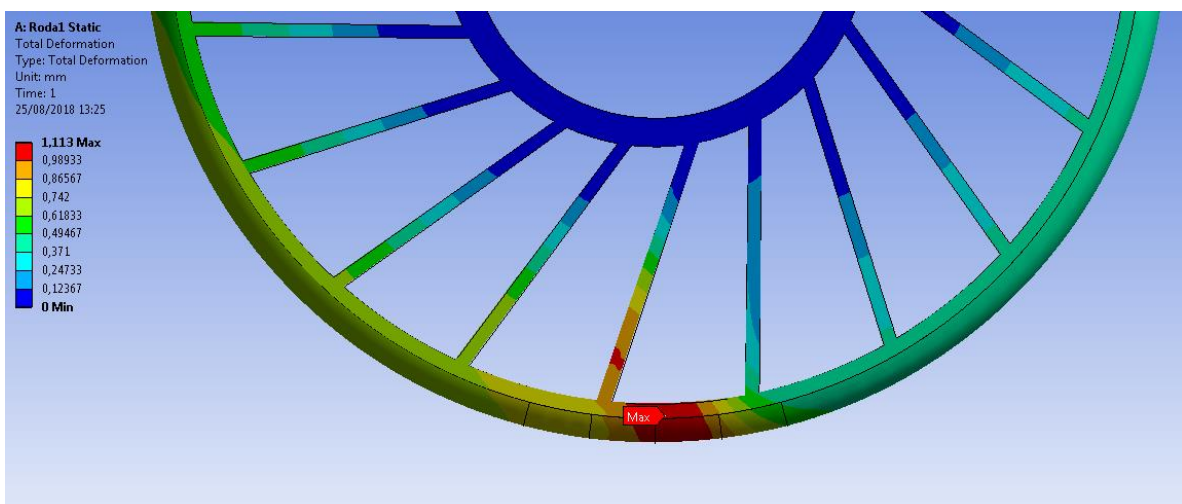


Figura 45: Deformació del disseny 1

Disseny 2

En el segon disseny realitzat s'obté una variació en la forma dels radis. És l'únic canvi important que pateix el model, però aquest canvi augmenta la deformació un 500% respecte al disseny anterior. Aquesta nova forma es pot observar en la següent imatge.

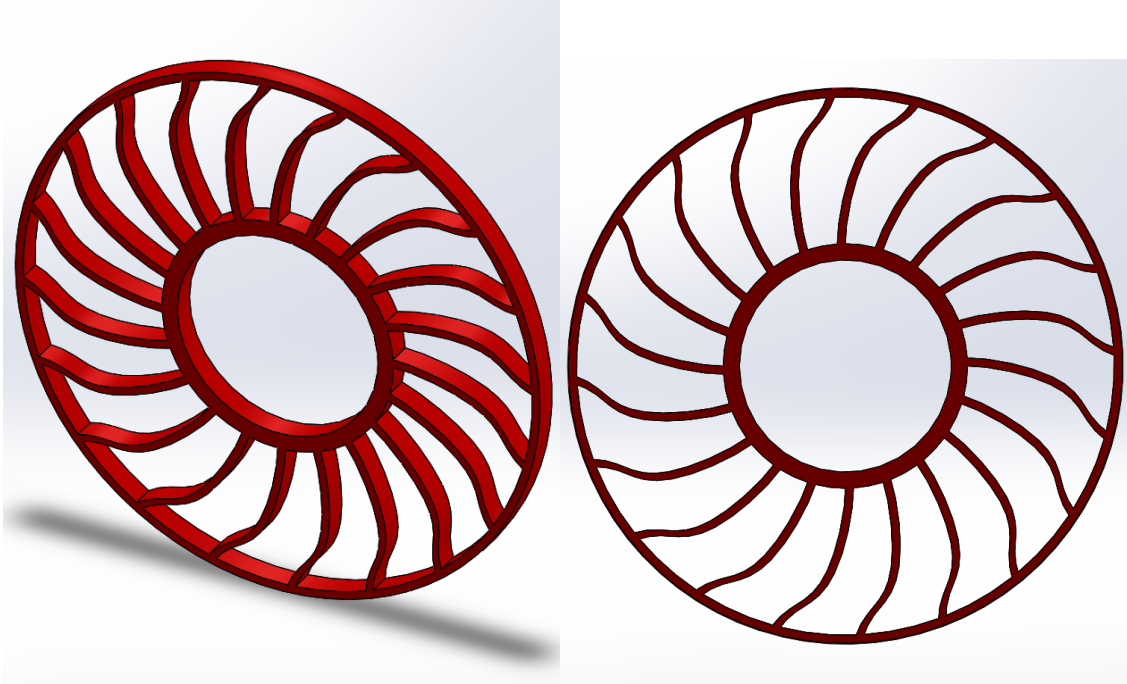


Figura 46 : Segon disseny realitzat, variació de forma

La principal diferència entre aquest disseny i l'anterior és la part corba, la qual facilita la deformació en aquesta zona del radi. Tota la part interna de la roda segueix tenint la mateixa rigidesa, però la part exterior és molt més deformable en aquest nou disseny.

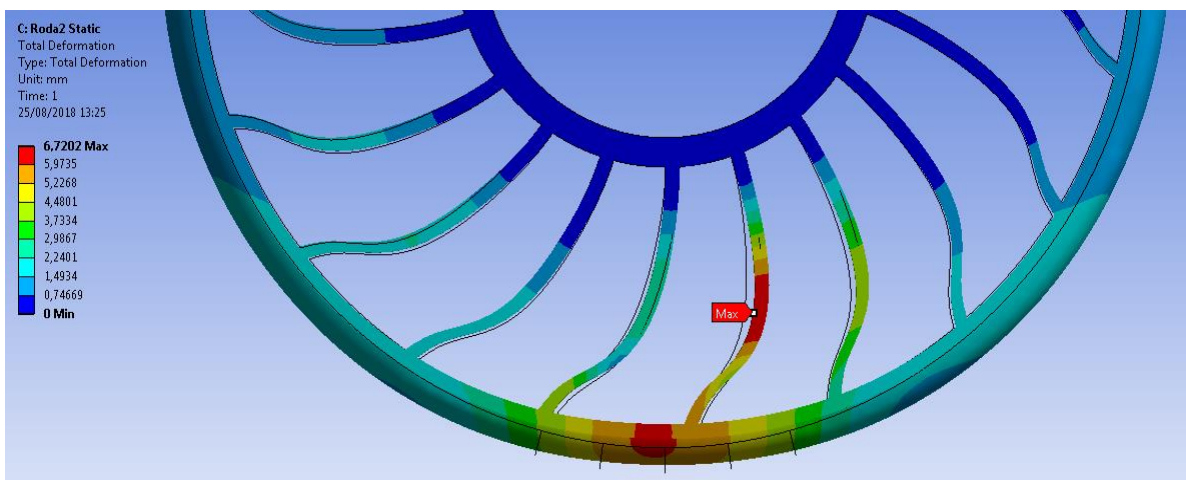


Figura 47 : Deformació del disseny 2

Disseny 3

En aquest nou disseny es realitza una nova variació de la forma, millorant-la més. Amb aquesta nova variació s'obté aproximadament un augment de la deformació d'un 700% respecte al disseny 1. En aquest cas, la corba és més pronunciada i llarga que en el disseny anterior, generant així moments més elevats i augmentant la deformació en aquesta zona dels radis.

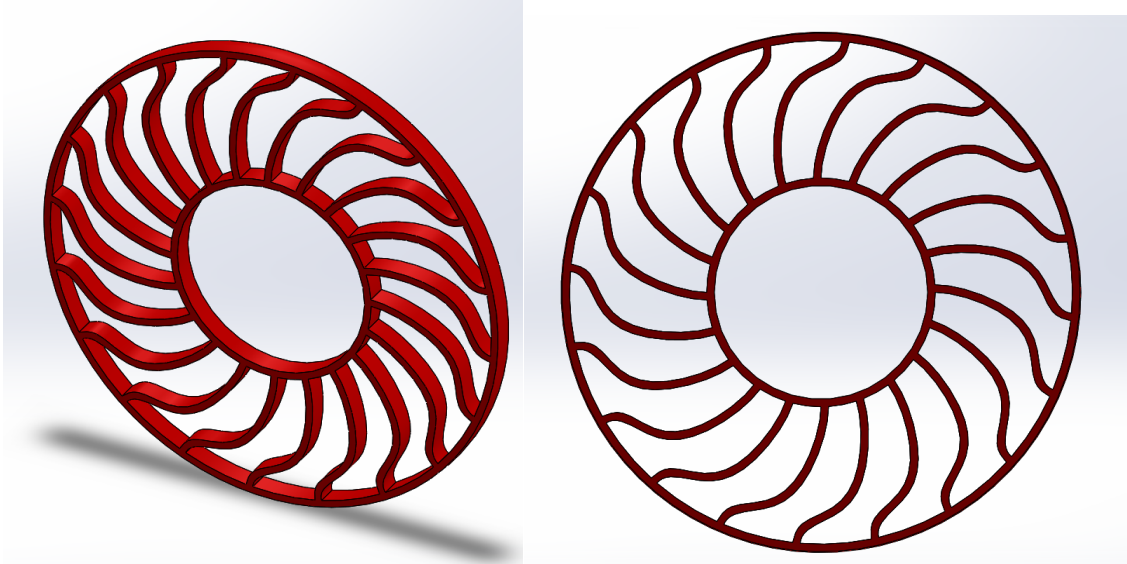


Figura 48 : Tercer disseny, segona variació de forma

També s'ha disminuït el gruix de la circumferència interior, la qual va unida a la llanta, ja que no influeix en la deformació i podem disminuir el pes general de la roda.

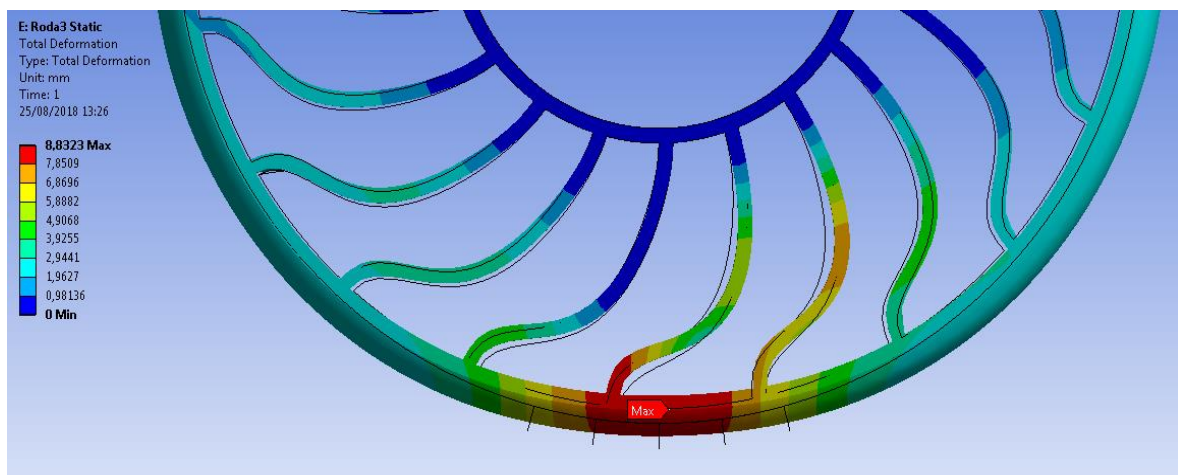


Figura 49 : Simulació del disseny 3

Disseny 4

A continuació es mostra el quart disseny, el qual ha tingut una importància molt elevada per determinar la forma del disseny final.

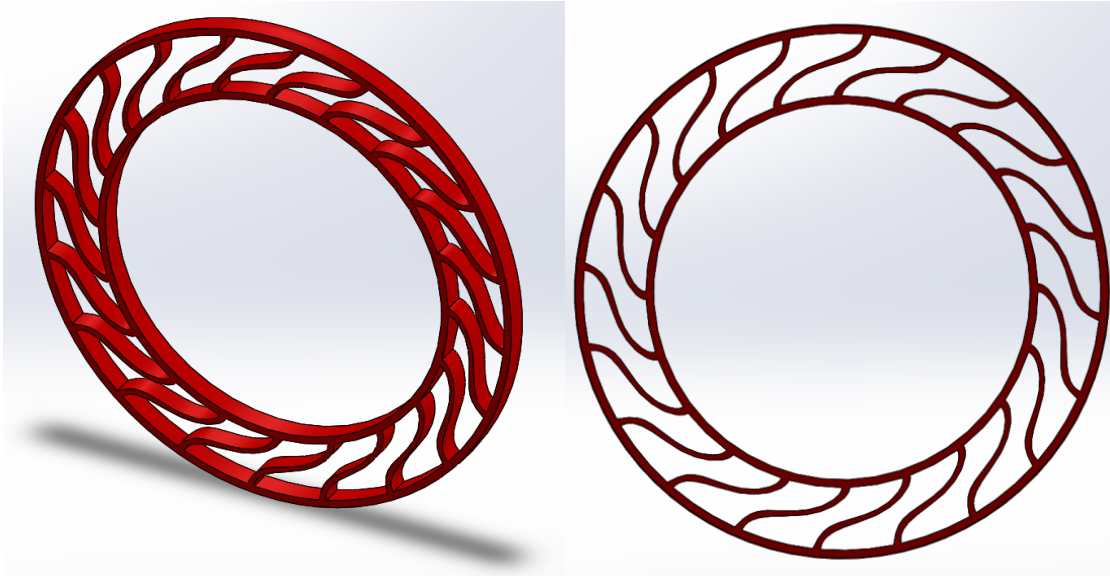


Figura 50 : Quart disseny, augment del radi interior

En observar que en els dissenys anteriors només treballava la part externa dels radis, s'ha imposat la possibilitat d'augmentar el diàmetre interior de la roda (de 260mm a 480mm), disminuint així la llargada dels radis i utilitzant menys material per realitzar la mateixa funció. En disminuir els radis, aquests es tornen més rígids empitjorant l'esmoreïment de la roda. Aquest concepte el podem veure a la simulació, ja que la forma del radi encara és més corba (hauria d'augmentar la deformació), però en disminuir la llargada d'aquests radis, la deformació és menor que en el disseny anterior.

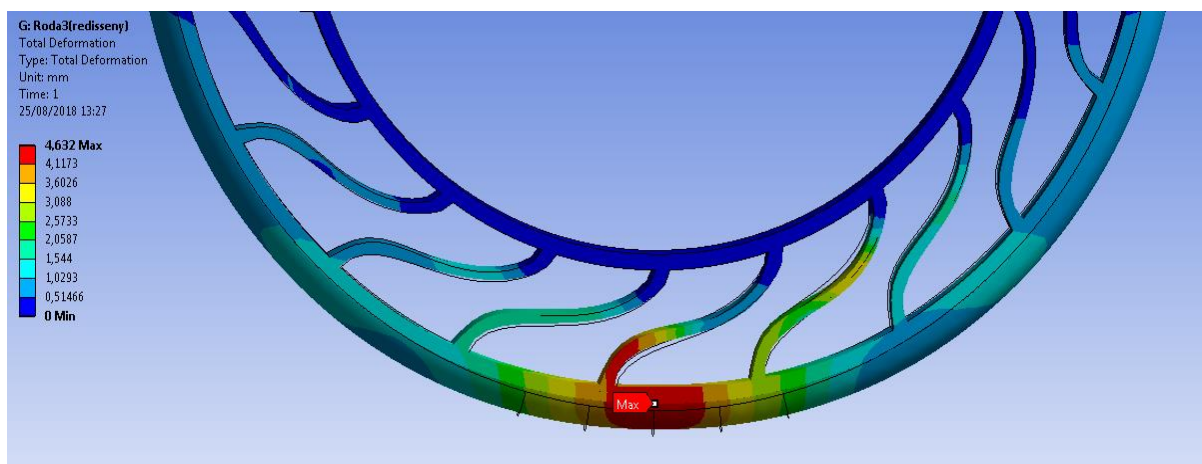


Figura 51 : Simulació del disseny 3

Disseny final

Al següent apartat ja es mostra el disseny final d'aquest treball. En aquest últim disseny s'han optimitzat tots els punts de millora establerts en els dissenys anteriors. Per començar s'ha augmentat el diàmetre interior a 560mm (en el disseny anterior era de 480mm), en realitzar aquest canvi la rigidesa del model augmenta, però disminueix considerablement el pes total, ja que en el primer disseny la roda tenia un pes de 2800 grams fins a obtenir en el disseny final només 1200 grams.

Així doncs, quan s'augmenta la rigidesa de la roda, es disminueix el gruix dels radis fins a 3'5mm (en el model anterior era de 10mm), i s'afegeix 4 radis més per distribuir millor les forces. Alhora, també s'ha realitzat un nou disseny de forma pels radis, que està format per una simetria, per tant la part interna com l'externa dels radis són iguals. Això permet un millor funcionament i deformació per aquests. Tots aquests canvis es poden observar en la següent imatge.

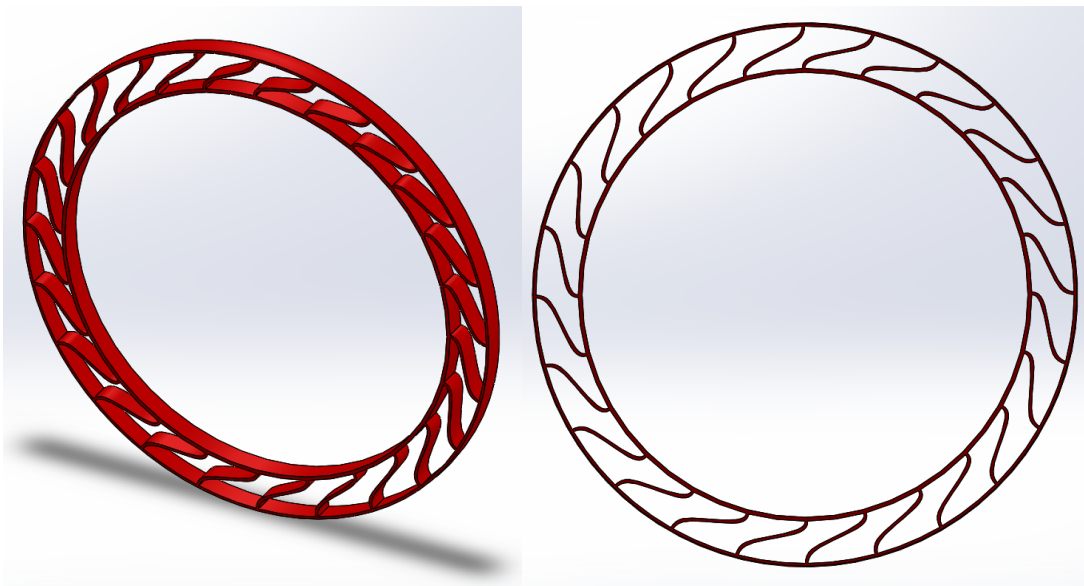


Figura 52 : Disseny final

Tots aquests canvis ens han permès centrar la deformació en els radis, evitant deformacions del pneumàtic. En la simulació realitzada es pot observar que obtenim una deformació màxima d'un radi de 11mm aproximadament, i la deformació vertical del pneumàtic és de 8'5mm. Amb aquestes dades determinem que el model dissenyat és en part, més rígid que una roda convencional, però per la modalitat que està dissenyada pot ser un punt a favor.

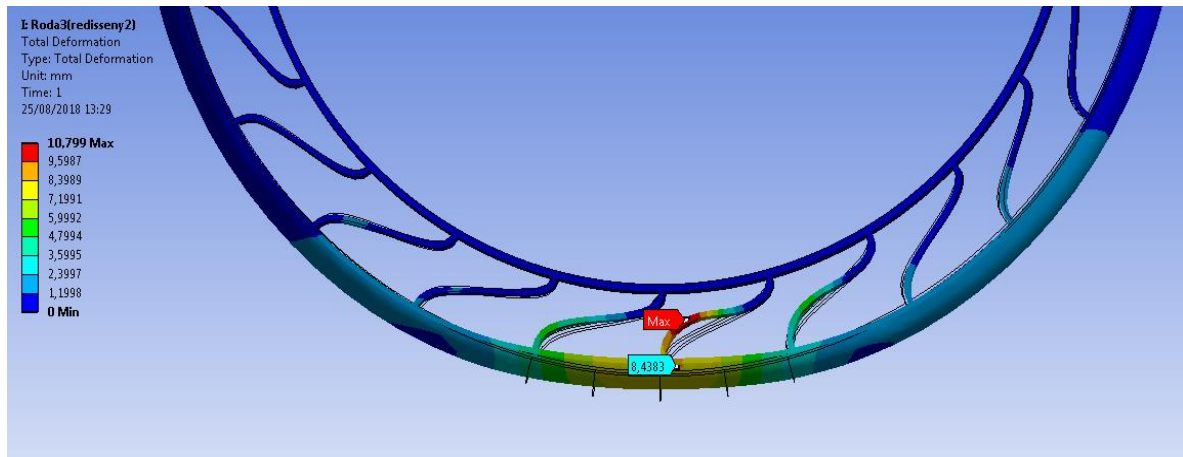


Figura 53 : Simulació del disseny final

Prova disseny d'alumini

Aquest disseny que s'esmenta a continuació no ha influït en el disseny final, però és un punt important per comentar, ja que des de l'inici del treball ha existit la possibilitat de canviar el material utilitzat per aquest tipus de roda (material elàstic, en aquest cas poliuretà), per un de convencional com pot ser l'alumini.

Per tant s'ha realitzat un disseny similar als estudiats, per tal d'observar la possibilitat de crear aquest model a partir d'alumini. Cal esmentar la diferència en la rigidesa dels dos materials, ja que en el cas de l'alumini el Mòdul de Young és de 71000 MPa, més de 100 vegades superior al material utilitzat des de l'inici del treball. Això vol dir que el model creat ha d'estar format per radis molt més prims per arribar a obtenir deformacions similars. En aquest cas, s'ha decidit introduir al disseny radis de 1mm de gruix (ja que considerem que implantar radis més fins podria arribar a afectar el comportament de la roda, perquè serien massa fins per produir-los).

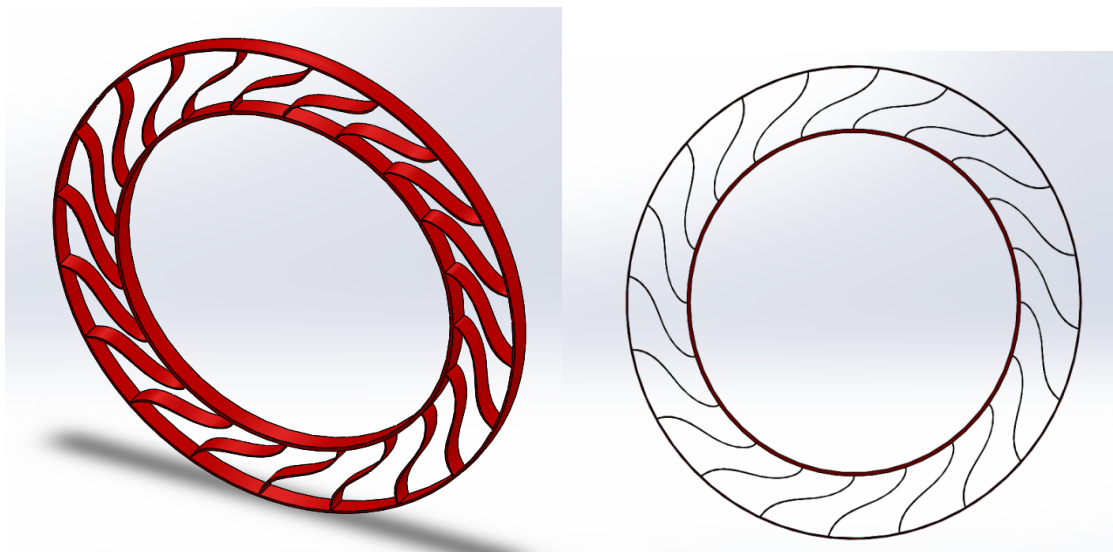


Figura 54 : Disseny d'alumini

A l'hora de realitzar la simulació s'observa que la deformació ha sigut molt similar a l'obtinguda durant totes les proves anteriors. Per tant, es determina possible la realització d'aquest model amb alumini.

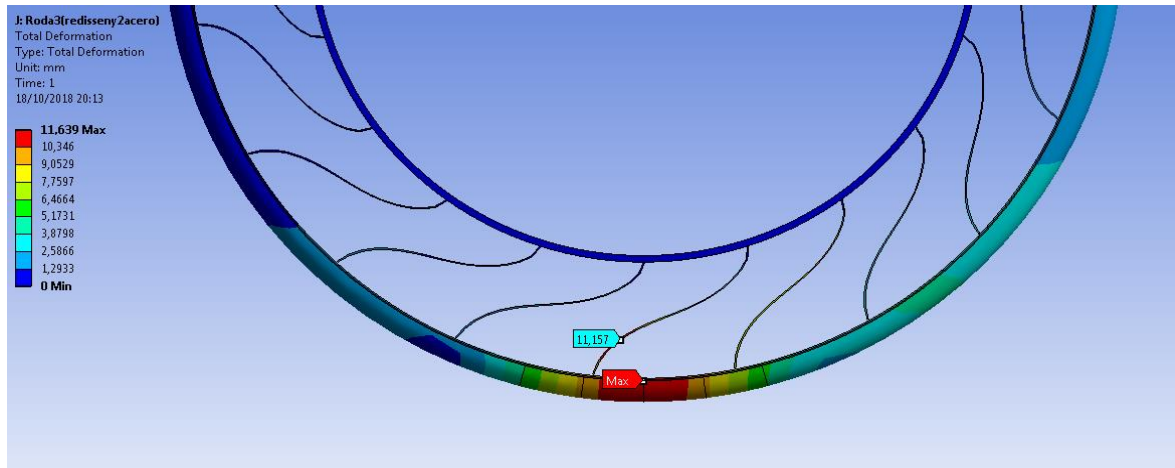


Figura 55 : Simulació del disseny d'alumini

Prova d'un xoc puntual

En aquest disseny es realitza en el disseny definiu un xoc puntual de 300N, amb el qual s'intenta observar com reacciona la roda en per exemple, passar per sobre una pedra.

La distribució de la força aplicada es pot observar en la següent imatge.

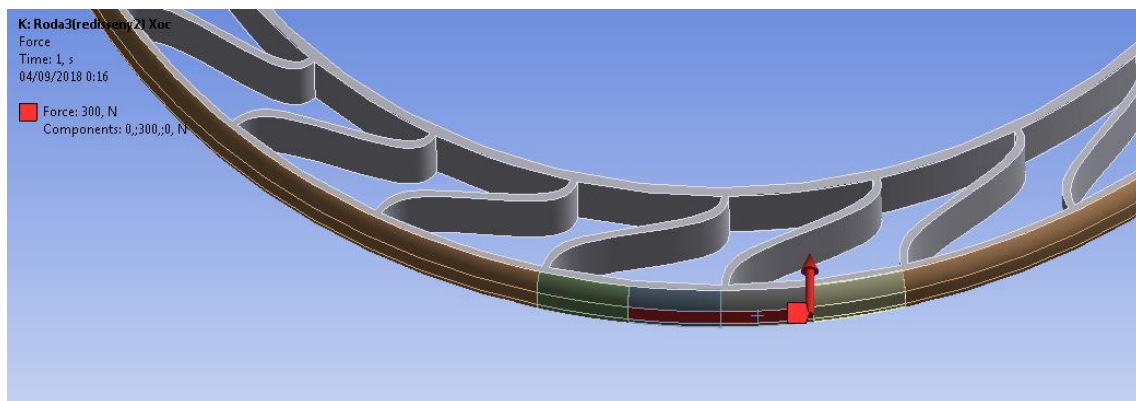


Figura 56 : Simulació d'un xoc puntual

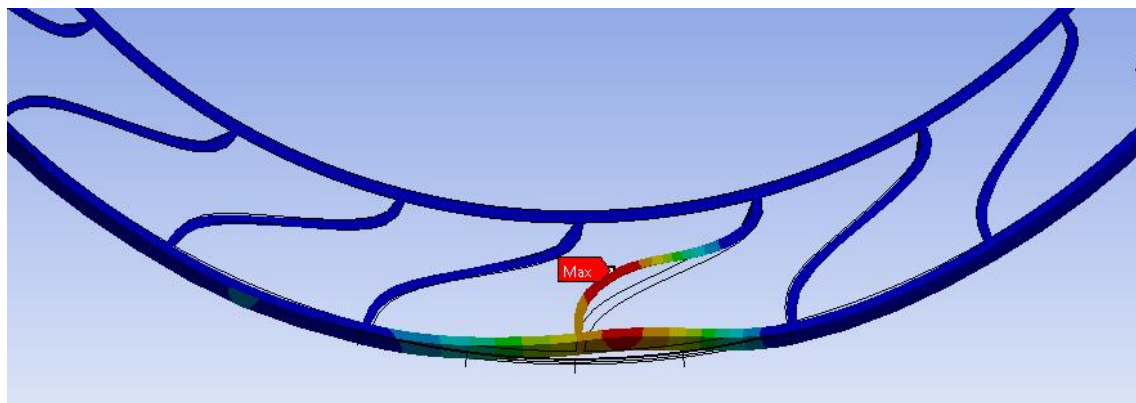


Figura 57 : Deformació d'un xoc puntual

Observant la imatge anterior podem veure que la roda pateix una deformació puntual en la zona d'aplicació de la força, amb això podem determinar que la roda seria capaç de suportar forces puntuals petites sense que es transmetés aquest sobresalt a la bicicleta, ja que es deformaria en la zona puntual.

Resultats de les simulacions

En aquesta taula es mostren els resultats de deformació i tensió màxims obtinguts en les simulacions dels dissenys esmentats anteriorment.

	Deformació màxima (mm)	Tensió màxima (Mpa)	Observacions
Disseny 1	1'113	0'6	Valor molt llunyà al necessari.
Disseny 2	6'7202	3'7	S'obté una deformació major canviant la forma.
Disseny 3	8'8323	3'8	També variant la forma s'obté una deformació més elevada.
Disseny 4	4'632	3'5	En augmentar el diàmetre interior la deformació disminueix.
Disseny final	10'8	7'4	Augmentem més el diàmetre interior però es disminueix el gruix. S'obté un valor correcte.
<i>Disseny alumini</i>	<i>0'4866</i>	<i>30</i>	<i>Obtenim deformacions molt petites per l'espessor dels radis.</i>