



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

TREBALL FI DE GRAU

Grau en Enginyeria Mecànica

**OPTIMITZACIÓ DE LA RIGIDESA D'UN XASSÍS D'UNA
MOTOCICLETA ELÈCTRICA DE COMPETICIÓ**



Memòria i Annexos

Autor: JOAN FERRAO GENESCÀ
Director: DAVID SANCHEZ MOLINA
Departament: RMEE
Convocatòria: MAIG 2018

Resum

En el present projecte, l'autor presenta un procés de càlcul i validació del disseny del xassís d'una motocicleta elèctrica de competició. El principal objectiu és obtenir un xassís amb una rigidesa el més òptima possible donades les condicions reals de funcionament, tot minimitzant el pes i assegurant una integritat estructural del vehicle. Aquesta optimització passa primerament per obtenir unes dades de les condicions reals de conducció de la motocicleta. Sense unes dades el més pròximes a la realitat qualsevol procés d'optimització no pot ser correctament validat. És imprescindible obtenir dades reals de la situació de conducció de la motocicleta pel seu disseny. Aquest no és el cas ja que aquest projecte, englobat en un equip universitari que participarà per primer cop en la competició universitària MotoStudent no disposa. Per tant es servirà de models matemàtics i diferents eines enginyerils per passar aquest primer escull i així poder aconseguir dades el més pròximes a la realitat, i obtenir el millor primer disseny possible. També servirà per en un futur, poder validar aquest procés presentat, i així utilitzar aquestes eines per l'avaluació del comportament de la futura motocicleta i els següents períodes de disseny.

El procés presentat consta primerament d'una optimització geomètrica. Com posicionar el centre de gravetat objectiu, on el comportament de la nostra motocicleta serà el més equilibrat possible. Considerant les mides reals del pilot així com la variació de la geometria de la motocicleta per observar com afecta la ubicació d'aquest paràmetre en el comportament i quantificar les forces externes que afectaran el nostre xassís. Un cop ubicat el centre de gravetat, es presentaran uns models matemàtics que descriuen el comportament tant en corba com en línia recta de la motocicleta. Aquests models s'utilitzaran per obtenir el pas límit per corba per un traçat donat i així, extreure les forces externes a les que estarà sotmès el nostre prototip. Aquest model també s'utilitzarà posteriorment per extreure les càrregues transitòries utilitzades en els anàlisis dinàmics.

Es plantejarà un model de l'estructura del xassís simplificat per obtenir una comparativa aproximada de rigideses i pesos per diferents perfils disponibles al mercat. Compararem diferents combinacions donades unes restriccions constructives i així seleccionar els perfils pel nostre disseny obtenint la rigidesa desitjada amb el mínim pes possible.

Finalment el disseny es validarà utilitzant eines CAE, tenint en compte tant les situacions estàtiques com dinàmiques. Obtindrem els modes de freqüència natural i realitzarem un anàlisi de les càrregues transitòries obtingudes dels models matemàtics que descriuen el comportament de la motocicleta en una corba i una recta del circuit de Motorland Aragon.

Resumen

En el presente proyecto, el autor presenta un proceso de cálculo y validación de diseño de un chasis de una motocicleta de competición eléctrica. El principal objetivo es obtener un chasis con una rigidez lo mas óptima posible dadas las condiciones reales de funcionamiento, minimizando el peso y asegurando la integridad estructural del vehículo. Esta optimización pasa primeramente por obtener unos datos de la conducción de la motocicleta en condiciones reales de uso. Sin unos datos lo mas fieles a la realidad cualquier proceso de optimización no puede ser validado correctamente. Es imprescindible obtener datos reales de conducción para un óptimo diseño. Este no es el caso de este proyecto, que tiene lugar dentro de un equipo universitario que participará por primera vez en la competición universitaria MotoStudent y no se dispone de tales datos. El autor utilizará modelos matemáticos y diferentes herramientas ingenieriles para pasar esta primera barrera de diseño, y poder así obtener datos lo mas fieles a la realidad y por tanto el mejor primer diseño posible. Estos modelos también podrán ser utilizados en un futuro para validar todo este proceso, y así utilizar estas herramientas para la evaluación y el comportamiento de la futura motocicleta, así como para futuros diseños.

El proceso presentado consta primeramente de una optimización geométrica. Cómo posicionar el centro de gravedad objetivo, donde el comportamiento de nuestra motocicleta será lo más equilibrada posible. Considerando las medidas reales del piloto, así como la variación de la geometría de la motocicleta, observaremos como afecta la ubicación de este parámetro en el comportamiento y la cuantificación de las fuerzas externas que afectarán a nuestro chasis. Una vez ubicado el centro de gravedad, se presentarán unos modelos matemáticos que describen el comportamiento tanto en paso por curva como en línea recta de la motocicleta. Estos modelos se utilizarán par obtener el paso límite por curva de un trazado dado y así, extraer las fuerzas externas a las que estará sometido nuestro prototipo. Además, este modelo se utilizará posteriormente para extraer las cargas transitorias utilizadas en los análisis dinámicos.

Se planteará un modelo de estructura de chasis simplificada para obtener una comparación aproximada de las rigideces y pesos para los diferentes perfiles disponibles en el mercado. Se estudiarán diferentes combinaciones bajo unas restricciones constructivas seleccionando los perfiles de nuestro diseño, obteniendo la rigidez deseada con el mínimo peso posible.

Finalmente, el diseño será validado utilizando herramientas CAE, teniendo en cuenta tanto las situaciones estáticas como dinámicas, obteniendo los modos de frecuencia natural, así como el análisis de cargas transitorias obtenidas con los modelos matemáticos que describen el comportamiento de la motocicleta en una curva y en una recta del circuito de Motorland Aragón.

Abstract

In the present project, the author presents a process of calculation and validation of an electric racing motorcycle frame. The main objective is to obtain a frame with a rigidity as optimal as possible given the actual operating conditions, minimizing the weight and ensuring the structural integrity of the vehicle. This optimization requires previous data of the motorcycle driving under real conditions of use. Without the most faithful data from reality, any optimization process can not be properly validated. It is essential to obtain real driving data for an optimal design. This is not the case of this project, which takes place within a university team that will participate for the first time in the Motostudent university competition and such data is not available. The author will use mathematical models and different engineering tools to pass this first design barrier, and thus be able to obtain the most faithful data to reality and therefore the best possible first design. These models may be used also in the future to validate the whole process, and thus use these tools for the evaluation and behaviour of the future motorcycle, as well as for future designs.

The process presented consists firstly of a geometric optimization. How to position the desired center of gravity, where the behaviour of our motorcycle will be as balanced as possible. Considering the real measures of the pilot, as well as the variation of the geometry of the motorcycle, we will observe how affects the location of this parameter in the behaviour and the quantification of the external forces that will affect our frame. Once the center of gravity is located, mathematical models will be presented to describe the behaviour both in curve and straight line of the motorcycle. These models will be used to obtain the limit pass of the curve for a given path and thus, extract the external forces that our prototype will be subjected to. In addition, this model will be used later to extract the transient loads used in the dynamic analyses.

A simplified frame structure model will be proposed to obtain an approximate comparison of the rigidities and weights by different profiles availables in industry. Different combinations will be studied under constructive restrictions by selecting the profiles of our design, obtaining the desired rigidity with the minimum possible weight.

Finally, the design will be validated using CAE tools, considering both static and dynamic situations, obtaining the natural frequency modes, as well as the analysis of transient loads obtained with the mathematical models that describe the motorcycle's behaviour in curve and in straight line of the Motorland Aragón circuit.



Agraïments

Aquest treball està englobat dins d'un projecte molt més gran i amb la dedicació de molta gent. Voldria agrair a tots els companys de l'ePowered RACING però especialment a Ivan Calderero, Conrad Ferrer, Pau Llanes, Marc Llusa i Nacho Sunyer per ajudar a tirar endavant aquest projecte pràcticament des de zero; per les hores, maldecaps i dedicació compartida. Ha sigut una experiència impressionant i enriquidora que esperem culminar amb èxit el pròxim octubre a Motorland.

Per altra banda, el meu agraïment a tots els col·laboradors i patrocinadors de l'equip que han ajudat a que l'equip prosperes.

Per últim dedicar un agraïment molt especial als meus pares, sense ells i el seu suport avui no estaria graduant-me.



Glossari

Sistemas de referencia

(X_G, Y_G, Z_G)	Centre de coordenades al centre de gravetat (CoG).
(X_r, Y_r, Z_r)	Centre de coordenades al punt de contacte de la roda posterior.
(X_C, Y_C, Z_C)	Centre de coordenades al centre instantani de gir de la motocicleta.

Paràmetres cinemàtics i dinàmics

C	Punt instantani de gir de la motocicleta
R_{cr}	Radi de la trajectòria de la roda posterior
V	Velocitat
ξ	Ratio de direcció
δ	Angle de direcció
Δ	Angle cinemàtic de direcció
Δ^*	Angle efectiu de direcció
μ	Angle de capcineig
f	Angle de transferència de pesos respecte el pla de la superfície
τ_{ij}	Ratio de velocitat
l_{ij}	Relació de transmissió
Ω	Velocitat angular de gir respecte el centre de gir instantani

Paràmetres de la motocicleta

CdG	Centre de gravetat
A	Area frontal de la motocicleta
a	Trail
a_n	Trail normal
b	Distancia de l'eix de la roda posterior al CdG
h	Altura de la superfície del terra al CdG
C_D	Coefficient aerodinàmic de drag
d	Distancia de leix de direcció al eix de la roda davantera
o	Distancia de l'eix de la direcció al centre de la suspensió davantera
I_{xG}	Moment d'inèrcia de la motocicleta respecte l'eix x a través del seu CdG
I_{yG}	Moment d'inèrcia de la motocicleta respecte l'eix y a través del seu CdG
I_{zG}	Moment d'inèrcia de la motocicleta respecte l'eix z a través del seu CdG
I_{xzG}	Producte d'inèrcia de la motocicleta en el pla x-z a través del seu CdG



I_{ω}	Inèrcia a la rotació de la roda
m	Massa conjunt moto pilot
p	Distància entre eixos
ε	Angle de llançament
φ	Angle de inclinació del chassis
β	Angle de inclinació roda davantera

Forces i moments

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

Pneumàtics

f_w	Coefficient de resistència al rodolament
R	Radi exterior del pneumàtic
ρ	Radi mig del toroide que forma el pneumàtic
t	Radi secció circular del pneumàtic.
K_{φ}	Coefficient de rígides a la inclinació (rad^{-1})
K_{λ}	Coefficient de rígides al gir (rad^{-1})
λ	Angle de lliscament del pneumàtic.
ω	Velocitat angular de la roda.

Índex

RESUM	I
RESUMEN	II
ABSTRACT	III
AGRAÏMENTS	V
GLOSSARI	VII
1 CAPÍTOL 1: INTRODUCCIÓ	13
1.1 Origen del projecte EEBE ePowered RACING.....	13
1.2 Motivació	14
1.3 Objectius	14
1.4 La competició.....	15
1.4.1 MotoStudent	15
1.4.2 Estructura de la Competició	15
2 CAPÍTOL 2: ESTUDI PREVI D'ALTERNATIVES	17
2.1 Estat de l'art	17
2.1.1 Xassís en monobiga o espina central	17
2.1.2 Xassís en cuna	17
2.1.3 Xassís Cobas o de doble biga	18
2.1.4 Xassís multitubular	18
2.1.5 Xassís monocasc	19
2.1.6 Motor com a xassís.....	19
2.2 Solució seleccionada.....	20
3 CAPÍTOL 3: ESTUDI I DEFINICIÓ DE LA GEOMETRIA	21
3.1 Paràmetres bàsics de la geometria d'una motocicleta.....	21
3.1.1 Distància entre eixos (p)	21
3.1.2 Angle de llançament (c).....	22
3.1.3 Offset direcció (o)	23
3.1.4 Trail (T)	23
3.1.5 Centre de gravetat o CdG	24
3.1.6 Angle de transferència de pesos (f).....	25
3.2 Definició de la geometria.....	25
3.3 Determinació del CdG.....	27

3.3.1	Estudi del pilot.....	27
3.3.2	Equilibri en acceleració màxima.....	30
3.3.3	Equilibri en frenada màxima.....	32
3.3.4	CdG Objectiu.....	34
4	CAPÍTOL 4: MODEL DE LA MOTOCICLETA EN CORBA	37
4.1	Circuit.....	37
4.2	Model de pas per corba estacionari	38
4.2.1	Equacions del model.....	38
4.2.2	Equacions complementaries.....	40
4.2.3	Equacions cinemàtiques de la motocicleta.....	41
4.2.4	Resolució del model.....	46
5	CAPÍTOL 5: MODEL MOTOCICLETA EN RECTA	49
5.1	Forces en l'etapa de acceleració	49
5.1.1	Resistència al rodolament dels pneumàtics.....	49
5.1.2	Força per vèncer un pendent	49
5.1.3	Resistència aerodinàmica	50
5.1.4	Forces d'Alembert.....	51
5.1.5	Càrregues dinàmiques en acceleració.....	53
5.2	Forces en l'etapa de frenada.....	53
5.2.1	Càrregues dinàmiques en frenada.....	53
6	CAPÍTOL 6: CÀRREGUES ESTÀTIQUES	55
6.1	Càlcul de forces externes	55
6.1.1	Màxima acceleració	55
6.1.2	Frenada màxima roda davantera.....	56
6.1.3	Frenada màxima posterior.....	57
6.1.4	En corba al límit de la fricció	59
6.1.5	Resum de les forces externes per l'anàlisi estàtic.....	59
6.2	Translació de les forces externes al xassís.....	60
6.2.1	Màxima acceleració	60
6.2.2	Frenada màxima	61
6.2.3	En corba al límit del lliscament	62
7	CAPÍTOL 7: OPTIMITZACIÓ DE LES RIGIDESES	65
7.1	Selecció del material.....	65
7.2	Selecció dels perfils.....	66
7.2.1	Model Estructura amb elements 1D	66

7.3	Rigideses característiques del xassís d'una motocicleta.....	68
7.3.1	Rigidesa longitudinal.....	68
7.3.2	Rigidesa lateral	69
7.3.3	Rigidesa a la torsió.....	69
7.4	Resultats.....	70
8	CAPÍTOL 8: ANÀLISI ESTÀTIC	75
8.1.1	Eines utilitzades.	75
8.1.2	Màxima acceleració.....	77
8.1.3	Màxima frenada.	81
8.1.4	Pas per corba	84
8.1.5	Estudi de les rigideses.....	88
9	CAPÍTOL 9: CÀRREGUES TRANSITÒRIES	90
9.1	Càrregues transitòries en corba	90
9.2	Càrregues transitòries en recta	92
10	CAPÍTOL 10: ANÀLISI DINÀMIC	94
10.1	Anàlisi modal.....	94
10.2	Anàlisi transitòri	95
	CONCLUSIONS	99
	PRESSUPOST I/O ANÀLISI ECONÒMICA	101
	BIBLIOGRAFIA	103
	ANNEX A	105
A1.	Programa pas límit per corba	105
A2.	Programa motocicleta en pas per corba en estat transitori.....	110
A3.	Dades circuit Motorland Aragon	121
A4.	Plànols de fabricació	123
A5.	Característiques pneumàtics	129
A6.	Dades de disseny ePR-01.....	131
A7.	Dades utilitzades pels càlculs.....	135
A8.	Taules de valors carreges dinàmiques	137
A9.	Dades anàlisi dinàmic	149
A10.	Característiques motor Motenergy MS1718	173
A11.	Característiques Acer 25CrMo4	175

CAPÍTOL 1: INTRODUCCIÓ

1.1 Origen del projecte EEBE ePowered RACING

L'origen d'aquest projecte esdevé de l'associació de la EEBE ePowered RACING. Aquesta associació té com a finalitat competir en la V edició de la competició internacional MotoStudent dissenyant i construint un prototip de motocicleta elèctrica equivalent a la categoria actual de Moto 3.

Aquest projecte el porten a terme un grup de uns 20-25 estudiants de la EEBE, és un grup multidisciplinar d'estudiants de les especialitats de enginyeria mecànica, elèctrica, electrònica, materials i biomedica.

L'equip ePowered RACING es fundat el Febrer de 2015, després d'un període d'estructuració i captació de recursos i en veure en previsió que no s'arriba amb garanties a la IV edició del MotoStudent l'equip desideix no presentar-s'hi. Tanmateix desideix crear un prototip amb base d'un xassís comercial per desenvolupar tota la part elèctrica i electrònica i així crear una base tècnica de cara a la V edició del MotoStudent.

Així es que el 17 de Maig del 2017 ePowered RACING en el marc de la primera edició del e-Day presenta el seu primer prototip funcional, la ePR 00.



Figura 1.1. Presentació de la ePR 00 a l'e-Day (Font: ePowered RACING).



Figura 1.2. Jornada de tests al circuit internacional de Zuera (Font: ePowered RACING).

1.2 Motivació

La motivació d'aquest treball, s'origina en el període de planificació de la V edició del MotoStudent en que l'autor és el responsable del disseny de la part cicle del prototip ePR01 que s'hi presentarà.

Aquest treball no és un treball merament teòric, cal portar-lo a la realitat. Això comporta una motivació extra degut a que significa passar per totes les etapes de qualsevol disseny, des de la idea inicial, càlculs previs i fins a la construcció del prototip i posterior validació del disseny mitjançant tests.

Aquest treball també porta implícit un gran grau de treball en equip ja que el component que es dissenya és l'estructura de la motocicleta i per tant la base sobre la que han d'anar muntats tots els altres components, fent que la comunicació amb els diferents departaments de l'equip ePowered RACING fos alta, per tal de poder valorar i portar a cap totes les necessitats.

1.3 Objectius

Els principals objectius plantejats tan a nivell de l'equip com d'aquest treball de final de grau són els següents:

- Millorar la comunicació i el treball en equip per a poder assolir el millor disseny possible en el disseny final i obtenir els millors resultats possibles en la V edició del MotoStudent.
- Conèixer en profunditat la dinàmica vehicular vinculada a les motocicletes, així com la influència que el xassís té en aquesta.
- Crear un model senzill per poder simular numèricament i obtenir dades per les posteriors simulacions FEM , així com augmentar el coneixement amb la utilització de softwares com MATLAB®.
- Aprofundir en les eines de disseny (CAD) i aprendre a utilitzar el software de SIEMENS NX per al disseny .
- Aprofundir en els coneixements sobre FEM utilitzant el software NX NASTRAN®.
- Deixar una base escrita i documentada sobre el procediment seguit per el disseny del xassís de la ePR 01 que pugui servir de base per a les edicions futures.
- Obtindre els millors resultats possibles en la V edició del MotoStudent derivats d'un bon disseny d'aquest component.

1.4 La competició

1.4.1 MotoStudent

MotoStudent és una competició entre universitats de tot el món. L'objectiu és que els estudiants apliquin el coneixement adquirit durant els seus estudis universitaris en un projecte industrial real, dissenyant, desenvolupant i construint un prototip de motocicleta de competició real. Aquests prototips seran avaluats i provats en el Circuit FIM de Motorland Aragó del 3 al 7 d'octubre de 2018.

Aquesta competició és divideix en dues categories:

- MotoStudent Petrol (amb motors de combustió interna)
- MotoStudent Electric (Sistemas de propulsió 100% elèctrics)

La competició no només s'emmarca a nivell de disseny i construcció, es demana als equips simulin el rol d'un fabricant de motocicletes, per tant el repte no només és un projecte exclusiu d'enginyeria sinó que també es un projecte de negoci.

1.4.2 Estructura de la Competició

La competició s'estructura en dues grans fases :

- MS1: En aquesta fase el projecte s'avaluarà des d'un punt de vista industrial com a model de projecte de negoci, tenint en compte aspectes com el cost, el disseny, la innovació, la industrialització, la presentació tant del projecte com de la empresa fictícia, i altres.
- MS2: En aquesta fase s'avaluarà el comportament dinàmic del prototip com per exemple: acceleració, velocitat punta, maniobrabilitat, frenada, etc. Prèviament a aquesta fase el prototip serà validat per mitjà de diverses proves estàtiques que determinaran si el prototip és apte o no per les proves dinàmiques. La fase MS2 conclourà amb una carrera juntament amb tots els participants de la corresponent categoria.

La puntuació total de la competició queda resumida en la següent taula:

PRESENTACIÓN	PARTES DEL PROYECTO	PUNTUACIÓN
Design and Innovation	A. Diseño Conceptual	75
	B. Diseño de detalle	75
	C. Prototipado y validación	50
	F. Proyecto de Innovación	100
Business	D. Producción Industrial	125
	E. Caso de Negocio	75
TOTAL		500

Taula 1.3. Detall de la puntuació de la Fase MS1 (1).

Categoría	Sesión	Prueba	Puntuación
Pruebas dinámicas	Pruebas en pista	1.- Prueba de frenado	60
		2.- Gymkhana	100
		3.- Prueba de aceleración	60
	Pruebas en box	4.- Prueba de mecánica	30
Carrera	Entrenamientos libres	5.- Vmax en speed trap	30
	Entrenamientos cronometrados	6.- Pole position	40
	Carrera	7.- Vuelta rápida en carrera	30
		8.- Posición en carrera	150
		Total	500

Taula 1.4. Detall de la puntuació de la Fase MS2(1).



CAPÍTOL 2: ESTUDI PREVI D'ALTERNATIVES

En aquesta capítol s'avaluaran de manera general les diferents solucions que s'han anat utilitzant al llarg de la història del motociclisme, veure les diferents solucions, i així seleccionar el sistema del xassís per al prototip.(2)

2.1 Estat de l'art

2.1.1 Xassís en monobiga o espina central

S'utilitza un únic tub o perfil que uneix des de la pipa de direcció fins el basculant al qual es subjecta tots els components de la motocicleta.



Figura 2.1. Xassís espina central (2)

2.1.2 Xassís en cuna

És un xassís derivat del xassís monobiga, aquest té una estructura que subjecte el motor, si la subjecció del motor es fa amb un sol tub (cuna simple) o en canvi si el motor es sustentat amb més tubs (cuna doble).

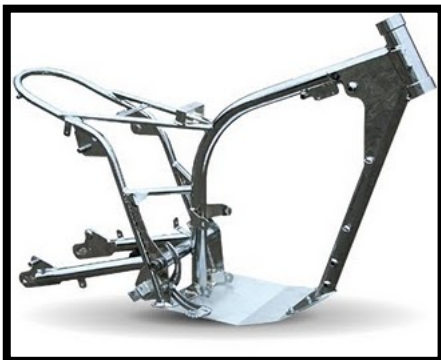


Figura 2.2. Xassís amb cuna simple (2)



Figura 2.3. Xassís amb cuna doble (2)

2.1.3 Xassís Cobas o de doble biga

Xassís construït amb alumini, l'estructura principal són dos perfils d'alumini que abracen el motor, utilitzant aquest com a part estructural. Fou dissenyat per l'enginyer Antonio Cobas. La idea era unir de la manera més directa possible la pipa de direcció amb el basculant. Aquest xassís és el precedent dels xassís que s'utilitzen actualment en la competició.



Figura 2.4 Xassís Rotax J.J.Cobas (2)



Figura 2.5 Xassís modern utilitzant la distribució dels xassís cobas(2)

2.1.4 Xassís multitubular

Són xassís compostos per tubs curts i soldats en forma de gelosia per obtenir més rigidesa estructural, a més normalment utilitzen el motor o el components intern per conferir encara més rigidesa al conjunt.

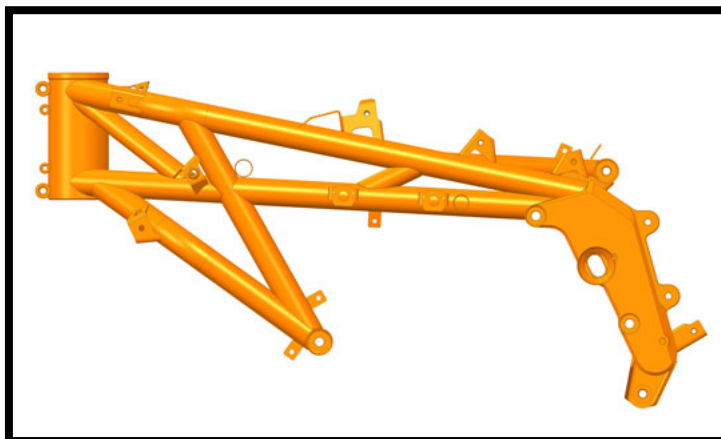


Figura 2.6. Xassís multitubular ktm moto3

2.1.5 Xassís monocasc

És un xassís de una sola peça. Actualment amb materials compostos com la fibra de carboni.



Figura 2.7. Ossa 250 monocasco (2)

2.1.6 Motor com a xassís.

El motor o components interns s'utilitzen com a xassís, sortint d'aquest tots els apèndixs per subjectar totes les peces i crear l'estructura.



Figura 2.8. Ducati 1199 panigale

2.2 Solució seleccionada

Finalment l'opció escollida, ha sigut un Xassis multitubular d'acer, amb els baixants cap al basculant d'alumini unit mitjançant unions acargolades. S'ha triat aquest sistema per la facilitat de fabricació i l'acord de col·laboració per part d'una empresa per fabricar-lo. A més és una solució àmpliament utilitzades en motocicletes d'aquestes dimensions actualment.

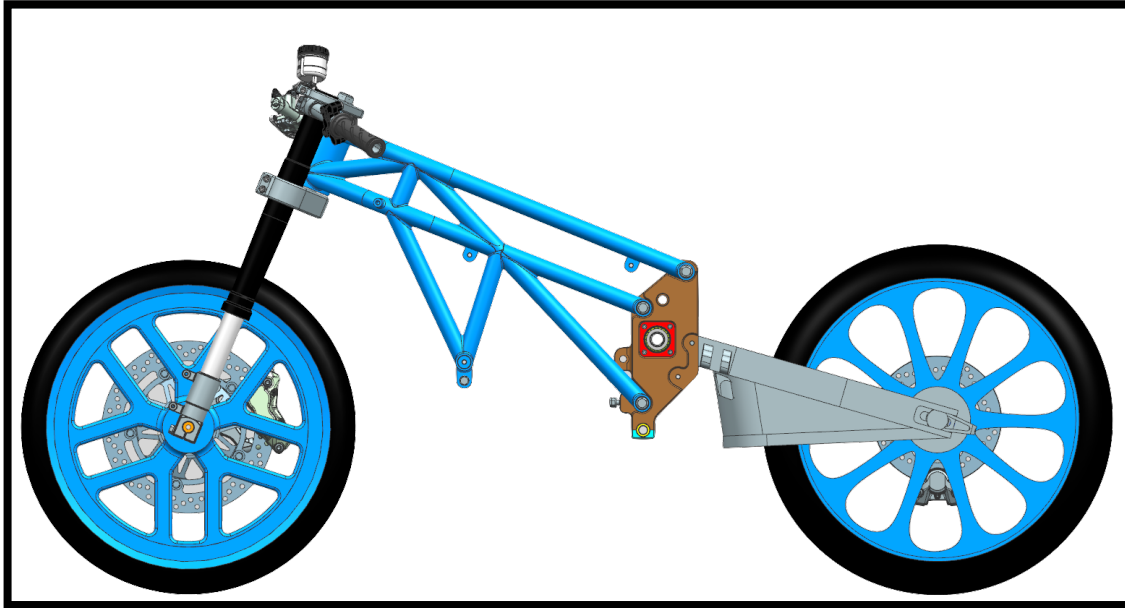


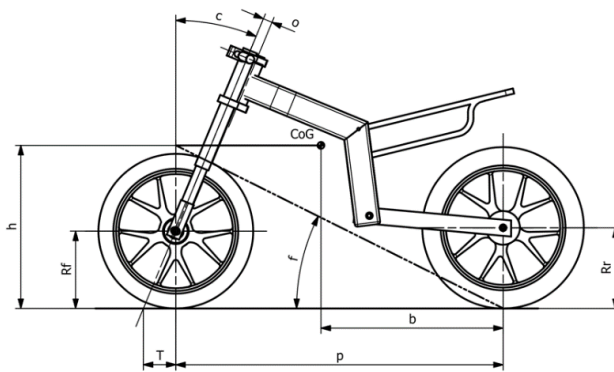
Figura 2.9. Conjunt Xassis ePR 01 (Font: ePowered RACING).

CAPÍTOL 3: ESTUDI I DEFINICIÓ DE LA GEOMETRIA

En aquest capítol, es farà una definició de tots els paràmetres geomètrics d'una motocicleta. Primerament introduïrem els paràmetres geomètrics que caracteritzen una motocicleta. Posteriorment en el capítol 4 s'utilitzaran per calcular les diferents càrregues estàtiques en què estarà exposat el xassís. Finalment es mostrarà la metodologia que s'ha seguit per, primer trobar l'optimització d'aquests paràmetres i la posterior materialització dels mateixos.

3.1 Paràmetres bàsics de la geometria d'una motocicleta

Els paràmetres bàsics i principals que caracteritzen una motocicleta són els representats en la figura 3.1:



Símbols	Paràmetres
p	Distància entre eixos o Batalla
b	Dist. des de l'eix posterior al CdG.
h	Altura fins al CdG
R_f	Radi roda davantera
R_r	Radi roda posterior
c	Angle de llançament
o	Offset direcció
T	Trail
f	Angle de transf. de pesos

Figura 3.1. il·lustració dels diferents paràmetres geomètrics d'una motocicleta i la seva representació

3.1.1 Distància entre eixos (p)

És la distància que separa els eixos de les dues rodes quant la direcció de la motocicleta està recta. Tot i que aquest paràmetre sol ser un valor fix sempre permet una variació d'entre 20-40 mm per poder admetre diferents relacions de transmissió en la relació de transmissió secundària. Aquest paràmetre es el més significatiu respecte el caràcter general de la motocicleta.

Una distància entre eixos gran afectarà en les següents conseqüències:

- Dificultarà la rapidesa dels canvis d'inclinació.
- Millorarà l'estabilitat en línia recta.
- Requerirà de més parell a la direcció per seguir una corba determinada en comparació a una moto amb menys distància entre eixos. El canvi de direcció és més costós.
- Menys transferència de pesos.

- Augmentarà en el esforç que ha de resistir el xassís degut a les forces de contacte amb el terra.

En la taula següent s'observa la distància entre eixos de diferents models de motocicletes de competició:

Marca i model	Distància entre eixos (mm)
Cobas 125 (90')	1270
Derbi 125 (90')	1310
Hond RS125 (95')	1215
Honda NSF250R (15')	1219
KTM RC250R Moto3 (14')	1210
Aprilia RSR 125 (95')	1270
Honda NSR 250 (95')	1340
Honda NSR 500 (95')	1400

Taula 3.2. Distància entre eixos de diferents models de motocicletes de competició (2 Table 3.1)

3.1.2 Angle de llançament (c)

És l'angle entre l'eix de rotació del conjunt de direcció respecte la vertical (figura3.5). La necessitat més gran de l'angle de llançament és la d'evitar vibracions en la direcció en l'etapa de frenada. També té un efecte en la sensació del pilot. En la taula següent s'observa els angles de llançament en diferents models de motocicletes de competició:

Marca i model	Angle de llançament (º)
Honda NSR 500 (92)	23
Honda NSR 500 (95' Doohan)	22,5
Honda RS125 (96')	23,5
Honda NSF250R (15')	22,5
KTM RC250R Moto3 (14')	23
Honda RS250 (93')	22,5
Yamaha TZ250 (93')	22,5
Aprilia RSV250 (95' Biaggi)	21
Ducati 916 (95' Fogarty)	24,5

Taula 3.3. Angles de llançament de diferents models de motocicletes de competició (2 Table3.2)

3.1.3 Offset direcció (o)

És la distància que separa l'eix de rotació de la direcció de la línia perpendicular a l'eix de la roda davantera. És la suma entre el yoke offset (offset de la tija de direcció) més de la leg offset (offset de la suspensió davantera) tal i com s'observa a la figura 3.4:

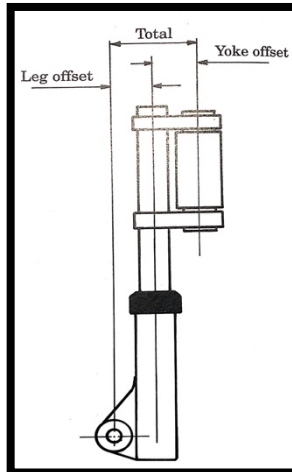


Figura 3.4. Offset direcció (2 Fig.3.9)

3.1.4 Trail (T)

És la distància horitzontal des del punt de contacte del pneumàtic a la línia perpendicular al terra que passa pel centre de l'eix de la roda davantera. Aquest paràmetre geomètric dona estabilitat en línia recta. Com que el punt de contacte del pneumàtic no està alineat amb l'eix de direcció això provocarà un moment d'auto alineació de la direcció. Això implica que d'aquest paràmetre en dependrà l'esforç que ha de fer el pilot per poder canviar de direcció.

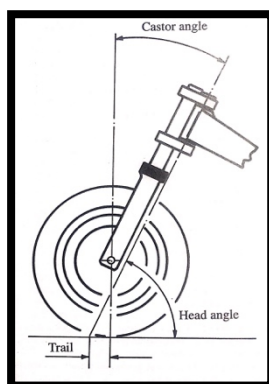


Figura 3.5. Offset direcció (2 Fig.3.5)

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

En la taula següent s'observen els trails de diferents models de motocicletes de competició:

Marca i model	Trail (mm)
Honda NSR 500 (92)	95
Honda NSR 500 (95' Doohan)	95
Honda RS125 (96')	84
Honda NSF250R (15')	84
Honda RS250 (93')	86
Yamaha TZ250 (93')	82
Aprilia RSV250 (95' Biaggi)	76
Ducati 916 (95' Fogarty)	100

Taula 3.6. Trail de diferents tipus de motocicletes de competició (2 Table 3.2)

3.1.5 Centre de gravetat o CdG

És la posició del CdG de la motocicleta, s'avalua amb dos paràmetres la distància de l'eix posterior de la roda al CdG (b) i la distància des del terra fins al CdG (h). Aquest paràmetre té una relació determinant sobre el comportament de la motocicleta en frenada i en acceleració.

Tot i que les tan l'altura (h) com la posició horitzontal (b) afecten tan en la frenada com amb la acceleració té un grau d'afectació l'altura del CdG.

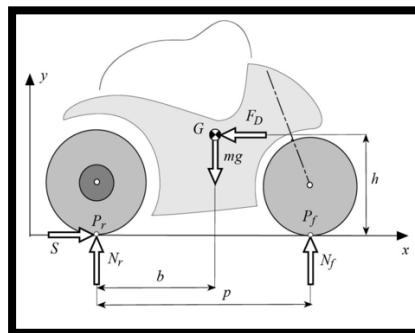


Figura 3.7. Cotes de la posició del CdG (3 Fig. 3-10)

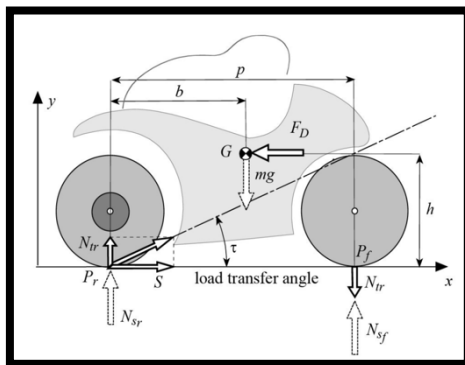
Freqüentment també es dona informació de la ubicació del CdG com a % de pes a la roda davantera i % de pes a la roda posterior. En la taula següent trobem informació de diferents distribucions de pesos en diferents models de motocicletes de competició.

Marca i model	% Rf	% Rr
Cobas 125 (90')	57	43
Honda NSR250 (95')	53	47
Derbi 125	55	45
Aprilia 250 (95')	53	47
Ducati 916 (95')	51.5	48.5
Yamaha 250 (90')	55	45
Honda NSR 500 (90')	53	47

Taula 3.8. Distribució de pesos de diferents motocicletes de competició (2)

3.1.6 Angle de transferència de pesos (f)

És l'angle que determina la quantitat de pes que es transfereix de la roda davantera a la posterior en cas d'acceleració degut a la força de propulsió i viceversa degut a la força de frenada.



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

Figura 3.9. Angle de transferència de masses (3 Fig. 3-12)

3.2 Definició de la geometria

Després de l'estudi previ dels paràmetres geomètrics, i constatar que aquets paràmetres influeixen directament en el comportament de la motocicleta, s'ha decidit que es fixarà un valor corresponent amb les motocicletes més actuals, sabent que és un valor difícil de millora degut a la dilatada experiència de fabricants com Honda o Yamaha entre altres. Per altre banda el xassís incorpora sistemes per a poder modificar aquets paràmetres. Podent així, tenir més configuracions de posada a punt del prototip. Aquets paràmetres base queden definits en la taula 3.10:

Parametre	Valor	Unitats
Distància entre eixos (p)	1285	mm
Angle de llançament (c)	22,5	°
Trail (T)	84	mm
Offset (o)	32,6	mm

Taula 3.10. Paràmetres geomètrics ePR 01

Com hem comentat s'ha previst que tots aquets paràmetres siguin ajustables. A continuació farem una breu descripció dels sistemes i les magnituds que es pot modificar aquests valors:

- Per la modificació del angle de llançament i el trail, s'ha utilitzat un sistema de dolles intercanviables en que es modifica l'angle dels rodaments de la tija de direcció.

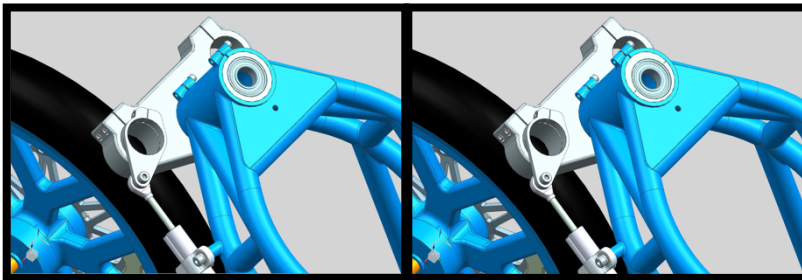


Figura 3.11. Detall sistema de dolles intercanviables direcció (Font:ePowered RACING)

- Per la modificació de la distància entre eixos, l'altura y la posició horitzontal de CdG, S'ha utilitzat també un sistema de dolles intercanviables (en vermell a la figura 3.12), que modifica la posició de l'eix de basculant als baixants del xassís modificant així l'altura i/o la distància entre eixos.

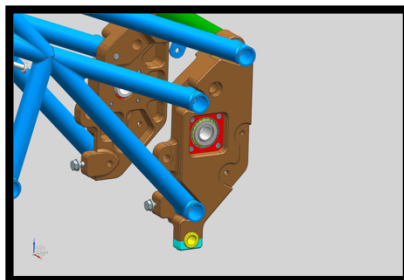


Figura 3.12. Detall sistema de dolles intercanviables basculant (Font:ePowered RACING)

Mitjançant les dolles intercanviables el paràmetres i les quantitats que es poden modificar queden reflectides en la taula següent:

Dolla	Variació només de p (mm)	Variació només de h (mm)	Variació de p i h alhora (mm)
0/0º	0	0	0
+1/0º	±1	±1	0
+1/45º	0	0	±1
+2/0º	±2	±2	0
+2/45º	0	0	±2

Taula 3.13. Variació de p i h en funció de la dolla utilitzada.

3.3 Determinació del CdG

La ubicació del CdG és un paràmetre crític a l'hora de determinar el funcionament de la motocicleta sobretot en acceleració i en frenada. És per això que s'ha estudiat detalladament el punt òptim d'aquest per tenir-ho en compte durant tota la etapa de disseny i així poder acostar-se el màxim possible a aquest valor. A continuació s'explica detalladament el procediment utilitzat.(5)

3.3.1 Estudi del pilot.

Primerament s'ha d'explicar que l'equip disposa de pilot per a la V edició del MotoStudent. Per aquest motiu s'ha adaptat tot al conjunt a aquest pilot. Primerament es van obtenir totes les mides antropomètriques de la pilot en ordre de pilotatge i es van fer 2 models en CAD de la pilot un en la situació de frenada i un altre en la situació de acceleració.

Coneixent les dimensions geomètriques de la suspensió davantera, rodes, mides de basculant i que s'ha determinat una altura de seient de 730 mm, finalment es posicionen els models de la pilot en les diferents situacions.

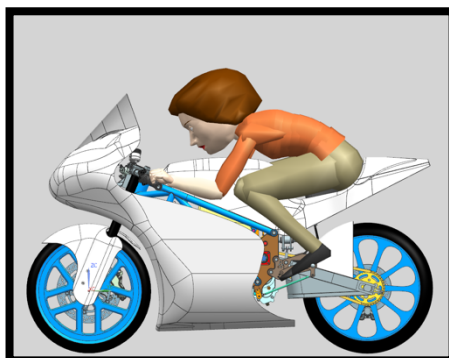


Figura 3.14. Pilot en posició d'acceleració

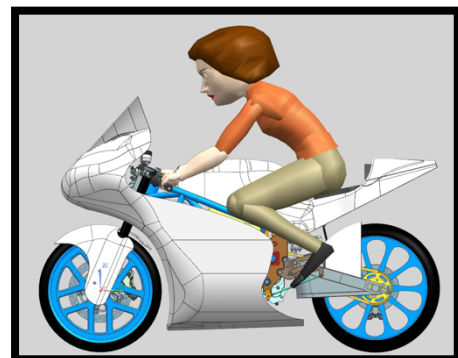
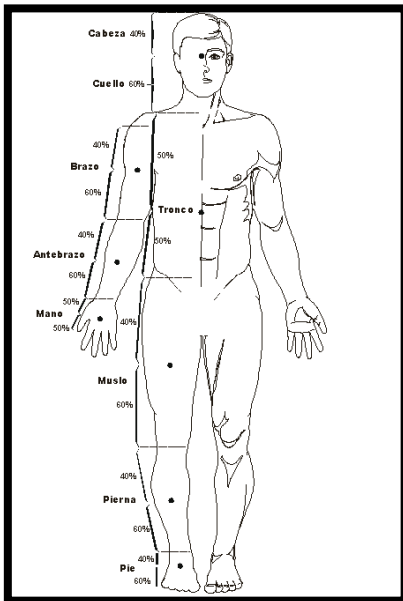


Figura 3.15. Pilot en posició de frenada

Un cop s'han posicionat els models, extraurem el CdG de la pilot respecte el centre de l'eix de la roda davantera en cada cas. Com que el programa no permet extreure del model humà el CdG utilitzarem les següents dades:



Segment	% Pes Segmental
Cap i coll	7.9
Tronc	51.1
Parell braços superiors	5.4
Parell braços inferiors	3.2
Parell de mans	1.2
Parell de cuixes	19.4
Parell de cames inferiors	9
Parell de peus	2.8

Figura 3.16. Localització del CdG per segments i % de pes de cada segment (6)

S'han obtingut les coordenades de cada segment del cos i posteriorment s'ha obtingut el CdG general amb la següent formula:

$$(X, Y)_{cos} * M_{cos} = \sum (x, y)_{segment} * m_{segment} \quad (Eq. 3.3)$$

Després d'obtenir les coordenades i aplicar la equació 3.3 obtenim pel cas de acceleració les següents dades:

Segment	x (mm)	y(mm)	Massa seg. (Kg)	x*massa(mm*Kg)	y*massa(mm*Kg)
Cap	555,10	882,20	4,80	2653,10	4216,47
Braç sup.*2	679,80	610,20	3,30	2220,90	1993,52
Braç inf.*2	476,30	451,90	1,90	922,11	874,87
Mà*2	299,10	517,60	0,70	217,14	375,77
Tors	985,50	671,00	30,90	30467,22	20744,30
Cama sup.*2	1029,90	546,60	11,70	12087,93	6415,44
Cama inf.*2	844,80	352,40	5,40	4599,93	1918,81
Peu*2	1018,30	162,20	1,69	1725,00	274,76
Sumatori				54893,36	36813,98

Taula 3.17. Càlcul del CoG de la pilot en la fase de acceleració.

Per tant, en la fase d'acceleració, el CoG de la pilot queda respecte el centre de l'eix de la roda davantera en les següents coordenades:

	X (mm)	Y (mm)
COG acceleració	907,33	608,50

Taula 3.18. Coordenades CoG en el CAD de la pilot en la fase d'acceleració

Corregeixin els valors per obtenir b i h:

	b (mm)	h (mm)
COG acceleració	377,67	896,50

Taula 3.19. Coordenades CoG de la pilot en la fase d'acceleració en el sistema

Seguint el mateix procediment hem obtingut en el cas de frenada les següents dades:

Segment	x (mm)	y (mm)	masa seg. (Kg)	x*massa (mm*Kg)	y*massa (mm*Kg)
Cap	618,00	1101,20	4,78	2953,73	5263,19
Braç sup.x2	674,00	801,10	3,27	2201,96	2617,19
Braç inf.x2	480,50	597,30	1,94	930,25	1156,37
Mà x2	315,50	517,50	0,73	229,05	375,71
Tors	897,00	761,80	30,92	27731,20	23551,43
Cama sup.x2	882,10	521,10	11,74	10353,21	6116,15
Cama inf.x2	778,70	325,90	5,45	4240,02	1774,53
Peu	1006,20	139,60	1,69	1704,50	236,48
			Sumatori	50343,93	41091,04

Taula 3.20. Càlcul del CoG de la pilot en la fase de frenada.

Per tant en la fase de frenada, el CoG de la pilot queda respecte el centre de l'eix de la roda davantera en les següents coordenades:

	X (mm)	Y (mm)
CoG Frenada	832,13	679,20

Taula 3.21. Coordenades CoG en el CAD de la pilot en la fase de frenada

Corregeixin els valors per obtenir b i h:

	b (mm)	h (mm)
COG Frenada	452,87	967,20

Taula 3.22. Coordenades CoG de la pilot en la fase de frenada

3.3.2 Equilibri en acceleració màxima.

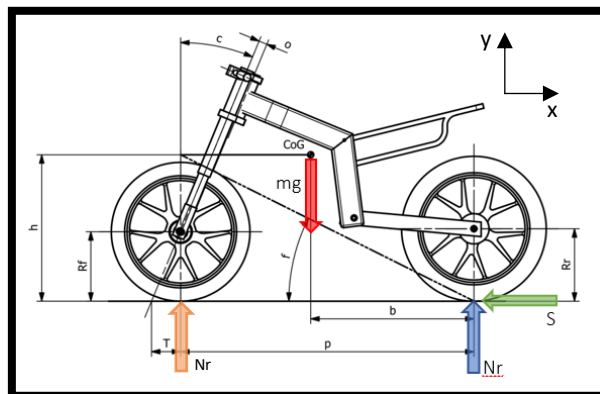
Per determinar el CoG ideal, primer de tot s'ha d'analitzar el nostre prototip en les condicions d'acceleració i frenada en línia recta. S'analitzaran els següents casos:

- Acceleració màxima al límit del *wheely*.
- Acceleració màxima al límit del lliscament.
- Frenada màxima al límit del forward flip.
- Frenada màxima al límit del lliscament.

Per l'equilibri en els casos d'acceleració s'ha considerat les següents hipòtesis degut a que la màxima acceleració te lloc a velocitats pròximes a zero i disminueix a mida que la velocitat augmenta:

- La resistència al rodolament dels pneumàtics es considera nul·la.
- La força aerodinàmica tan de *lift* com de *drag* també seran considerades nul·les.

Es planteja l'equilibri en el següent diagrama del sòlid lliure.



$$\sum F_x: S = m * a \quad (\text{Eq. 3.4})$$

$$\sum F_y: N_f + N_r = m * g \quad (\text{Eq. 3.5})$$

$$\sum M_{CoG}: I * \omega = -S * h + N_r * b - N_f * (p - b) \quad (\text{Eq. 3.6})$$

En el cas de límit de *wheely* es sap que és el límit just en que la roda davantera deixa de fer contacte amb el terra per tant $N_f=0$ i $I*\omega=0$. Per tant es dedueixen les següents equacions:

$$S_w = m * g * \frac{b}{h} \quad (\text{Eq. 3.7})$$

$$N_{rw} = \frac{m * g * (p - b) + S * h}{p} \quad (\text{Eq. 3.8})$$

$$N_{fw} = \frac{m * g * b - S * h}{p} \quad (\text{Eq. 3.9})$$

En el cas de límit de fricció es sap que $S=\mu*N_r$. Per tant es dedueixen les següents equacions:

$$S_{ll} = \frac{\mu * m * g * (b - p)}{h * \mu - p} \quad (\text{Eq. 3.10})$$

$$N_{rll} = \frac{m * g * (b - p)}{\mu * h - p} \quad (\text{Eq. 3.11})$$

$$N_{fll} = \frac{m * g * b - S * h}{p} \quad (\text{Eq. 3.12})$$

Un cop deduïdes les anteriors formules cal trobar el punt òptim entre el límit per *wheely* i el límit per lliscament. Aquest serà aquell en que necessitem la mateixa acceleració per ambdós casos. Per tant, es substitueixen respectivament la Eq.3.9 i la Eq.3.10 a la Eq.3.4 per obtenir la acceleració en els dos casos.

$$a_w = \frac{g * b}{h} \quad (\text{Eq. 3.13})$$

$$a_{ll} = \frac{\mu * g * (b - p)}{h * \mu - p} \quad (\text{Eq. 3.14})$$

En igualar les anteriors equacions obtenim que:

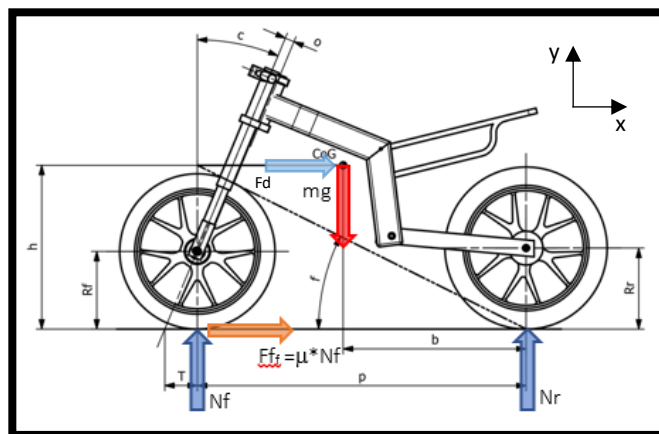
$$h_a = \frac{b}{\mu} \quad (\text{Eq. 3.15})$$

3.3.3 Equilibri en frenada màxima.

En el cas d'equilibri en els casos de frenada s'han considerat les següents hipòtesis per valorar exclusivament el comportament geomètric de la motocicleta:

- La resistència al rodolament dels pneumàtics es considera nul·la.
- La força aerodinàmica tan de *lift* com de *drag* també seran considerades nul·les.

Es planteja l'equilibri en el següent diagrama del sòlid lliure.



$$\sum F_x: F_f = m * a - F_D \quad (\text{Eq. 3.16})$$

$$\sum F_y: N_f + N_r = m * g \quad (\text{Eq. 3.17})$$

$$\sum M_{CoG}: I * \omega = N_r * b + F_f * h - N_f * (p - b) \quad (\text{Eq. 3.18})$$

En el cas de límit de *forward flip* es sap que és el límit just en que la roda posterior deixa de fer contacte amb el terra per tant $N_r=0$ i $I*\omega=0$. Per tant es dedueixen les següents equacions:

$$F_{ff} = m * g * \frac{(p - b)}{h} \quad (\text{Eq. 3.19})$$

$$N_{rff} = \frac{m * g * (p - b) - F_{ff} * h}{p} \quad (\text{Eq. 3.20})$$

$$N_{fff} = \frac{m * g * b + F_{ff} * h}{p} \quad (\text{Eq. 3.21})$$

En el cas de límit de fricció es sap que $F_f=\mu*N_f$. Per tant es dedueixen les següents equacions:

$$F_{flu} = -\frac{\mu * m * g * b}{h * \mu - p} \quad (\text{Eq. 3.22})$$

$$N_{rll} = \frac{m * g * (p - b) - F_{flu} * h}{p} \quad (\text{Eq. 3.23})$$

$$N_{flu} = -\frac{m * g * b}{h * \mu - p} \quad (\text{Eq. 3.24})$$

Un cop deduïdes les anteriors formules cal trobar el punt òptim entre el límit per *forward flip* i el límit per lliscament. Aquest serà aquell en que necessitem la mateixa acceleració per ambdós casos. Per tant es substitueixen respectivament la Eq.3.9 i la Eq.3.10 a la Eq.3.4 per obtenir l'acceleració en els dos casos.

$$a_w = -\frac{g * (p - b)}{h} \quad (\text{Eq. 3.25})$$

$$a_{ll} = -\frac{\mu * g * b}{h * \mu - p} \quad (\text{Eq. 3.26})$$

3.3.4 CdG Objectiu

Per trobar la coordenada b òptima s'igualen les equacions Eq. 3.15 i la Eq. 3.28 i trobem que :

$$b = \frac{p}{2} \quad (\text{Eq. 3.27})$$

Per trobar la coordenada h òptima s'igualen les equacions Eq.3.25 i Eq. 3.26 i obtenim que:

$$h_f = \frac{p - b}{\mu} \quad (\text{Eq. 3.28})$$

Les coordenades del CdG òptim queda reflectit en la següent taula:

Paràmetre	Coordenada (mm)
b	642.50
h	535.42

Taula 3.23. Coordenades CoG conjunt ideal

Si s'aplica les equacions Eq. 3.13, Eq. 3.14, Eq. 3.25 i Eq. 3.26 trobarem les acceleracions màximes que aquesta configuració ens dona en les situacions estudiades en el capítol 3.3.2. son:

Cas	Aixecament roda (m/s^2)	Lliscament (m/s^2)
Acceleració	11,77	11,77
Frenada	-11,77	-11,77

Taula 3.24. Acceleracions màximes ens els cassos del capítol 3.3.2.

Un com tenim El CdG òptim del conjunt, el CdG de la pilot en les diferents situacions (Taula 3.19 i Taula 3.21) mitjançant l'equació Eq. 3.3 trobem el CdG de la motocicleta òptim tan per el cas de frenada com el d'acceleració,. Els resultats queden reflectida en la següent taula:

Cas	b (mm)	h (mm)
Frenada	697,60	333,53
Acceleració	695,79	372,05

Taula 3.25. Coordenades CoG motocicleta ideal.

Degut a que no es pot obtenir un CdG òptim per els dos casos, s'ha d'arribar a un compromís únic. A més fins ara s'ha considerat una motocicleta rígida, en els següents apartats es corregirà del CdG, conseqüència de les

variacions geomètriques que pateix la motocicleta en les diferents situacions a causa de les suspensions, s'ha partit de la base que tan en el cas de frenada màxima com el de acceleració màxima les suspensions treballaran com a màxim en un 80% del seu recorregut. L'amortidor davanter té un recorregut de 103 mm i el posterior de 90 mm. Les variacions geomètriques que pateix el prototip queden reflectides sen la següent taula

Cas	Δb (mm)	Δh (mm)
Frenada	+31,53	-76,12
Acceleració	-15	-75

Taula 3.26. Variació del CdG produït per la variació de la geometria de les suspensions.

Un cop introduïdes les correccions anteriors a través dels paràmetres de l'acceleració màxima en els diferents casos i amb el CdG òptim per el cas de frenada o per el cas d'acceleració s'obté que les acceleracions màximes son els següents:

Cas	Wheely (m/s^2)	Lliscament (m/s^2)	Forward flip (m/s^2)	Lliscament (m/s^2)
CdG moto optimitzat per Acceleració	13,37	10,57	-12,35	-11,29
CdG moto optimitzat per Frenada	14,22	10,10	-13,05	-10,81

Taula 3.27. Resum acceleracions màximes

Després de corregir les dades observem que tots els paràmetres es desquaden. Principalment en aquest punt es tenen 2 problemes. Primer que s'arriba abans al punt de lliscament de roda que el de *wheely* o *forward flip*. Segon no tenim l'acceleració màxima de *wheely* i *forward flip* allunyades.

Mitjançant una fulla de càlculs i un procés iteratiu, l'objectiu serà aconseguir les acceleracions de *wheely* i *forward flip* siguin aproximadament 1.2 vegades inferior que les de lliscament ja que la condició de lliscament es perillosa. També es procurarà que tan l'acceleració limitada per *wheely* com per *forward flip* siguin el mes iguals i altes possibles. Això s'ha d'aconseguir nomes modificant el repartiment de pesos final (moto mes pilot mes correccions geomètriques) i h. Després d'aquest procés s'obté:

Cas	Aixecament roda (m/s^2)	Lliscament (m/s^2)
Acceleració	11,53	13,73
Frenada	-11,68	-13,73

Taula 3.28. Resum acceleracions màximes final

Per obtenir els paràmetres anteriors el CdG objectiu per dissenyar el prototip queda reflectit en la següent taula:

Paràmetre	Coordenada (mm)
b	707,15
h	439,02

Taula 3.29. CdG objectiu ePR01

Després de tot el disseny el CdG obtingut mitjançant l'arxiu CAD es:

Paràmetre	Coordenada (mm)
b	697,60
h	473,42

Taula 3.30. CdG aconseguit en l'etapa de disseny.

Obtenint les següents acceleracions màximes:

Cas	Aixecament roda (m/s^2)	Lliscament (m/s^2)
Acceleració	10,88	13,73
Frenada	-11,29	-13,73

Taula 3.31. Acceleracions màximes en l'etapa de disseny.

Per tant en la taula 3.33 queden resumits tots els paràmetres geomètrics de la motocicleta i el pilot.

Parametre	Valor	Unitats
Distància entre eixos (p)	1285	mm
Angle de llançament (c)	22,5	°
Trail (T)	84	mm
Offset (o)	32,6	mm
b acceleració	585,09	mm
h acceleració	527,36	mm
b frenada	654,53	mm
h frenada	547,79	mm
b neutre	623,01	mm
h neutre	623,91	mm

Taula 3.32. Resum dels paràmetres geomètrics de la motocicleta

CAPÍTOL 4: MODEL DE LA MOTOCICLETA EN CORBA

En aquest capítol les mostrarà com s'ha modelitzat el comportament de la corba en una motocicleta per extreure les forces, inclinacions etc. Aquest model està basat en les següents referències bibliogràfiques (4)(7)(8)(9)(10) .

4.1 Circuit

Primer de tot s'ha extret totes les característiques geomètriques del circuit. L'organització del MotoStudent ens ha facilitat el plano del traçat FIM de Motorland Annex A4, a més del perfil cartogràfic.

A partir d'aquesta informació s'ha extret la traçada ideal de la motocicleta, per poder extreure els radis de cada corba. S'ha idealitzat per tal que totes les corbes acabin tenint un radi únic obtenint el següent resultat:

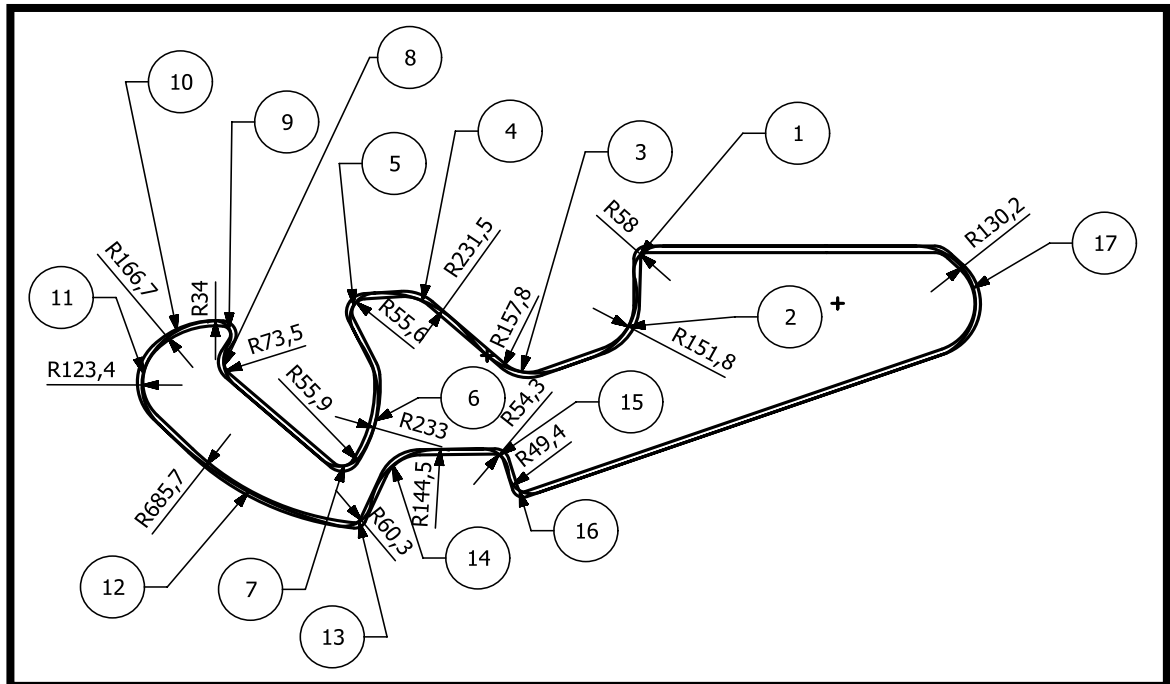


Figura 4.1. Radis traçat ideal circuit de Motorland (Font: ePowered RACING)

Corba	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
R (m)	58	151,8	157,8	231,5	55,6	233	55,9	73,5	34	166,7	123,4	685,7	60,3	144,5	54,3	59,4	130,2

Taula 4.2. Radis traçat ideal circuit de Motorland (Font: ePowered RACING)

4.2 Model de pas per corba estacionari

Després de valorar els diferents models de la bibliografia introduïda en el capítol 5, s'ha optat per el model simplificat (3, Sec.4.5.2). En aquest model s'han tingut les següents consideracions:

- S'ha tingut en compte només la força aerodinàmica de *drag* i que el centre de pressió coincideix amb el CdG.
- No es tindran en compte els moments generats en el pneumàtic davanter per la variació del punt de contacte conseqüència de la geometria del pneumàtic.
- Si que s'ha tingut en compte les variacions geomètriques produïdes per la geometria del pneumàtic i l'angle de direcció.

4.2.1 Equacions del model

El model es dedueix d'aplicar les equacions d'equilibri de forces $\Sigma F = m \cdot a$ i d'equilibri de moments $\Sigma M = I \cdot \alpha$.

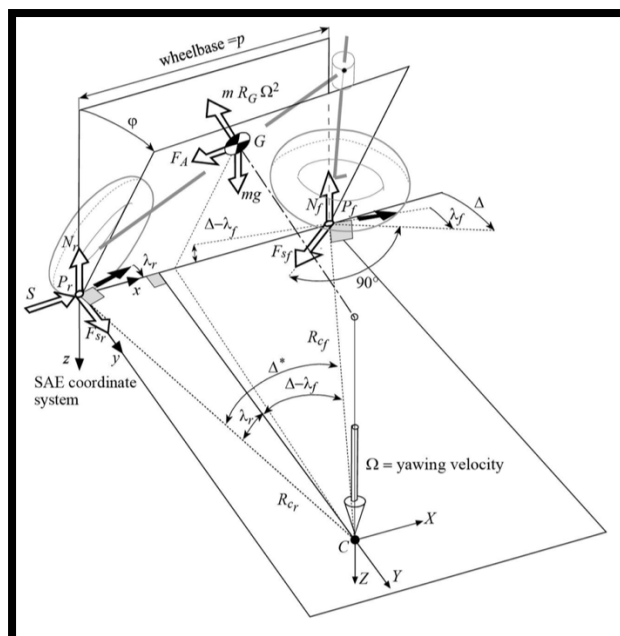


Figura 4.3. Motocicleta en gir estacionari (3, Fig.4.15)

$$\sum F_X: S - F_{sf} * \sin \Delta - F_D = -m * X_g * \Omega^2 \quad (\text{Eq. 4.1})$$

$$\sum F_Y: F_{sf} * \cos \Delta + F_{sr} = -m * Y_g * \Omega^2 \quad (\text{Eq. 4.2})$$

$$\sum F_Z: N_f + N_r = m * g \quad (\text{Eq. 4.3})$$

$$\sum M_X: -(N_f + N_r) * Y_r + m * g * Y_g + (I_{\omega f} * \omega_f + I_{\omega r} * \omega_r) * \Omega * \cos \varphi = I_{YZ} * \Omega^2 \quad (\text{Eq. 4.4})$$

$$\sum M_Y: -N_f * (p - X_r) + m * g * X_g + F_A * Z_g - N_r * X_r = I_{XZ} * \Omega^2 \quad (\text{Eq. 4.5})$$

$$\sum M_Z: (p - X_r) * F_{sf} * \cos \Delta + Y_r * F_{sf} * \sin \Delta + F_{sr} * X_r - S * Y_r + F_D * Y_g = 0 \quad (\text{Eq. 4.6})$$

Un cop deduïdes les equacions s'ha creat un sistema matricial per a la seva resolució.

$$\begin{bmatrix} 1 & -\sin \Delta & 0 & 0 & 0 & m * X_g \\ 0 & \cos \Delta & 1 & 0 & 0 & m * Y_g \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -Y_r & -Y_r & -I_{yz} \\ 0 & 0 & 0 & -(p + X_r) & -X_r & -I_{xz} \\ -Y_r & (p + X_r) * \cos \Delta + Y_r * \sin \Delta & X_r & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} S \\ F_{sf} \\ F_{sr} \\ N_f \\ N_r \\ \Omega^2 \end{bmatrix} \quad (\text{Eq. 4.7})$$

$$= \begin{bmatrix} F_D \\ 0 \\ m * g \\ -m * g * Y_g - (I_{\omega f} * \omega_f + I_{\omega r} * \omega_r) * \Omega * \cos \varphi \\ -m * g * X_g - F_D * Z_g \\ -F_D * Y_g \end{bmatrix}$$

4.2.2 Equacions complementaries

Degut a que s'utilitzen tres sistemes de referència diferents per caracteritzar diferents paràmetres:

- Al centre de gravetat de la motocicleta (CoG) representat per la nomenclatura (X_G, Y_G, Z_G) .
- Al centre de gir instantani de la motocicleta representat per la nomenclatura (X_C, Y_C, Z_C) .
- Al punt del contacte amb la carretera del pneumàtic posterior representat per la nomenclatura (X_r, Y_r, Z_r) .
- No es tindran en compte les variacions geomètriques derivades de les suspensions.
- Els pneumàtics no tenen lliscament lineal en el pas per corba.

Motiu pel qual necessitem d'algunes equacions complementaries per referenciar-ho tot respecte al sistema de referència del centre de gir instantani de la motocicleta.

- Coordenades del CdG de la motocicleta respecte el (X_C, Y_C, Z_C) .

$$X_G = b - R_{cr} * \sin \lambda_r \quad (\text{Eq. 4.8})$$

$$Y_G = h * \sin \varphi - R_{cr} * \cos \lambda_r \quad (\text{Eq. 4.9})$$

$$Z_G = -h * \cos \varphi \quad (\text{Eq. 4.10})$$

- Coordenades del punt del contacte amb la carretera del pneumàtic posterior respecte el (X_C, Y_C, Z_C) .

$$X_r = -R_{cr} * \sin \lambda_r \quad (\text{Eq. 4.11})$$

$$Y_r = -R_{cr} * \cos \lambda_r \quad (\text{Eq. 4.12})$$

- El producte de inèrcia de la motocicleta respecte els eixos X_c-Z_c i Y_c-Z_c .

$$I_{YZ} = m * Y_G * Z_G + (I_{ZG} - I_{YG}) * \cos \varphi * \sin \varphi \quad (\text{Eq. 4.13})$$

$$I_{YZ} = m * X_G * Z_G + I_{XZG} * \cos \varphi \quad (\text{Eq. 4.14})$$

4.2.3 Equacions cinemàtiques de la motocicleta.

Aquest model té 7 graus de llibertat en el pas per corba associats a :

- Moviment longitudinal de la motocicleta.
- Moviment d'inclinació.
- Moviment de direcció.
- Lliscament longitudinal roda davantera (frenada).
- Lliscament longitudinal roda posterior (tracció i frenada).
- Lliscament lateral roda davantera.
- Lliscament lateral roda posterior.

Per a la resolució del model necessitem també de la definició paràmetres lligats amb la cinemàtica de la motocicleta.

4.2.3.1 Paràmetres pneumàtics

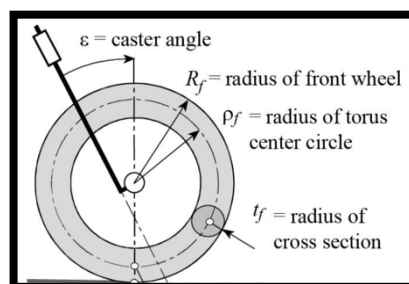


Figura 4.4. Paràmetres característics pneumàtics (3, Fig.1-13)

$$\rho_{f/r} = R_{f/r} - t_{f/r} \quad (\text{Eq. 4.15})$$

4.2.3.2 Velocitat angular de la motocicleta

La velocitat angular de la motocicleta respecte el seu centre instantani de gir ve donat per:

$$\Omega = \frac{V}{R_{cr}} \quad (\text{Eq. 4.16})$$

4.2.3.3 Velocitat angular rodes

Degut a la peculiaritat de la geometria dels pneumàtics de les motocicletes, el radi de les rodes no es igual en totes les situacions ja que depenen del punt de contacte d'aquest amb el terra al tenir un perfil rodo.

$$\omega_r = \frac{V}{\rho_r + t_r * \cos \varphi} \quad (\text{Eq. 4.17})$$

$$\omega_f = \frac{V}{(\rho_f + t_r * \cos \beta) * \cos \Delta} \quad (\text{Eq. 4.18})$$

4.2.3.4 Angle de direcció cinemàtic

L'angle de direcció cinemàtic es la projecció de l'angle de direcció δ en el pla de la superfície del terra.

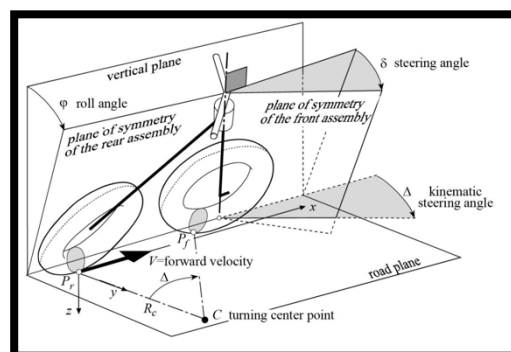


Figura 4.5. Angle cinemàtic de direcció (3, Fig.1-27)

$$\Delta = \tan^{-1} \left(\frac{\sin \delta * \cos(\varepsilon + \mu)}{\cos \varphi * \cos \delta - \sin \varphi * \sin \delta * \sin(\varepsilon + \mu)} \right) \quad (\text{Eq. 4.19})$$

4.2.3.5 Radi de la trajectòria de gir

El radi de gir depèn de paràmetres com l'angle cinemàtic i els angles de lliscament de ambdós rodes. Aquest radi ve descrit per la trajectòria de la roda posterior.

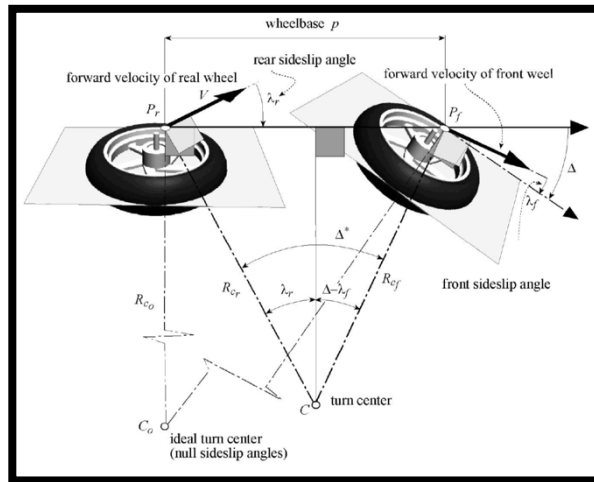


Figura 4.6. Radi de la trajectòria (3, Fig.4-4)

$$R_{cr} = \frac{p}{\tan(\Delta - \lambda_f) * \cos \lambda_r + \sin \lambda_r} \quad (\text{Eq. 4.20})$$

4.2.3.6 Angle de capcineig

Es l'angle de rotació respecte Y_G degut a la geometria dels pneumàtics. L'equació que utilitzarem és una simplificació tenint en compte petits angles de gir de la direcció, és a dir que $\sin(\delta) \approx \delta$

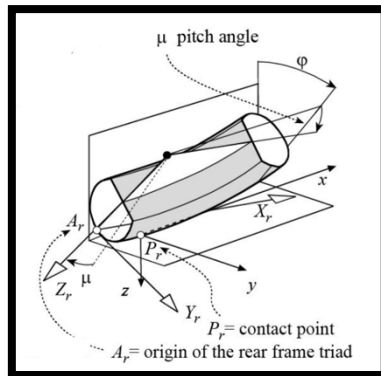


Figura 4.7. Angle de capcineig (3, Fig.1-11 c)

$$\mu = -\frac{a_n - t_f * \sin \varepsilon}{p} * \delta * \tan \varphi - \frac{t_r - t_f}{p} * \left(\frac{1}{\cos \varphi} - 1 \right) \quad (\text{Eq. 4.21})$$

4.2.3.7 Angle de inclinació roda davantera

L'angle de inclinació de la roda davantera β no és el mateix que el de inclinació φ si $\delta > 0$ ja que degut a la geometria del pneumàtic es modifica el punt de contacte amb el terra.

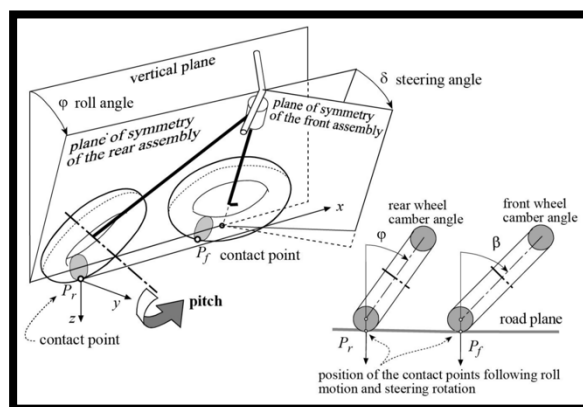


Figura 4.8. Diferències entre β i φ (3, Fig.1-25)

$$\beta = \tan^{-1} \left(\frac{\tan \varphi * \cos \delta + \sin \delta * \sin(\varepsilon + \mu)}{\cos(\varepsilon + \mu)} * \cos(\beta' - \varepsilon) \right) \quad (\text{Eq. 4.22})$$

4.2.3.8 Angle β'

És l'angle entre el punt de contacte real del pneumàtic i el punt de contacte de quant la motocicleta esta inclinada 0° i la direcció també està a 0° .

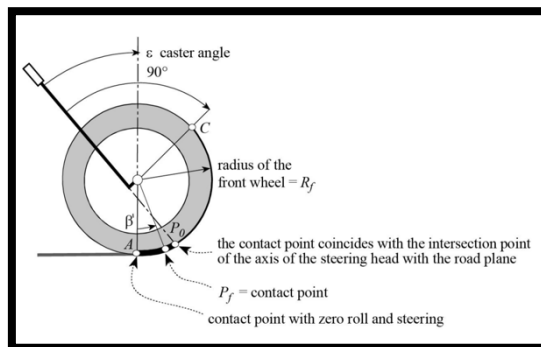


Figura 4.9. Angle β' (3, Fig.1-13)

$$\beta' = \varepsilon + \tan^{-1} \left(\frac{\sin \delta * \tan \varphi - \sin(\varepsilon + \mu) * \cos \delta}{\cos(\varepsilon + \mu)} \right) \quad (\text{Eq. 4.23})$$

4.2.3.9 Trail normal

És la distància perpendicular entre l'eix de la direcció i el punt de contacte amb el terra del pneumàtic davanter.

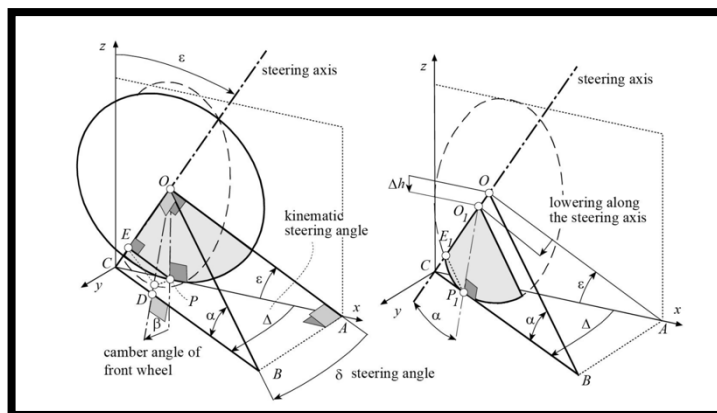


Figura 4.10. Variació del trail normal en funció de la direcció (3, Fig.1-13)

$$a_n = R_f * \frac{\cos \delta * \sin \epsilon}{\sqrt{1 - (\sin \delta * \sin \epsilon)^2}} \quad (\text{Eq. 4.24})$$

4.2.4 Resolució del model

Per resoldre el model seguirem el següent procediment:

1. Imposem $\lambda_f \lambda_r \delta$ amb valor 0.
2. Donarem un valor inicial a V per tal de poder tenir una primera aproximació de Ω .
3. Es calculen els valors de les equacions complementàries (5.2.2) i cinemàtiques (5.2.3).
4. Es resol el sistema d'equacions Eq 5.7.
5. A través dels paràmetres obtinguts en el punt 4 i el model linealitzat dels pneumàtics de la motocicleta en una corba (3, Cap.4.4 i Cap.2.5.4) (10, Cap.11) s'obtenen nous valors de $\lambda_f \lambda_r \Delta$ a través de les següents equacions:

$$\lambda_f = \frac{1}{K_{\lambda f}} * \left(\frac{F_{sf}}{N_f} - k_{\varphi f} * \beta \right) \quad (\text{Eq. 4.25})$$

$$\lambda_r = \frac{1}{K_{\lambda r}} * \left(\frac{F_{sr}}{N_r} - k_{\varphi r} * \varphi \right) \quad (\text{Eq. 4.26})$$

On:

- K_{λ} = coeficient de rígidess a la inclinació (rad^{-1})
- K_{φ} = coeficient de rígidess al gir (rad^{-1})

Derivada de la Eq. 5.20 aïllant Δ trobem que:

$$\Delta = \tan^{-1} \left(\frac{p - \sin \lambda_r * R_{cr}}{\cos \lambda_r * R_{cr}} \right) \quad (\text{Eq. 4.27})$$

6. Amb aquets nous valors calculats tornarem al punt 3 i repetirem iterativament fins a tenir l'error desitjat entre dos iteracions. En el cas dels programes realitzats i mostrats en l'Annex 2 i 3 de 10^{-10} . També per saber més del comportament de la motocicleta es poden utilitzar les següents expressions per saber si és sobreviratge o es subviratge.

- L'angle efectiu de direcció Δ^* (Figura 5.6.) es igual a:

$$\Delta^* = \Delta + \lambda_r - \lambda_f \quad (\text{Eq. 4.28})$$

- Ratio de direcció

$$\xi = \frac{\Delta^*}{\Delta} \quad (\text{Eq. 4.29})$$

On:

- El comportament és neutral si $\xi=0$, això significa que $\lambda_f = \lambda_r$
- Sobreviratge si $\xi > 1$, això significa que $\lambda_r > \lambda_f$
- Subviratge si $\xi < 1$, això significa que $\lambda_r < \lambda_f$

7. Finalment es comprovarà que en la solució no hagi superat el límit de fricció que poden suportar els pneumàtics. S'ha utilitzat un model simplificat de l'el·lipse de fricció en que té en compte tant la força longitudinal (frenada, tracció) com les forces laterals, on s'ha suposat que és una esfera per falta de dades del fabricant.

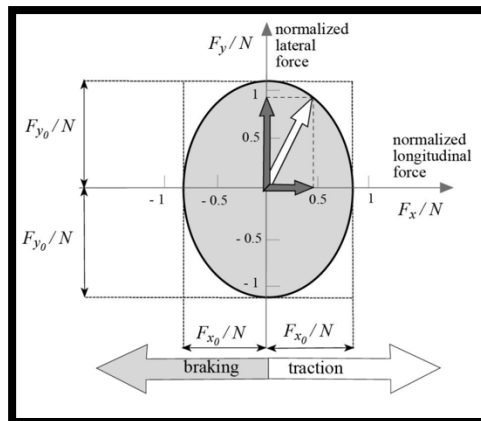


Figura 4.11. El·lipse de fricció (4Fig.2-30)

Al utilitzar un model simplificat les equacions de comprovació queden de la següent forma:

$$(\mu * N_f)^2 > F_{fre}^2 + F_{sf}^2 \quad (\text{Eq. 4.30})$$

$$(\mu * N_r)^2 > S^2 + F_{sr}^2 \quad (\text{Eq. 4.31})$$

A faltes de dades dels pneumàtics del fabricant o per experimentació el coeficient de fregament μ s'ha obtingut de (11, Cap.4.1.1).

CAPÍTOL 5: MODEL MOTOCICLETA EN RECTA

En aquest capítol s'explicarà el model matemàtic utilitzat per descriure el comportament de la motocicleta en línia recta. Explicarem les diferents forces que actuen en acceleració i en frenada.

5.1 Forces en l'etapa de acceleració

En l'etapa d'acceleració la força que entrega el motor ha de superar totes les forces que s'oposen al seu moviment. Aquestes forces son:

- Resistència al rodolament dels pneumàtics.
- Força per vèncer un pendent.
- Resistència aerodinàmica.
- Forces d'Alembert

5.1.1 Resistència al rodolament dels pneumàtics

Aquesta força s'oposa a l'avanç de la motocicleta degut a la resistència que provoca la deformació del pneumàtic a rodolar. Principalment s'han trobat models per a pneumàtics de cotxes (10, Cap.1.2) , (14Cap.3.4). Degut a la geometria tan característica dels pneumàtics de motocicletes les formules que modelitzen el seu comportament son formules empíriques (2, Cap.4.2) i (3, Cap.2.3) tenint en compta la pressió del pneumàtic (p) en bar i la velocitat d'avanç (V) en Km/h en compte.

$$F_w = \left(0,0085 + \frac{0,018}{p} + \frac{1,59 * 10^{-6}}{p} * V^2 \right) * N \quad \text{quant } V < 165 \text{ Km/h} \quad (\text{Eq. 5.1})$$

$$F_w = \left(\frac{0,018}{p} + \frac{2,91 * 10^{-6}}{p} * V^2 \right) * N \quad \text{quant } V \geq 165 \text{ Km/h} \quad (\text{Eq. 5.2})$$

5.1.2 Força per vèncer un pendent

Aquesta força actua en la direcció contrària al pendent i és degut a la component del pes de la motocicleta amb l'angle del pendent. Per tant pot anar a favor o en contra de l'avanç en funció de sentit d'aquest.

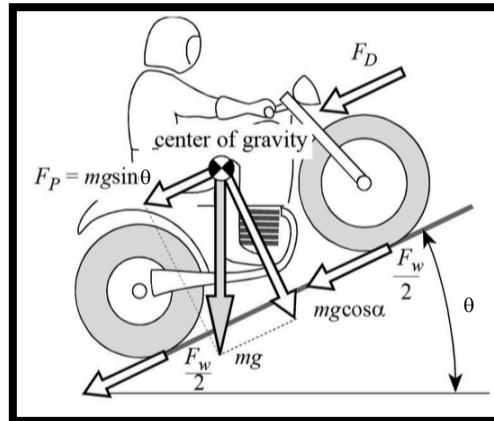


Figura 5.1. Força degut al pendent (3, Fig.3.1)

$$F_p = m * g * \sin \theta \tag{Eq. 5.3}$$

Freqüentment el pendent es dona en percentatge. Per passar a graus utilitzarem la següent expressió:

$$\theta = \tan^{-1} \frac{\text{Pendent}(\%)}{100} \tag{Eq. 5.4}$$

5.1.3 Resistència aerodinàmica

Aquesta força actua oposant-se a l'avanç degut a la fricció amb l'aire. S'aplica al anomenat centre de pressió que normalment no coincideix amb el CdG.

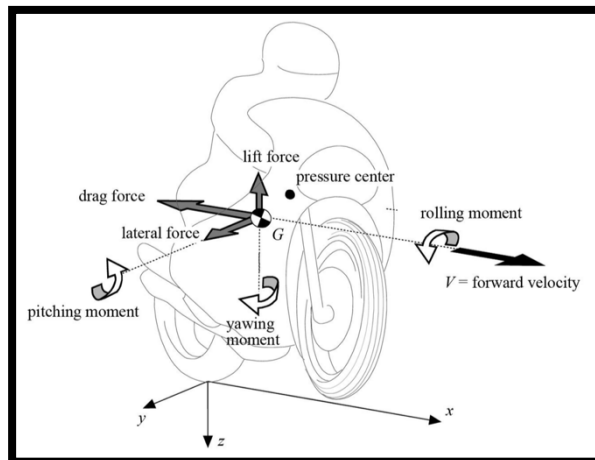


Figura 5.2. Forces aerodinàmiques (3, Fig.3-2)

En el model en línia recta a més de la força de *drag* (Eq.6.5) també tindrem en compte la de *lift* (Eq.6.6) ja que aquesta canviarà la transferència de pesos.

$$F_D = \frac{1}{2} * \rho * C_D * A * V^2 \quad (\text{Eq. 5.5})$$

$$F_L = \frac{1}{2} * \rho * C_L * A * V^2 \quad (\text{Eq. 5.6})$$

5.1.4 Forces d'Alembert

És una força deguda a la inèrcia lineal (motocicleta i pilot) i rotacional (rodes, motor, eixos del canvi). (10, Cap.1.5). S'obté per tant una massa equivalent (m^*) que tindrà en compte la massa de la motocicleta i els elements que tenen inèrcia rotacional a través de la energia cinètica total de la motocicleta.

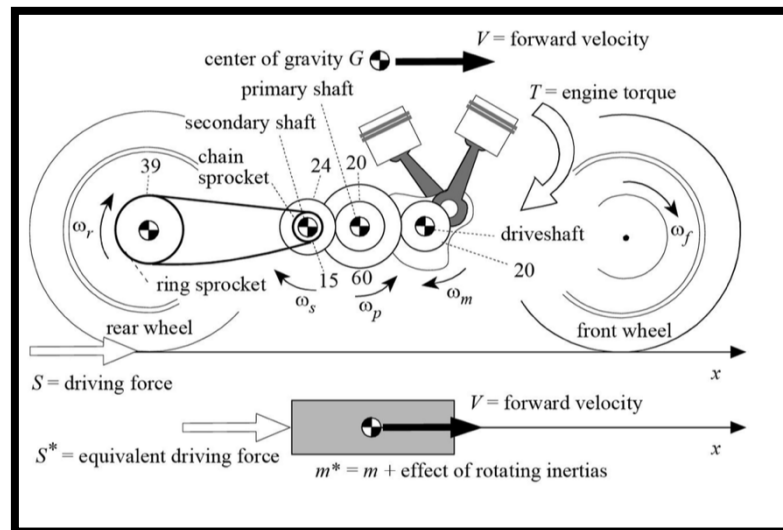


Figura 5.3. Elements rotatius de una motocicleta (4Fig.3-13)

$$m^* = m + I_{wr} * \tau_r^2 + I_{wf} * \tau_f^2 + I_{wm} * \tau_m^2 + I_{wp} * \tau_p^2 + I_{ws} * \tau_s^2 \quad (\text{Eq. 5.7})$$

On:

- I_{wf} = inèrcia de la roda davantera
- I_{wr} = inèrcia de la roda posterior
- I_{wp} = inèrcia eix primari
- I_{ws} = inèrcia eix secundar
- I_{wm} = inèrcia rotor del motor
- $\tau_{i,j}$ = ratio de velocitat

També tenim que:

$$\tau_r = \frac{1}{R_r} \quad (\text{Eq. 5.8})$$

$$\tau_f = \frac{1}{R_f} \quad (\text{Eq. 5.9})$$

$$\tau_s = i_{s,r} * \frac{1}{R_r} \quad (\text{Eq. 5.10})$$

On $i_{s,r}$ és la relació de transmissió entre la transmissió secundaria.

$$\tau_p = i_{p,s} * i_{s,r} * \frac{1}{R_r} \quad (\text{Eq. 5.11})$$

On $i_{p,s}$ és la relació de transmissió entre la marxa engranada.

$$\tau_m = i_{m,p} * i_{p,s} * i_{s,r} * \frac{1}{R_r} \quad (\text{Eq. 5.12})$$

On $i_{m,p}$ és la relació de transmissió primària.

5.1.5 Càrregues dinàmiques en acceleració

Tal i com es van deduir en el capítol 3.3.2 les càrregues dinàmiques en les rodes venen donades per les següents equacions:

$$N_r = \frac{m * g * (p - b) + S * h}{p} \quad (\text{Eq. 5.13})$$

$$N_f = \frac{m * g * b - S * h}{p} \quad (\text{Eq. 5.14})$$

En acceleració la força de tracció queda definida per :

$$S = F_D + F_w \pm F_p + m * a \quad (\text{Eq. 5.15})$$

5.2 Forces en l'etapa de frenada

En l'etapa de frenada tindrem en compte les següents forces :

- Resistència al rodolament dels pneumàtics.
- Força per vèncer un pendent.
- Resistència aerodinàmica.

5.2.1 Càrregues dinàmiques en frenada

Tal i com es van deduir en el capítol 3.3.3 les càrregues dinàmiques en les rodes venen donades per les següents equacions:

$$N_r = \frac{m * g * (p - b) - F_f * h}{p} \quad (\text{Eq. 5.16})$$

$$N_f = \frac{m * g * b + F_f * h}{p} \quad (\text{Eq. 5.17})$$

En frenada força de frenada queda definida per :

$$F_f = -F_D - F_w \pm F_p - m * a \quad (\text{Eq. 5.18})$$

CAPÍTOL 6: CÀRREGUES ESTÀTIQUES

En aquest capítol es deduiran les forces que s'utilitzaran per els càlculs estructurals estàtics tenint en compte els casos mes desfavorables ens les condicions de conducció del nostre prototip.

S'estudiaran els següents casos:

- Acceleració màxima.
- Frenada màxima eix davanter
- Frenada màxima eix posterior
- En corba amb l'adherència del neumàtic al límit de lliscament.

6.1 Càlcul de forces externes

Amb les dades finals de la geometria extretes en el capítol 3 s'estudiaran les forces externes.

Paràmetre	Valor	Unitats
Distància entre eixos (p)	1285	mm
Angle de llançament (c)	22,5	°
Trail (T)	84	mm
Offset (o)	32,6	mm
Coefficient de fricció	1,4	-
b acceleració	585,09	mm
h acceleració	527,36	mm
b frenada	654,53	mm
h frenada	547,79	mm

Taula 6.1. Resum dels paràmetres geomètrics de la motocicleta.

6.1.1 Màxima acceleració

En la condició de màxima acceleració hi ha dos possibles casos que limitaran la força màxima. Estudiarem els dos casos i trobarem el crític.

6.1.1.1 Força límit que provoca el *wheely*.

Aquest cas es dona en el moment just en que la roda davantera deixa d'estar en contacte amb el terra i la motocicleta pivota respecte el punt de contacte amb la roda posterior, tal i com s'ha deduït en el capítol 3.3.2 i utilitzat les equacions Eq.3.7, Eq.3.8 i la Eq.3.9 obtenim la següent relació de forces.

Força de tracció (S)	Normal roda posterior (Nr)	Normal roda davantera (Nf)
2160,42 N	1947,29 N	0 N

Taula 6.2. Resum de forces externes per el cas de acceleració màxima limitada per *wheely*.

6.1.1.2 Força límit que provoca el lliscament.

Aquest cas el límit de acceleració màxima be donat pel límit de fricció de la roda amb el terra

$$S = \mu * Nr \quad (\text{Eq. 6.1})$$

Tal i com s'ha deduït en el capítol 3.3.2 i utilitzant les equacions Eq.3.10, Eq.3.11 i Eq.3.12 obtenim la següent relació de forces.

Força de tracció (S)	Normal roda posterior (Nr)	Normal roda davantera (Nf)
3490,29	2493,06 N	-545,75 N

Taula 6.3. Resum de forces externes per al cas de acceleració màxima limitada per lliscament.

Tal i com s'observa en la Taula 7.3 Nf es negativa, això vol dir que la roda de davant ja no esta en contacte amb el terra i per tant aquest càlcul no serveix ja que com a molt la nostra Nr=1947,29 N (pes de la moto i pilot). Per tant es corregeix el càlcul amb la Eq. 7.1 i obtenim que:

Força de tracció (S)	Normal roda posterior (Nr)	Normal roda davantera (Nf)
2726,20 N	1947,29 N	0 N

Taula 6.4. Resum de forces externes per el cas de acceleració màxima limitada per lliscament corregida.

6.1.2 Frenada màxima roda davantera.

En la condició de frenada màxima hi ha dos possibles casos que limitaran la força màxima. Estudiarem els dos casos i trobarem el crític.

6.1.2.1 Força límit que provoca el *forward flip*.

Aquest cas es dona en el moment just en què la roda posterior deixa d'estar en contacte amb el terra i la motocicleta pivota respecte el punt de contacte amb la roda davantera, tal i com s'ha deduït en el capítol 3.3.3 i utilitzat les equacions Eq.3.19, Eq.3.20 i la Eq.3.21 obtenim la següent relació de forces.

Força de frenada (Ff)	Normal roda posterior (Nr)	Normal roda davantera (Nf)
2241,14 N	1947,29 N	0 N

Taula 6.5. Resum de forces externes per el cas de frenada màxima limitada per *forward flip*.

6.1.2.2 Força límit que provoca el lliscament.

Aquest cas el límit de acceleració màxima be donat pel límit de fricció de la roda amb el terra .

$$F_f = \mu * N_f \quad (\text{Eq. 6.2})$$

Tal i com s'ha deduït en el capítol 3.3.3 i utilitzant les equacions Eq.3.22, Eq.3.23 i Eq.3.24 obtenim la següent relació de forces.

Força de frenada (Ff _i)	Normal roda posterior (Nr)	Normal roda davantera (Nf)
3444,21	-512,87 N	2460,15 N

Taula 6.6. Resum de forces externes per el cas de frenada màxima limitada per lliscament.

Tal i com s'observa en la Taula 7.6 Nr es negativa, això vol dir que la roda posterior ja no està en contacte amb el terra i per tant aquest càlcul no serveix ja que com a molt la nostra Nf=1947,29 N (pes de la moto i pilot). Per tant es corregeix el càlcul amb la Eq. 7.2 i obtenim que:

Força de frenada(Ff _i)	Normal roda posterior (Nr)	Normal roda davantera (Nf)
2726,20 N	1947,29 N	0 N

Taula 6.7. Resum de forces externes per el cas de acceleració màxima limitada per lliscament corregida.

6.1.3 Frenada màxima posterior.

En el cas d'equilibri en els casos de frenada s'han considerat les següents hipòtesis per valorar exclusivament el comportament geomètric de la motocicleta:

- La resistència al rodolament dels pneumàtics es considera nul·la.
- La força aerodinàmica tan de *lift* com de *drag* també seran considerades nul·les.

Es planteja l'equilibri en el següent diagrama del sòlid lliure.

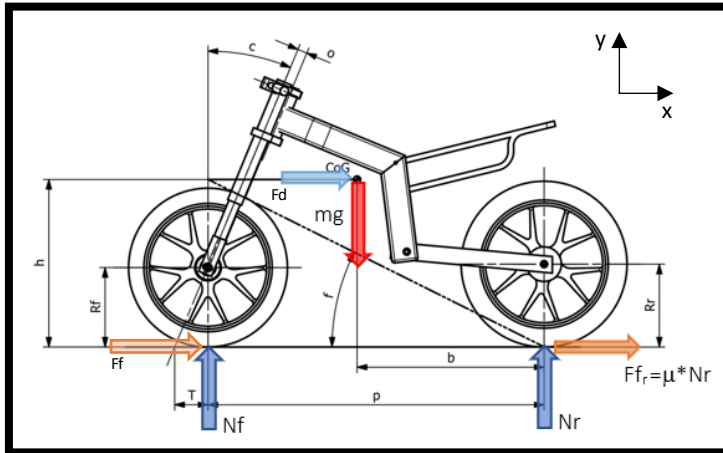


Figura 6.8. Diagrama del sòlid lliure en cas de frenada

$$\sum F_x: -F_r - F_f - F_D = m * a \quad (\text{Eq. 6.3})$$

$$\sum F_y: N_f + N_r = m * g \quad (\text{Eq. 6.4})$$

$$\sum M_{CoG}: I * \omega = F_f * h + F_r * h + N_r * b - N_f * (p - b) \quad (\text{Eq. 6.5})$$

En aquest cas el màxim de frenada en l'eix posterior succeeix quan $F_f=0$ N, tampoc hi haurà rotació respecte el CoG, això implica que $I*\omega=0$. Per tant es dedueixen les següents equacions:

$$F_{f_r} = -\frac{\mu * m * g * (b_f - p)}{\mu * h_f + p} \quad (\text{Eq. 6.6})$$

$$N_f = \frac{m * g * (h_f * \mu + b_f)}{h_f * \mu + p} \quad (\text{Eq. 6.7})$$

$$N_r = - \frac{m * g * (b_f - p)}{h_f * \mu + p} \quad (\text{Eq. 6.8})$$

Aplicant les equacions anteriors trobem :

Força de frenada (F _f)	Normal roda posterior (N _r)	Normal roda davantera (N _f)
837,63 N	598,31 N	1348,97 N

Taula 6.9. Resum de forces externes per el cas de frenada màxima roda posterior.

6.1.4 En corba al límit de la fricció

Per al càlcul de les forces resultants en corba, s'ha utilitzat el model de moto en corba del capítol 4. Després de fer l'anàlisi de totes les corbes del circuit de Motorland s'ha extret que el cas mes desfavorable es la corba numero 9 amb les següents sol·licitacions :

%Front _{moto-piloto}	%Rear _{moto-piloto}	N _{front}	N _{rear}	F _{sfront}	F _{srear}	Inclinació (°)
47,61	52,39	927,09	1020,20	1252,35	1378,75	54

Taula 6.10. Resum de forces externes per el cas de dins de la corba.

6.1.5 Resum de les forces externes per l'anàlisi estàtic.

Després de analitza els diferents casos i avaluar els casos mes restrictius, les càrregues estructurals a analitza per el cas estàtic queden resumides en la següent taula:

Màxima acceleració		Màxima frenada roda davantera		En corba al límit de lliscament			
S	N _r	F _{ff}	N _f	F _{sf}	F _{sr}	N _f	N _r
2160,42 N	1947,29 N	2241,14 N	1947,29 N	1252,35 N	1378,75 N	927,09 N	1020,20 N

Taula 6.11. Resum de totes les forces a analitzar per l'anàlisi estàtic de càrregues.

6.2 Translació de les forces externes al xassís.

Un cop s'han obtingut les diferents càrregues externes aquestes s'han traslladat als seus respectius allotjaments al xassís.

6.2.1 Màxima acceleració

Les forces de contacte amb el terra es traslladen als baixants del xassís a través del pneumàtic la llanta i el basculant. En un sistema convencional d'eix de sortida no coaxial al basculant també s'hauria de tenir en compte la força de la cadena, però aquest no es el cas ja que la força de la cadena només afecta al basculant. Per tant, per trobar la força que rebrà el xassís es dedueix de la següent figura:

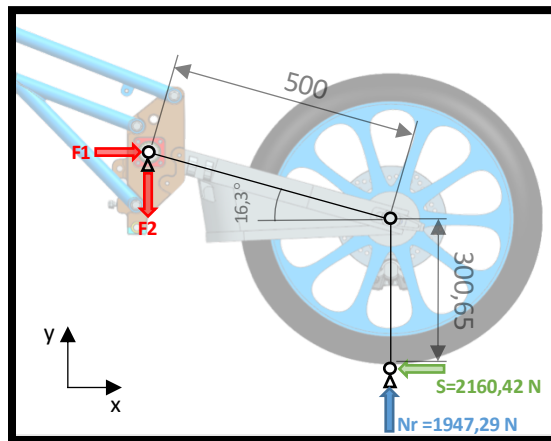


Figura 6.12. Esquema de forces en acceleració.

$$\sum F_x: S = F_1 \quad (\text{Eq. 6.9})$$

$$\sum F_y: N_r = F_2 \quad (\text{Eq. 6.10})$$

Les forces al xassís queden resumides en la següent taula:

F1	F2
2160,45 N	1947,29 N

Taula 6.13. Forces al xassís en acceleració.

6.2.2 Frenada màxima

Les forces de contacte amb el terra es traslladen als rodaments de la pipa de direcció i xassís a través del pneumàtic la llanta i la suspensió davantera. Per tant, per trobar la força que rebrà el xassís és dedueix de la següent figura:

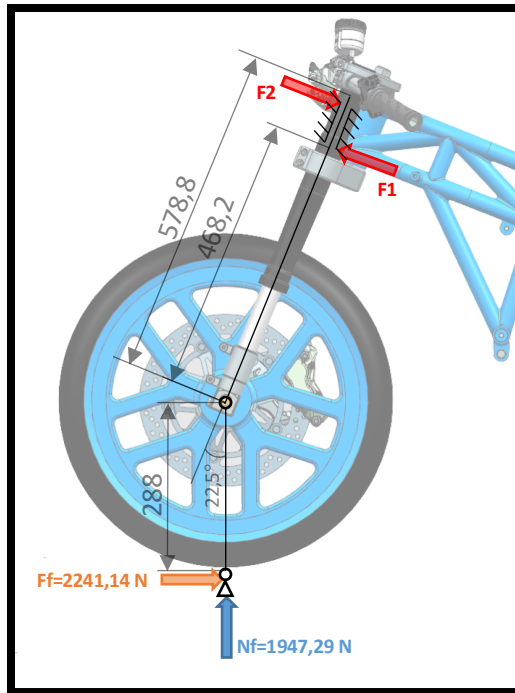


Figura 6.14. Esquema de forces en frenada.

$$\sum M_{Eix}: S * 288 + F_2 * \cos 22,5^2 * 468,2 + F_2 * \sin 22,5^2 * 468,2 - F_1 * \cos 22,5^2 * 578,8 - F_1 * \sin 22,5^2 * 578,8 = 0 \quad (\text{Eq. 6.11})$$

$$\sum M_{F1}: N_f * 578,8 * \sin 22,5 + S * (288 + 578,8 * \cos 22,5) - F_2 * \cos 22,5^2 - F_2 * \sin 22,5^2 * (578,8 - 468,2) = 0 \quad (\text{Eq. 6.12})$$

Igualant les equacions anteriors:

$$F_2 = F_f * 7,4389 - N_f * 2,0027 \quad (\text{Eq. 6.13})$$

$$F_1 = F_f * 0,4976 + F_2 * 0,8089 \quad (\text{Eq. 6.14})$$

Per tant les forces al xassís queden resumides en la següent taula:

F1	F2
11447 N	12772 N

Taula 6.15. Forces al xassís en frenada.

6.2.3 En corba al límit del lliscament

Les forces de contacte amb el terra es traslladen als rodaments de la pipa de direcció i xassís a través del pneumàtic la llanta i la suspensió davantera. Per tant, per trobar la força que rebrà el xassís es dedueix de la següent figura:

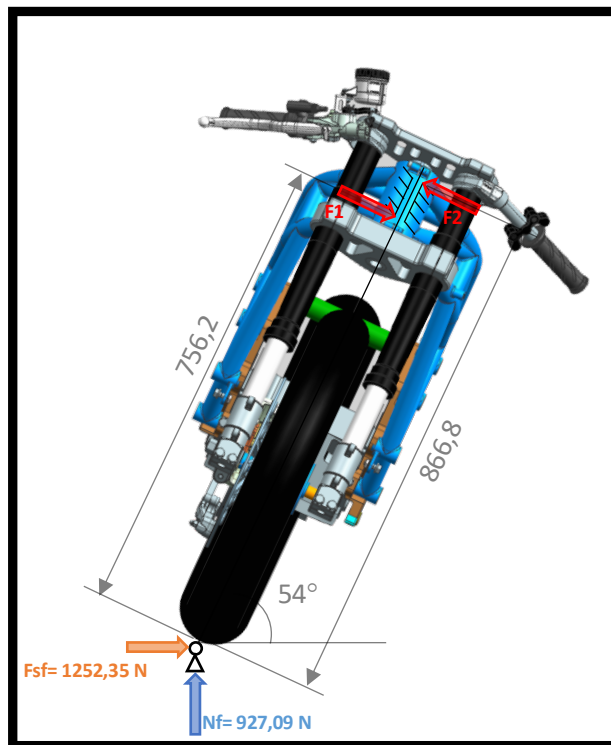


Figura 6.16. Esquema de forces en corba.

$$\sum M_0: F_1 * 756,2 + F_2 * 866,8 = 0 \quad (\text{Eq. 6.15})$$

$$\sum M_{F2}: F_1 * (866,8 - 756,2) - N_f * \sin 54 * 756,2 - F_{sf} * \sin 54 * 756,2 \quad (\text{Eq. 6.16})$$

Igualant les equacions anteriors:

$$F_1 = \frac{N_f * \sin 54 * 756,2 + F_{sf} * \sin 54 * 756,2}{(866,8 - 756,2)} \quad (\text{Eq. 6.17})$$

$$F_2 = \frac{F_1 * 756,2}{866,8} \quad (\text{Eq. 6.18})$$

Per tant les forces al xassís queden resumides en la següent taula:

F1	F2
12055,46 N	10517,24 N

Taula 6.17. Forces al xassís en corba.



CAPÍTOL 7: OPTIMITZACIÓ DE LES RIGIDESES

Després de definir la geometria de la motocicleta (capítol 2) i definir el disseny, l'objectiu es realitzar la selecció de perfils que comportin un compromís òptim entre el pes i la seva rigidesa.

7.1 Selecció del material

Primer de tot, s'ha de seleccionar el material. Degut al el tipus de xassís que s'està dissenyant, les alternatives són família d'acers o d'aluminis. Tot i que l'autor s'inclinà per les famílies d'acers ja que el projecte es nodreix de col·laboracions amb empreses i aquestes ens han limitat a l'ús de les famílies d'acers.

Després de fer un estudi dels tipus d'acers emprats amb la fabricació de xassís de motocicletes obtenim la següent taula resum:

Steel tube	Type of steel	Composition	Condition supplied	Tensile Strength		Min. Yield Stress or 0.2% Proof Stress		% Elong. min. on 5.65√S ₀	Notes and specification involved		
				N/mm ²	tonf/in ²	N/mm ²	tonf/in ²				
CEW1 Welded and cold drawn	Mild	Carbon 0.16% max Manganese 0.7% max Phosphorus & Sulphur 0.05% max	BK (as drawn)	400 min	25 min	YS = 320	YS = 20	6%	Supplied to BS6323 part 5 1982 or similar. Limited availability at stockists.		
			GBK (annealed)	270 min	17 min	YS = 150	YS = 9	27%			
			NBK (normalised)	280 min	18 min	YS = 155	YS = 10	25%			
CFS 360 Cold drawn seamless	Mild	Carbon 0.17% max Silicon 0.1% min, 0.35% max Manganese 0.3% min, 0.8% max Phosphorus & Sulphur 0.035% max Aluminium 0.05% max	As supplied to BS3602 Part 1 1987	360 min/ 500 max	23 min/ 32 max	YS = 235 < 16mm thick	YS = 15 < 16mm thick	25%	Supplied to BS3602 Part 1 1987 or related standard. Pressure tested for hydraulic systems. Good choice of mild steel if bending tubes.		
CFS 3 Cold drawn seamless	Mild	Carbon 0.2% max Manganese 0.9% max Silicon 0.35% max Phosphorus & Sulphur 0.05% max	BK (as drawn)	450 min	29 min	YS = 360	YS = 23	6%	Supplied to BS6323 Part 4 1982 or related standard. As drawn can be brittle after severe cold bending.		
			BKW	400 min	25 min	YS = 280	YS = 18	9%			
			GBK (annealed)	340 min	22 min	YS = 170	YS = 11	26%			
			NBK (normalised)	360 min	23 min	YS = 215	YS = 13	24%			
CFS 5 Cold drawn seamless	Carbon-Manganese	Carbon 0.23% max Manganese 1.5% max Silicon 0.5% max Phosphorus & Sulphur 0.05% max	BK	600 min	39 min	YS = 480	YS = 31	4%	CFS 5 NBK is available from Elmdon Metals. Tensile Strength typically 600N/mm ² . Elongation over 30%.		
			BKW	450 min	29 min	YS = 385	YS = 25	6%			
			GBK	This condition is not included in the standard							
			NBK	490 min	32 min	YS = 340	YS = 22	20%			
T45 Cold drawn seamless	Carbon-Manganese	Carbon 0.17% to 0.25% Silicon 0.1% to 0.35% Manganese 1.3% to 1.7% Phosphorus & Sulphur 0.04% max Chromium 0.25% max Molybdenum 0.1% max Nickel 0.4% max	As supplied to BS.4T.45	700 min/ 900 max	45 min/ 58 max	PS = 620	PS = 40	Not specified, see notes. (Hardness spec. 210 to 275 HV)	There is no % Elongation figure but BS.4T.45 includes a flattening test and proof bend test. For bending ensure manufacturer supplies to full specification or at least 20% Elongation minimum.		
Reynolds 531 Cold drawn seamless	Manganese Molybdenum	Carbon 0.23% to 0.29% Silicon 0.15% to 0.35% Manganese 1.25% to 1.75% Molybdenum 0.15% to 0.25% Phosphorus & Sulphur 0.045% max	As drawn (refer to main text)	772 min	50 min	YS = 694	YS = 45	10% on 2in	No commercial standard but CFS 9 to BS6323 sometimes substituted. Buy annealed if severe cold bending required.		
			Annealed	695 min	45 min	YS = 618	YS = 40	n/a			
753	As 531	As for Reynolds 531	Heat treated	1080-1280	70-83	n/a	n/a	8% on 2in	Contact Reynolds Cycle Tech.		
4130 Cold drawn seamless 25CrMo 4	Chrom-Moly	Carbon 0.28% to 0.33% (4130) Silicon 0.15% to 0.35% Manganese 0.4% to 0.6% Chromium 0.8% to 1.1% Molybdenum 0.15% to 0.25% Nickel & Copper 0.25% max Phosphorus & Sulphur 0.025% max	Normalised & Stress Relieved to AMS6360K	655 min >12.7mm dia	42 min >12.7mm dia	PS = 517 >12.7mm dia	PS = 33 >12.7mm dia	12% but on 2in Gauge Length	Buy 4130 to AMS6360K for cold bending. Seek 20% Elong Also 25CrMo4 to 1.7214.9 (low carbon versions of 4130). Elongation typically 20% but always check.		
			25CrMo4 to Tennant 1E 012 and Werkstoff 1.7214.9	650 min 720 typical	42 min 47 typical	PS = 520 min	PS = 34 min	13% min (Hardness >206HB)			
15CDV6 Cold drawn seamless	Chrom-Moly-Vanadium	Carbon 0.12% to 0.18% Silicon 0.2% max Manganese 0.8% to 1.1% Chromium 1.25% to 1.5% Molybdenum 0.8% to 1.1% Vanadium 0.2% to 0.3% Phosphorus 0.02% max Sulphur 0.015% max	Air hardened to Werkstoff 1.7734.4	700 min	45min	PS = 550	PS = 35	12%	Supplied to French AIR9160/C or German Werkstoff 1.7734. Numerous conditions defined. Suggest 1.7734.4 if you need to bend it. Also 1.7734.3 is annealed (Tensile Strength = 610N/mm ²).		
			Air hardened to Werkstoff 1.7734.5 or AIR 9160/C	980 min/ 1180 max	63 min/ 76 max	PS = 790	PS = 51	10% (Hardness = 29HRc)			

Figura 7.1. Acers freqüentment utilitzats en fabricació de xassís de motocicletes (15, p.88)

Finalment per la seva ampla utilització en el camp de les motocicletes i la seva relació prestacions preu es decideix utilitzar l'acer 25CrMo4 (Veure A.10) amb la següent disponibilitat de perfils:

Referència perfil	Diàmetre(mm)	Espessor (mm)
39133005	18	1
39133006	18	1,5
39133010	20	1,5
39133012	22	1,5
39133013	22	2
39133025	25	1,5
39133026	25	2
39133027	28	1,5
39133028	28	2
39133015	30	1,5
39133020	30	2
39133030	32	2
39133033	35	1,5

Taula 7.2. Perfils acer 25CrMo4 (font:www.chassisparts.com)

7.2 Selecció dels perfils.

L'objectiu es trobar la combinació dels perfils disponibles obtenint com a resultat l'òptima relació rígides pes i freqüència natural de l'estructura. Es realitzarà una simplificació per tal de trobar elements comparatius que ajudin a la dedició final que posteriorment s'estudiaran detalladament i es validaran.

7.2.1 Model Estructura amb elements 1D

Es partirà exclusivament de els elements basics de l'estructura ni suports ni ancoratges; només les barres. Mitjançant la geometria de disseny, obtenim el següent esquema:

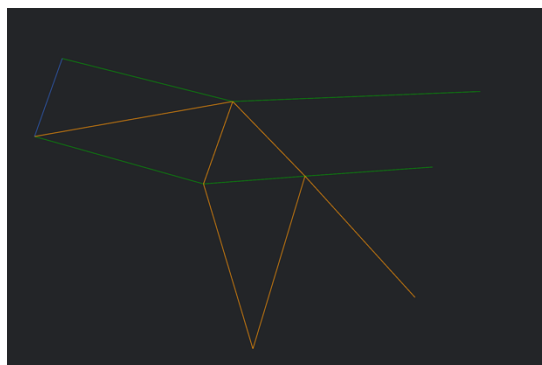


Figura 7.3. Esquema xassís amb elements 1D.

En el programa s'han introduït tots els perfils esmentats en la taula 7.2 iterativament s'han calculat totes les combinacions possibles. Primerament però s'ha discretitzat el xassís en 2 tipus d'elements, elements principals i elements de reforç. S'han utilitzat elements CBEAM (16) com a elements 1D

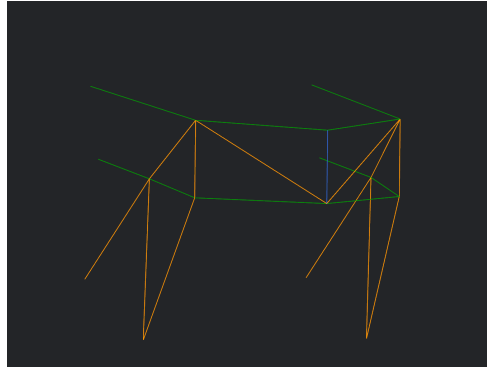


Figura 7.4. Elements principals (verd) elements de reforç (taronja)

Per altra banda, s'han imposat les següents condicions a l'hora de fer les possibles combinacions:

- Les barres principals s'analitzaran des de el diàmetre 35 fins el 22 passant per tots els gruixos.
- Les barres de reforç no tindran mai un diàmetre superior al de les barres principals per evitar problemes de fabricació.

D'aquest model en traurem els desplaçaments i n'extraurem la constant elàstica amb la següent expressió:

$$K = \frac{F}{d} \quad (\text{Eq. 7.1})$$

La massa del conjunt l'extraurem de l'equació que ens facilita el fabricant i multiplicat per el número de metres de cada perfil:

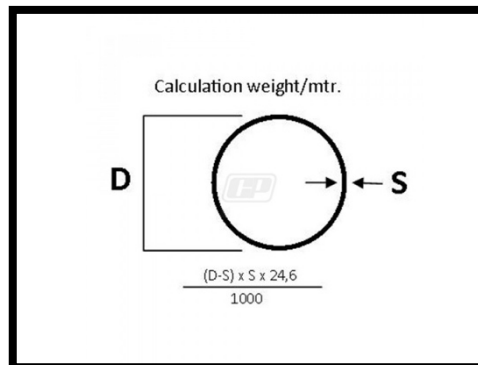


Figura 7.5. Pes per metre dels perfils d'acer (font: www.chassisparts.com)

Finalment calcularem la freqüència natural de l'estructura amb la següent expressió:

$$\omega_n = \frac{1}{2 * \pi} * \sqrt{\frac{K}{m}} \quad (\text{Eq. 7.2})$$

7.3 Rigideses característiques del xassís d'una motocicleta

La rigidesa d'un xassís d'una motocicleta és el factor determinant en quant a la maniobrabilitat i la conducció. Com més rígid sigui un xassís més precís en els canvis de trajectòria tot i que pot produir sensació de moto mol reactiva sobretot en zones de sots i també en condicions de pluja. Per altra banda també és important que el conjunt sigui el més lleuger possible.

Les rigideses dels xassís es caracteritzen amb tres tipus:

- Rigidesa longitudinal
- Rigidesa lateral
- Rigidesa a la torsió

7.3.1 Rigidesa longitudinal

Aquesta rigidesa ve determinada respecta a una carrega frontal , tal i com es veu en la següent figura:

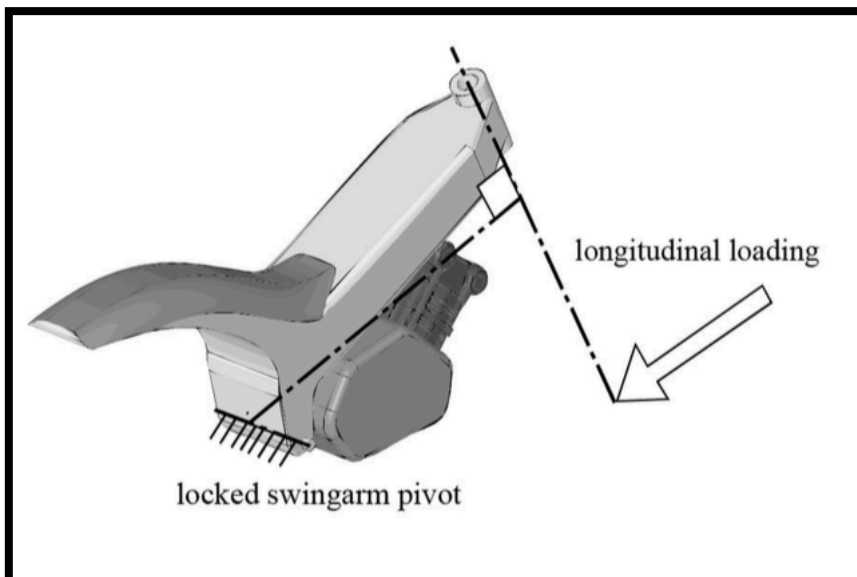


Figura 7.6. Situació de càrrega per determinar la rigidesa longitudinal (3, Fig.8.56)

Aquesta rigidesa intervé en la frenada, ja que la força aplicada actua en el mateix sentit que les forces de frenada. Els valors típic de una motocicleta moderna son de 5 -10 KN/mm.

7.3.2 Rigidesa lateral

Aquesta classe de rigidesa s'avalua mitjançant una càrrega en el sentit de la figura següent:

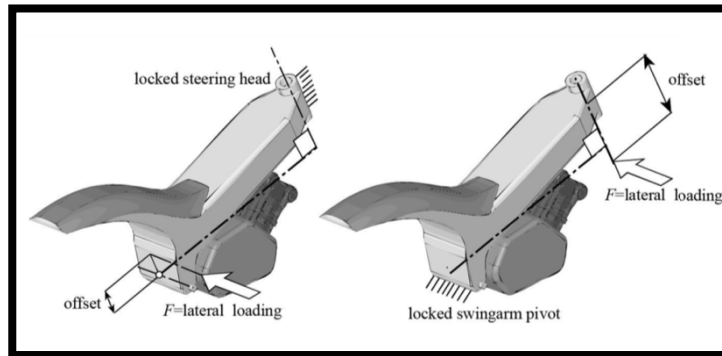


Figura 7.7. Situació de càrrega per determinar la rigidesa lateral (3, Fig.8.55)

Aquesta rigidesa depèn mol de els elements interns del xassís tal com la subjecció del motor com altres element. És especialment crítica en corba i en angles d'inclinació alts de la motocicleta ja que la component de forces que nota des de el terra no passant per l'amortidor i l'absorció de les forces i les irregularitats del terreny depèn directament de la rigides del xassís. Els valors típics d'una motocicleta moderna son de 1 – 3 KN/mm

7.3.3 Rigidesa a la torsió

Aquesta classe de rigidesa s'avalua aplicant un moment segons la figura següent:

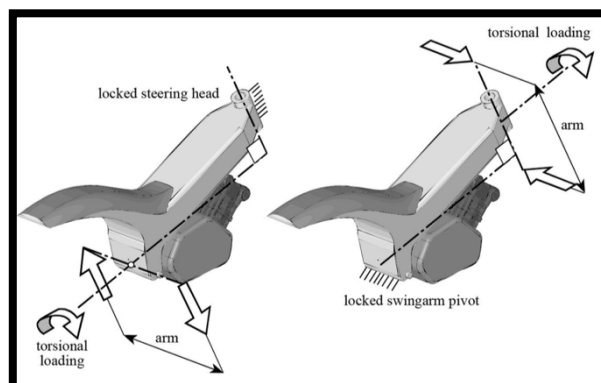
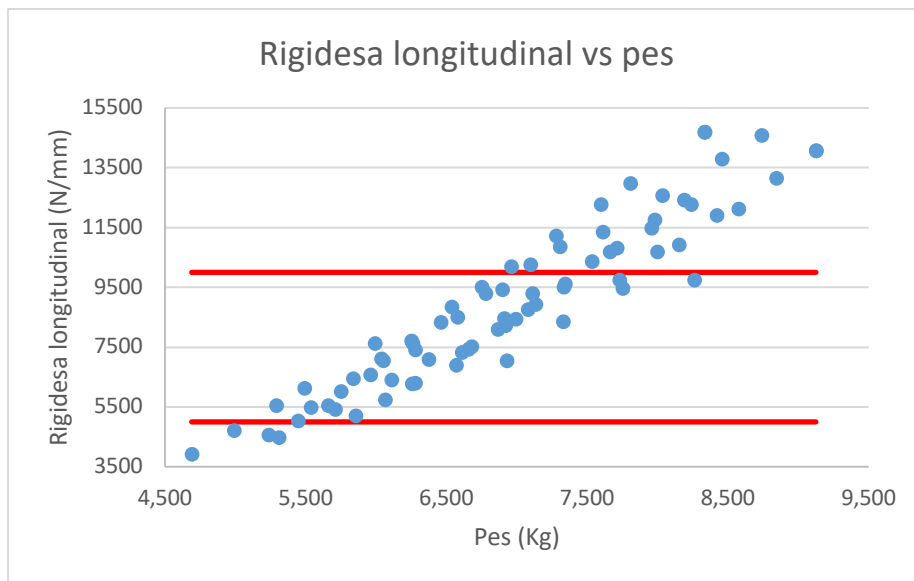


Figura 7.8. Situació de càrrega per determinar la rigidesa a la torsió (3, Fig.8.54)

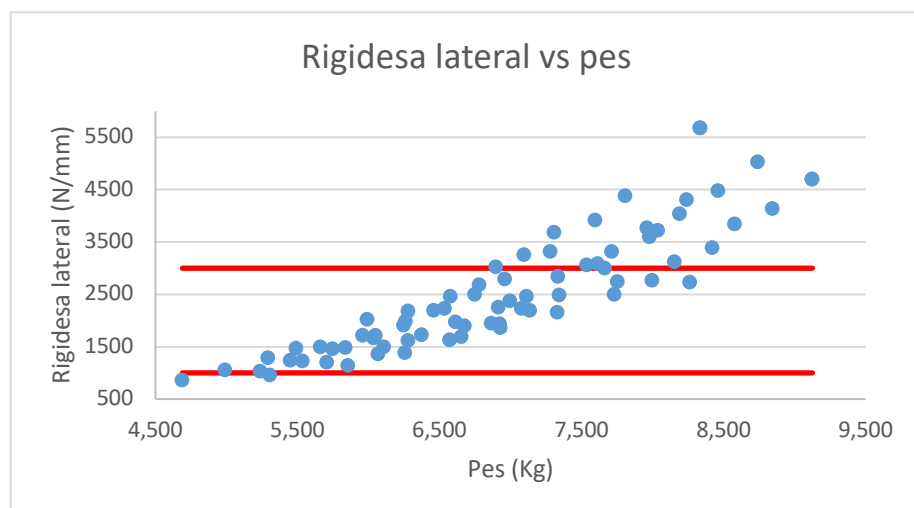
La torsió es dona també en el cas en corba ja que les forces laterals i normals generen un moment respecte la pipa de direcció a través de la suspensió davantera. En motocicletes modernes els valors típics són de 3 -7 KNm/°.

7.4 Resultats

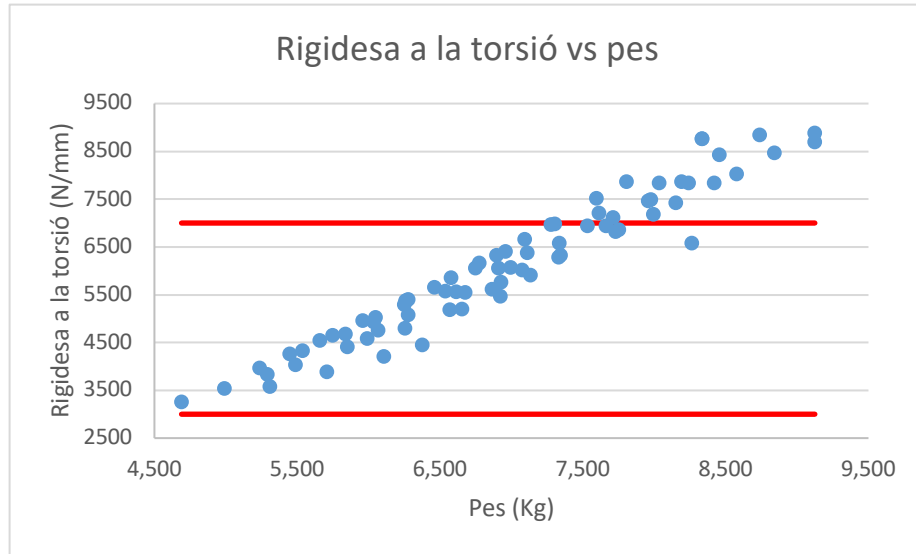
Tot i ser un model molt simplificat, a nivell comparatiu ens servirà per prendre dedicions, sense invertir gran cost computacional ni de temps. Amb les dades obtingudes del model amb elements 1D (veure A.8) i les equacions anteriors es realitzen les següents gràfiques, cada tipus de rígidesa en funció del pes. També introduïrem els límits normals de rígidesa explicats en el capítol 7.3.



Gràfic 7.9. Rigidesa longitudinal vs pes.



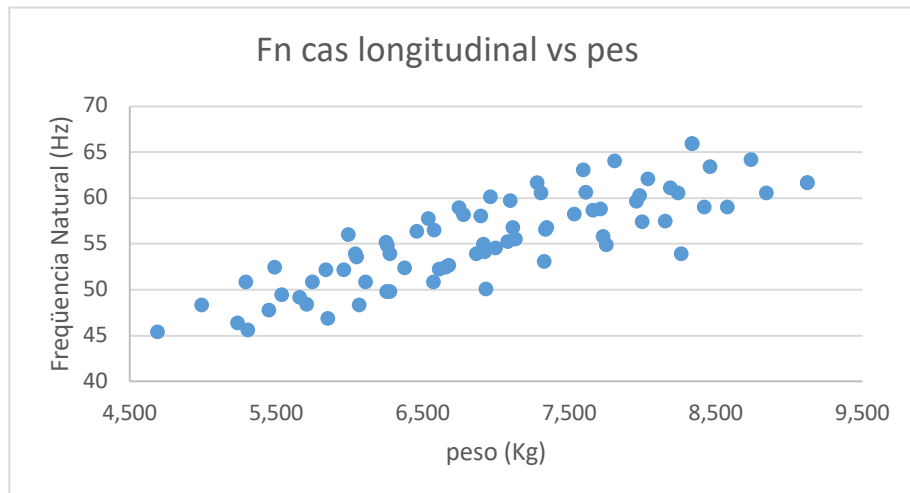
Gràfic 7.10. Rigidesa lateral vs pes.



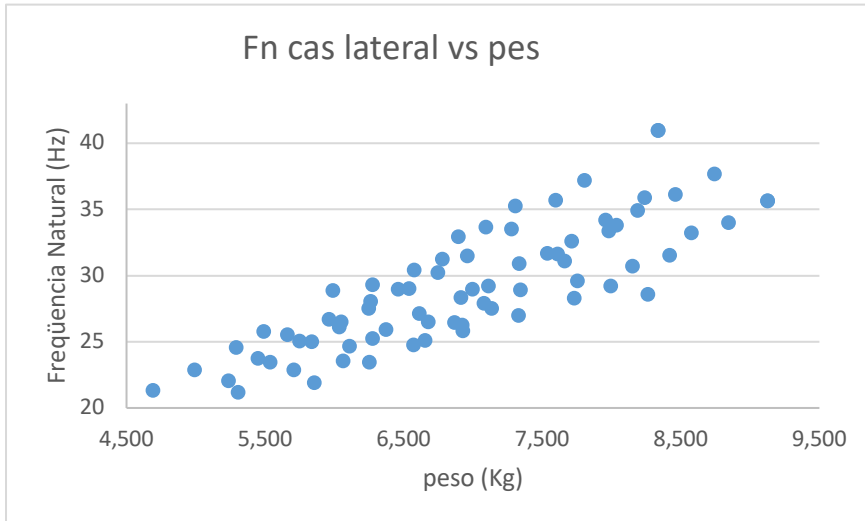
Gràfic 7.11. Rigidesa a la torsió vs pes.

D'aquestes dades, tal i com era d'esperar tenen una relació lineal, el que si que podem determinar que un cop definit el paràmetre de rigidesa desitjat ens quedarem el valor de mes a l'esquerra del gràfic, ja que es el que minimitzarà el pes per aquesta rigidesa desitjada.

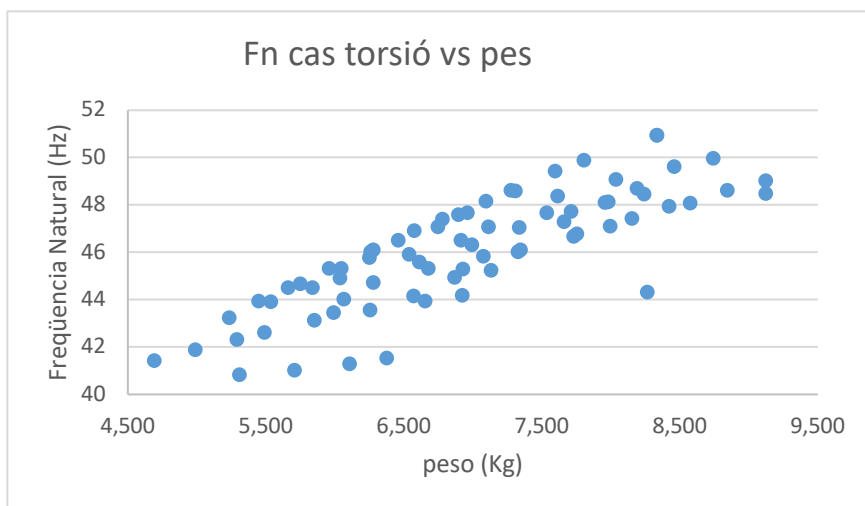
Seguidament anem a veure les gràfiques freqüència natural pes per si podem extreure alguna conclusió mes.



Gràfic 7.12. Freqüència natural cas longitudinal vs pes

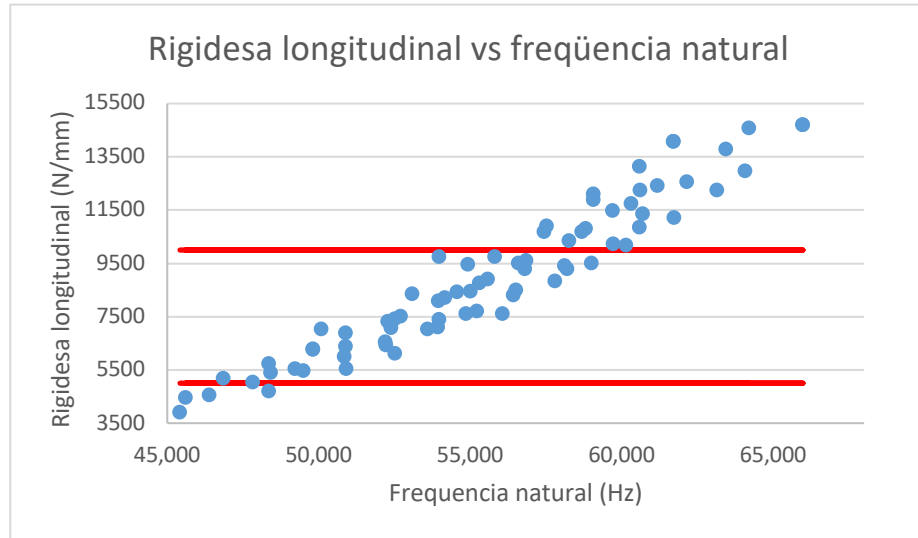


Gràfic 7.13. Freqüència natural cas lateral vs pes.

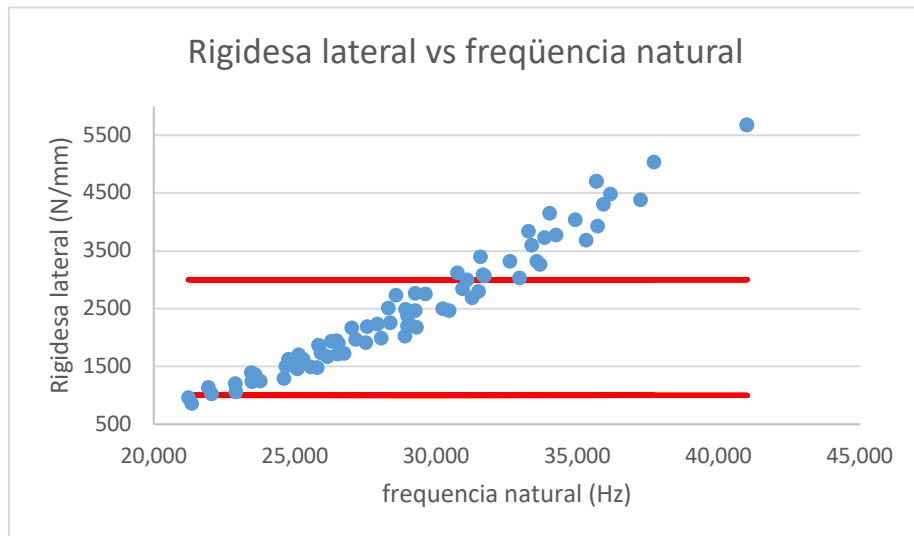


Gràfic 7.14. Freqüència natural cas torsió vs pes.

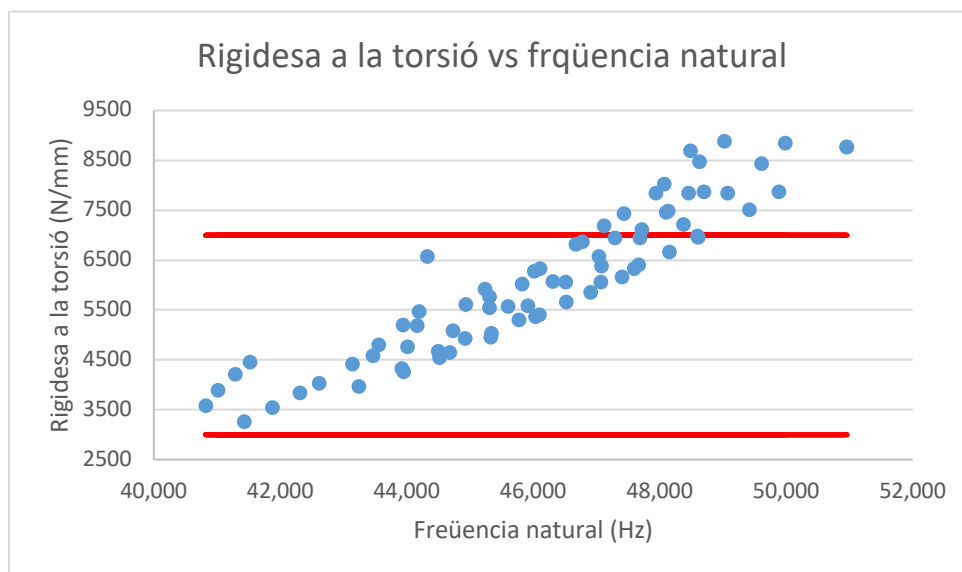
Al igual que en el cas anterior veiem que amb els components que tenim el comportament també és lineal, en tot cas en quedarem amb les dades més a l'esquerra i més superiors per minimitzar el pes maximitzant la freqüència natural. A continuació anem a confrontar la rígides i la freqüència natural per si es pot treure alguna conclusió mes.



Gràfic 7.15. Rigidesa longitudinal vs freqüència natural.



Gràfic 7.16. Rigidesa lateral vs freqüència natural.



Gràfic 7.17. Rigidesa a la torsió vs frèüència natural.

Quant enfrontem la rigidesa i la frèüència natural trobem un comportament diferent respecte els altres casos té un comportament no lineal igualment tampoc podem trobar una funció a optimitzar en el rang que ens interessa.

Això comporta que ens hem de decidir per una rigidesa que ens interessi i així seleccionar el perfil. Actualment l'equip no disposa de dades en condicions reals. Això fa decidir a priori que el punt mig entre els rangs de utilització es un bon punt base per el primer disseny i obtenir un compromís que després que el prototip es provi en pista i s'avalui les dades de l'adquisició de dades poder valorar amb més propietat la rigidesa del següent disseny. En el capítol 8 es validaran amb el sòlid 3D complert les dades obtingudes en aquest capítol, ja que presumiblement al ser un model tan simplificat pot ser que els valors divergeixin dels estudiats.

La decisió final de les seccions utilitzades i les característiques que aquestes ofereixen queden reflectides en la següent taula:

Perfil principal	Perfil reforços	Pes (Kg)	Rigidesa longitudinal (KN/mm)	Rigidesa lateral (KN/mm)	Rigidesa a la torsió (KNm/°)	F _n cas longitudinal al (Hz)	F _n cas lateral (Hz)	F _n cas torsió (Hz)
35x1,5	18x1	5,991	7,633	2,028	4,587	56	29	43

Taula 7.18. Selecció perfils estructura triangulars del xassís i les propietats en el model simplificat.

CAPÍTOL 8: ANÀLISI ESTÀTIC

Per realitzar les anàlisi per elements finits s'ha utilitzat el software siemens NX amb el mòdul de CAE de Nastran . (16)

8.1.1 Eines utilitzades.

Per a la realització d'aquestes anàlisi hem utilitzat diferents eines i condicions de contorn, a continuació s'explicaran.

8.1.1.1 Elements Rígid RBE2 1D

Son elements rígids, s'utilitzaran per modelar els ancoratges sense afegir sòlids que fan el model més complicat. També son utilitzat per modelar unions cargolades així com assegura distancies que han de quedar fixes.

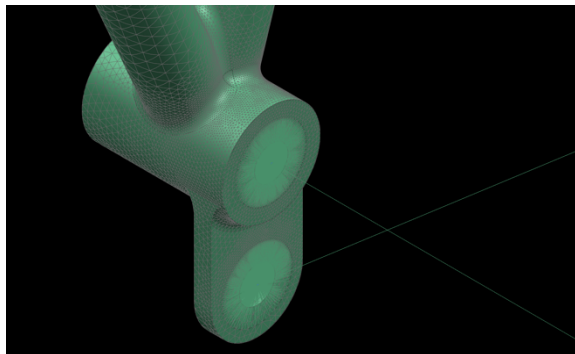


Figura 8.1. Elements rígids RBE2

8.1.1.2 Bearings

Aquesta eina modelitza la distribució de forces tal i com ho faria un rodament.

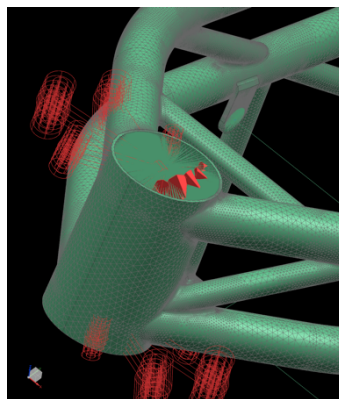


Figura 8.2. Carrega amb bearing

8.1.1.3 Surface-to-Surface Gluing

El gluing, enganxa les peces en contacta evitant que es separin o penetrin, es una eina que a més et permet treure les forces de contacte en la zona. S'utilitza per fer simulacions amb varis sòlids que van units.

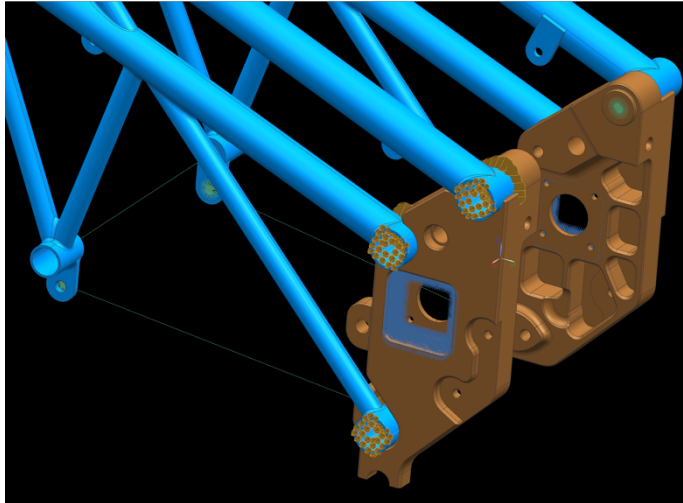


Figura 8.3. Gluing aplicat a les unions acargolades.

8.1.1.4 Mesh mating

Força els elements on s'imposa aquesta condició a compartir els mateixos nodes.

8.1.1.5 Adaptivity

Es un procés iteratiu que consisteix en millorar la qualitat de malla refinant en aquelles àrees on hi ha mes gradient de tensions. Amb això aconseguim tenir una malla molt fina on interessa i d'aquesta manera no tenir un cost computacional tant alt sense sacrificar precisió.

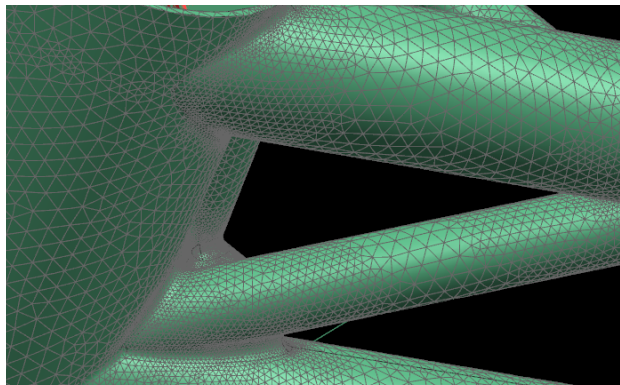


Figura 8.4. Detall de la malla adaptativa

8.1.1.6 Fix constraint

Fixa els 6 graus de llibertat, Dirichlet boundary condition.

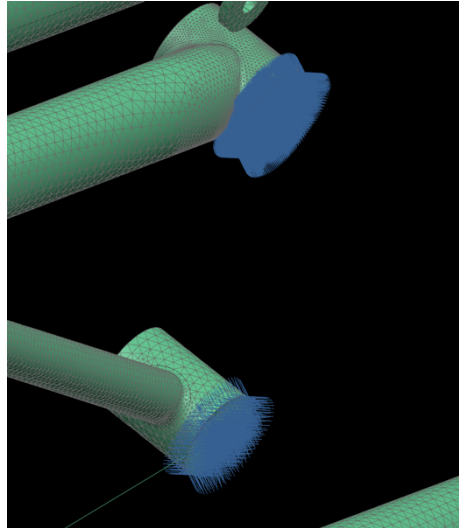


Figura 8.5. Emportaments Dirichlet boundary condition

8.1.2 Màxima acceleració.

8.1.2.1 Condicions de contorn

Utilitzant els càlculs del capítol 6.2 s'han introduït al programa les següents condicions de contorn:

	Eina utilitzada	Observacions
Restriccions	Fix constrain	Als allotjaments dels rodaments de la pipa de direcció
Elements rígids	RBE2	Simulat tots els eixos i fixacions interns dels components. Unió dels dos baixants del xassís.
Càrregues	Force	A les fixacions del basculant en la component vertical i horitzontal Cap.6.2.1
Gluing	SI	A les unions del xassís als baixants del basculant
Mesh mating	Si	A les unions del xassís als baixants del basculant

Taula 8.6. Resum de les condicions de contorn

8.1.2.2 Mallat inicial

Un cop definides les condicions de contorn, s'ha realitzat un primer càlcul amb una malla inicial. És una primera aproximació per tenir referències dels valors. Els resultats són els següents:

Elements malla	Desplaçament max (mm)	Tensió max. (MPa)	FS
221295	0,674	72.51	8,86

Taula 8.7. Resum resultats per la màxima acceleració amb la malla inicial

8.1.2.3 Mallat adaptatiu

Posteriorment hem realitzat un procés de malla adaptatiu explicat en l'apartat 8.1.1 d'aquest capítol per obtenir càlculs mes precisos sense incrementa excessivament el cost computacional. Els resultats queden reflectits en la següent taula.

Elements malla	Desplaçament max (mm)	Tensió max. (MPa)	FS
1404193	0,862	84,92	7,09

Taula 8.8. Resum resultats per la màxima acceleració utilitzant el mallat adaptatiu

- Gràfic de contorn dels desplaçament

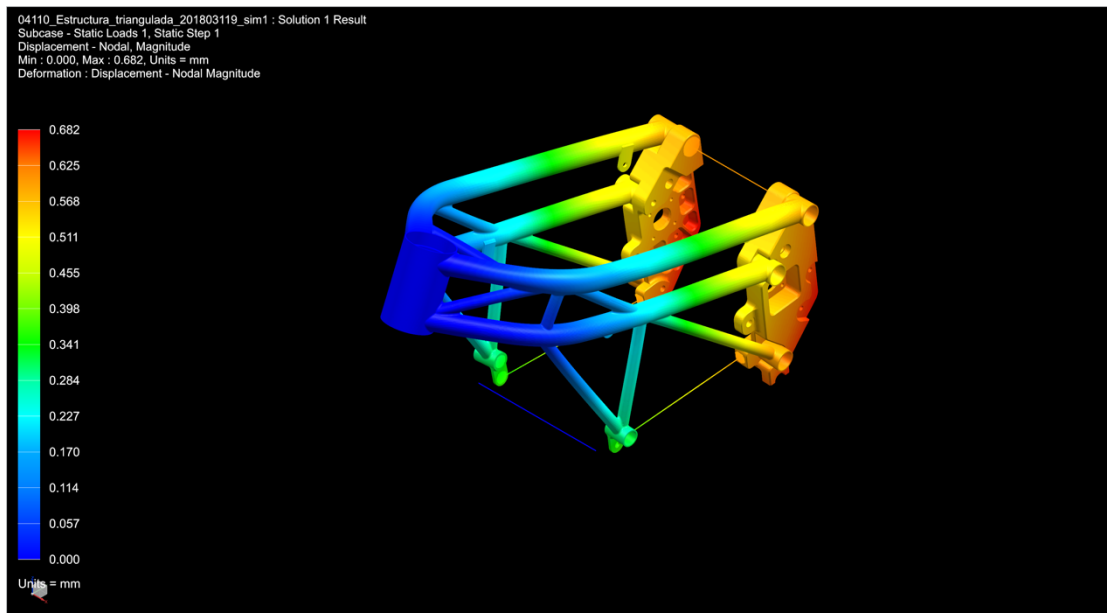


Figura 8.9. Gràfic de contorn dels desplaçaments en condició d'acceleració

- Gràfic de contorn de les tensions

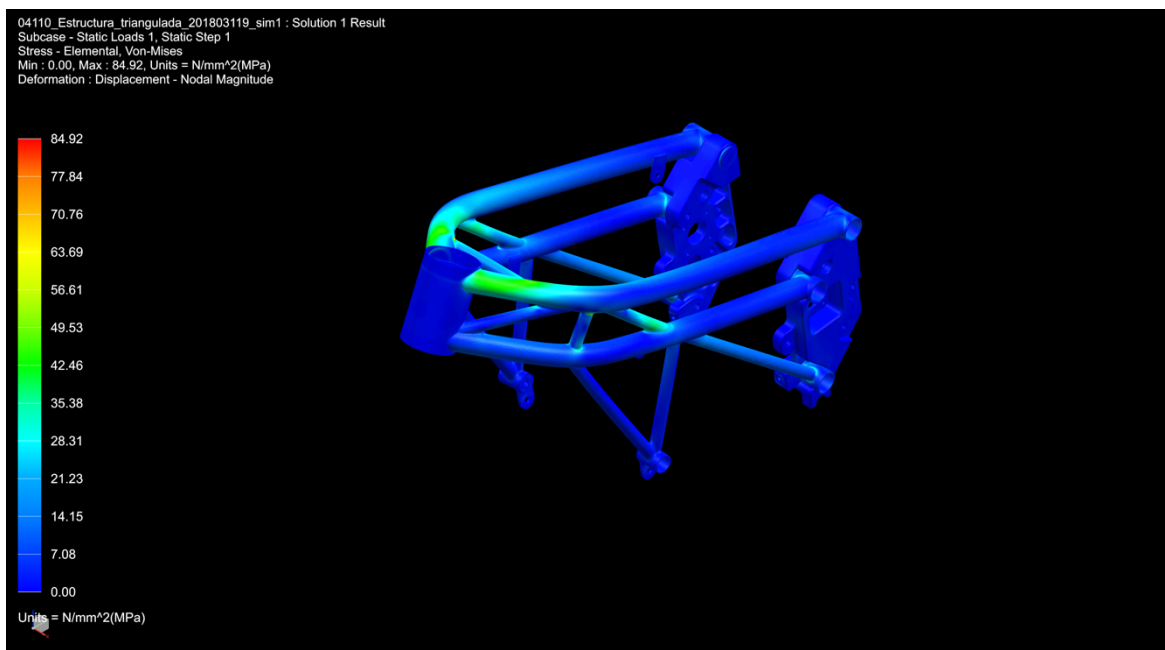


Figura 8.10. Gràfic de contorn de les tensions en el cas d'acceleració

- Mapa de contorn del factor de seguretat.

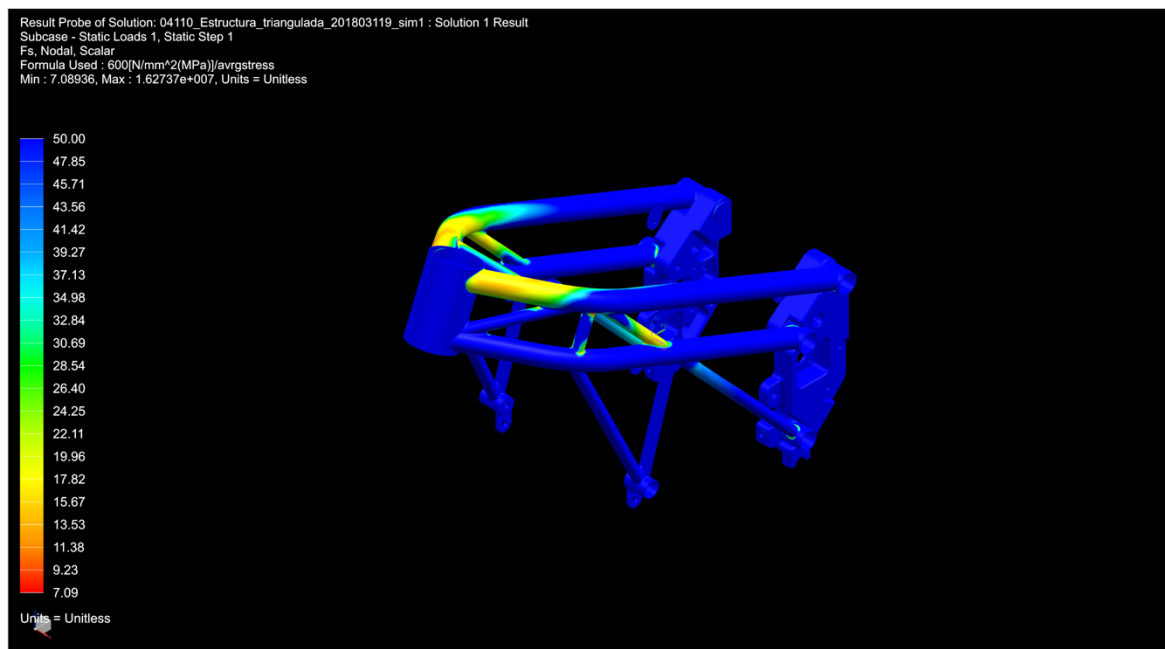


Figura 8.11. Gràfic de contorn amb el factor de seguretat en el cas de d'acceleració

8.1.2.4 Validació de resultats

Finalment s'han de validar els resultats. Primerament comprovem els resultats obtingut amb les diferents malles.

Numero elements	Desplaçament max.(mm)	Error(%)
221295	0,674	1,73
1404193	0,682	

Taula 8.12. Comparació resultats dels diferents mallats

Posteriorment comprovarem que es conservi l'equilibri del cos analitzat. Les forces que apliquem en els punts de sol·licitacions han de ser contrarestades en les reaccions. Per això mesurarem les fores en les reaccions i les compararem amb les forces aplicades.

Component	Força aplicada (N)	Reacció (N)	Error(N)
Z	1947	-1948	1
y	-2160,42	2161	0,59

Taula 8.13. Comprovació de l'equilibri en l'element estudiat

8.1.3 Màxima frenada.

8.1.3.1 Condicions de contorn

Utilitzant els càlculs del capítol 6.2 s'han introduït al programa les següents condicions de contorn:

	Eina utilitzada	Observacions
Restriccions	Fix constrain	S'ha realitzat l'emportament a totes les unions del xassís als baixants al basculant
Elements rígids	RBE2	Simulat tots els eixos i fixacions interns dels components
Càrregues	Bearing	Als allotjaments dels rodaments de la pipa de direcció Cap.6.2.2
Gluing	NO	-
Mesh mating	NO	-

Taula 8.14. Resum de les condicions de contorn

8.1.3.2 Mallat inicial

Un cop definides les condicions de contorn, s'ha realitzat un primer càlcul amb una malla inicial. És una primera aproximació per tenir referències dels valors. Els resultats són els següents:

Elements malla	Desplaçament max (mm)	Tensió max. (MPa)	FS
219742	0,868	229,56	2,46

Taula 8.15. Resum resultats per la màxima acceleració amb la malla inicial

8.1.3.3 Mallat adaptatiu

Posteriorment hem realitzat un procés de malla adaptatiu explicat en l'apartat 8.1.1 d'aquest capítol per obtenir càlculs mes precisos sense incrementa excessivament el cost computacional. Els resultats queden reflectits en la següent taula.

Elements malla	Desplaçament max (mm)	Tensió max. (MPa)	FS
651722	0,879	296,15	2,11

Taula 8.16. Resum resultats per la màxima acceleració utilitzant el mallat adaptatiu

- Gràfica de contorn dels desplaçaments.

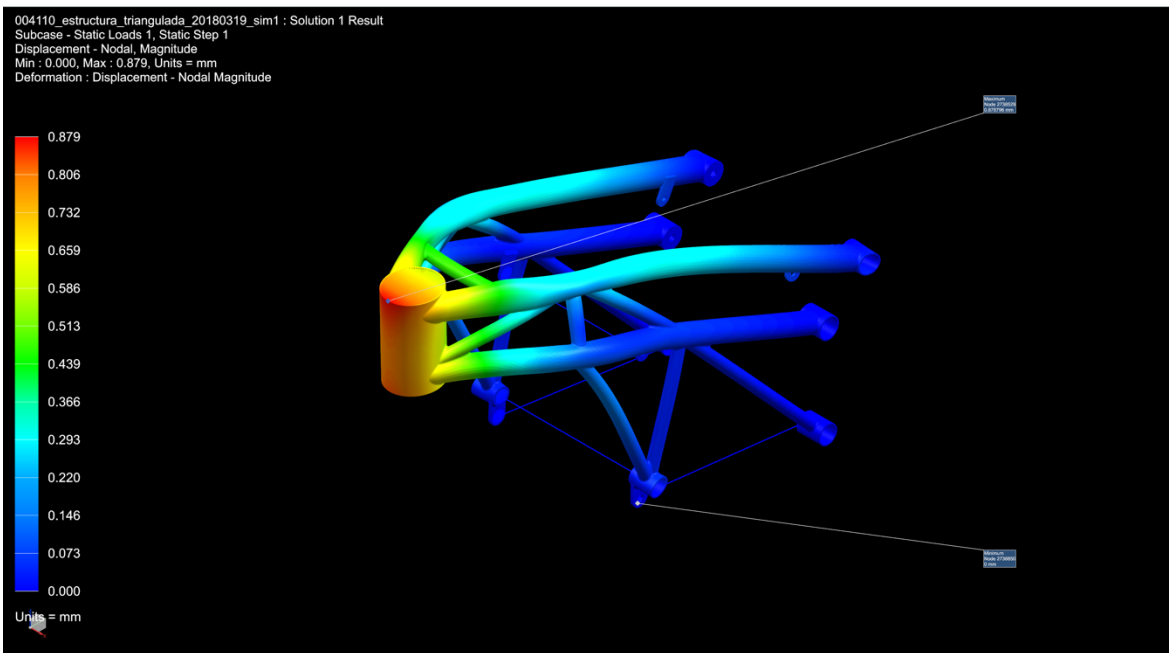


Figura 8.17. Gràfica de contorn dels desplaçaments en el cas de frenada

- Gràfica de contorn de les tensions

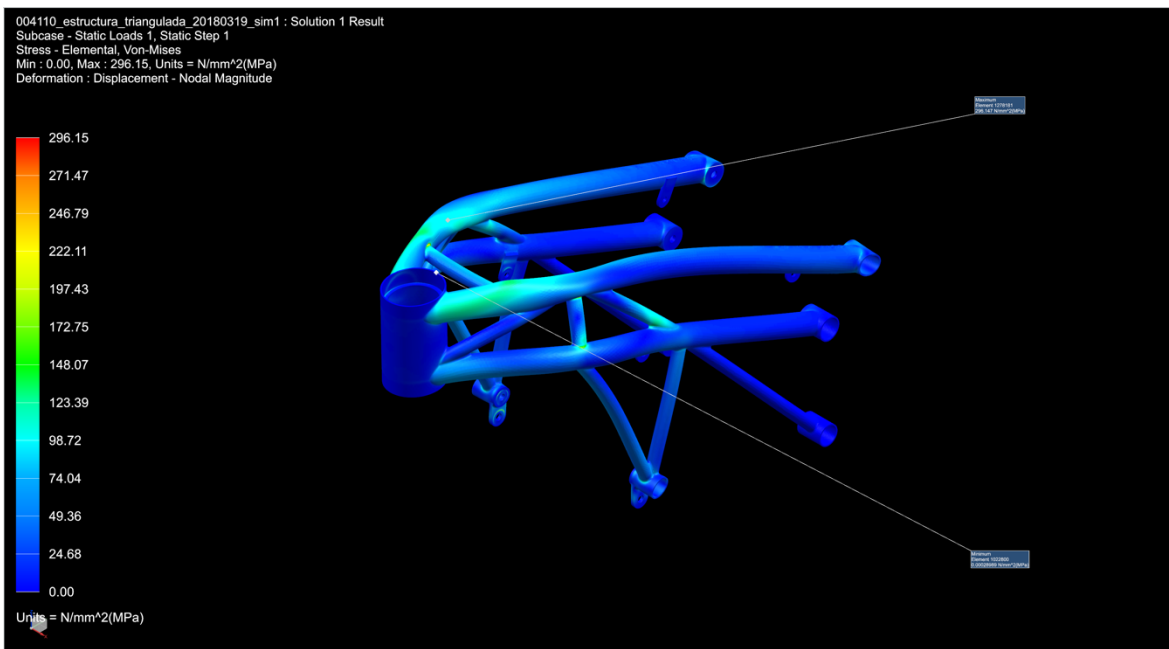


Figura 8.18. Gràfica de contorn de les tensions en el cas de frenada

- Grafica de contorn del factor de seguretat.

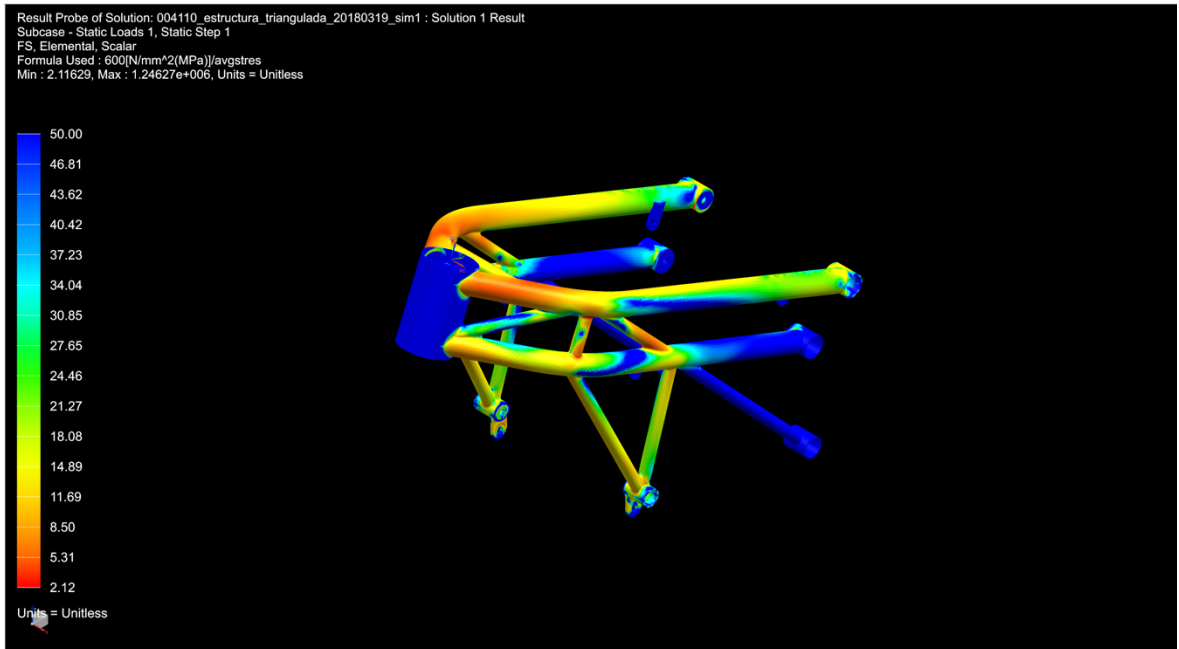


Figura 8.19. Situació de càrrega per determinar la rigidesa lateral (3, Fig.8.55)

8.1.3.4 Validació de resultats

Finalment s'han de validar els resultats. Primerament comprovem els resultats obtingut amb les diferents malles.

Numero elements	Desplaçament max.(mm)	Error(%)
219743	0,868	1,27
651722	0,879	

Taula 8.20. Comparació resultats dels diferents mallats

Posteriorment comprovarem que es conservi l'equilibri del cos analitzat. Les forces que apliquem en els punts de sol·licitacions han de ser contrarestades en les reaccions. Per això mesurarem les fores en les reaccions i les compararem amb les forces aplicades.

Component	Força aplicada (N)	Reacció (N)	Error(N)
Z	645,5	-497,25	148,25
Y	-1157,12	1200,47	43,35

Taula 8.21. Comprovació de l'equilibri en l'element estudiat

8.1.4 Pas per corba

8.1.4.1 Condicions de contorn

Utilitzant els càlculs del capítol 6.2 s'han introduït al programa les següents condicions de contorn:

	Eina utilitzada	Observacions
Restriccions	Fix constrain	S'ha realitzat l'emportament a totes les unions del xassís als baixants al basculant
Elements rígids	RBE2	Simulat tots els eixos i fixacions interns dels components
Càrregues	Bearing	Als allotjaments dels rodaments de la pipa de direcció Cap.6.2.3
Gluing	NO	-
Mesh mating	NO	-

Taula 8.22. Resum de les condicions de contorn

8.1.4.2 Mallat inicial

Un cop definides les condicions de contorn, s'ha realitzat un primer càlcul amb una malla inicial. És una primera aproximació per tenir referències dels valors. Els resultats són els següents:

Elements malla	Desplaçament max (mm)	Tensió max. (MPa)	FS
192279	1,131	287,16	2,67

Taula 8.23. Resum resultats per la màxima acceleració amb la malla inicial

8.1.4.3 Mallat adaptatiu

Posteriorment hem realitzat un procés de malla adaptatiu explicat en l'apartat 8.1.1 d'aquest capítol per obtenir càlculs més precisos sense incrementar excessivament el cost computacional. Els resultats queden reflectits en la següent taula.

Elements malla	Desplaçament max (mm)	Tensió max. (MPa)	FS
1189221	1,195	347,75	1,8

Taula 8.24. Resum resultats per la màxima acceleració utilitzant el mallat adaptatiu

- Gràfic de contorn dels desplaçaments.

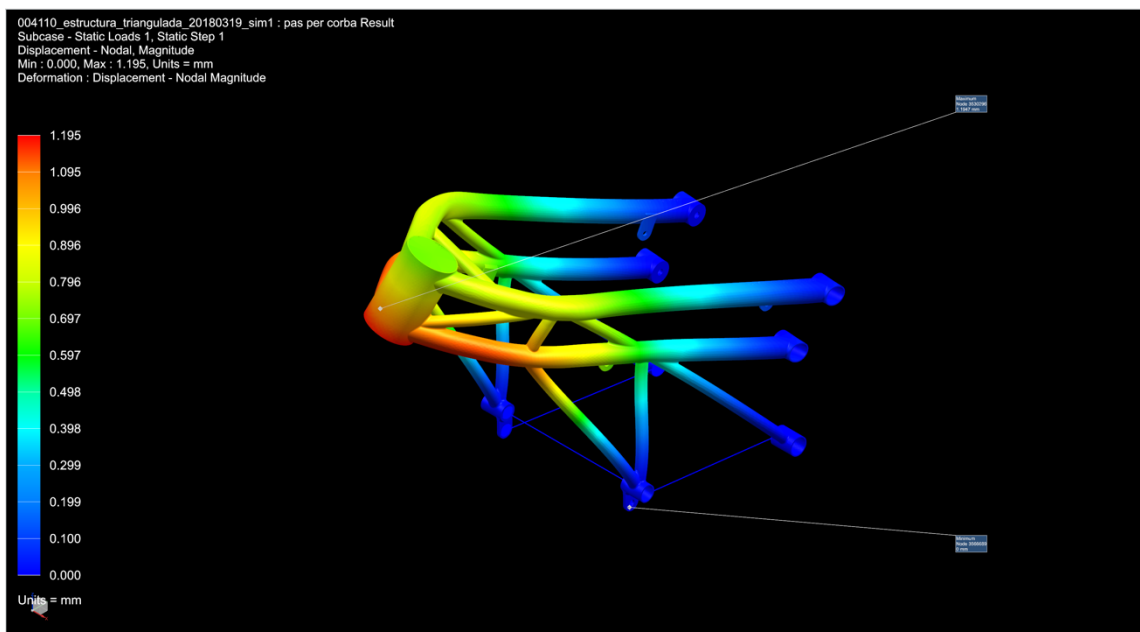


Figura 8.25. Gràfic de contorn dels desplaçaments en el cas de corba

- Gràfica de contorn de les tensions

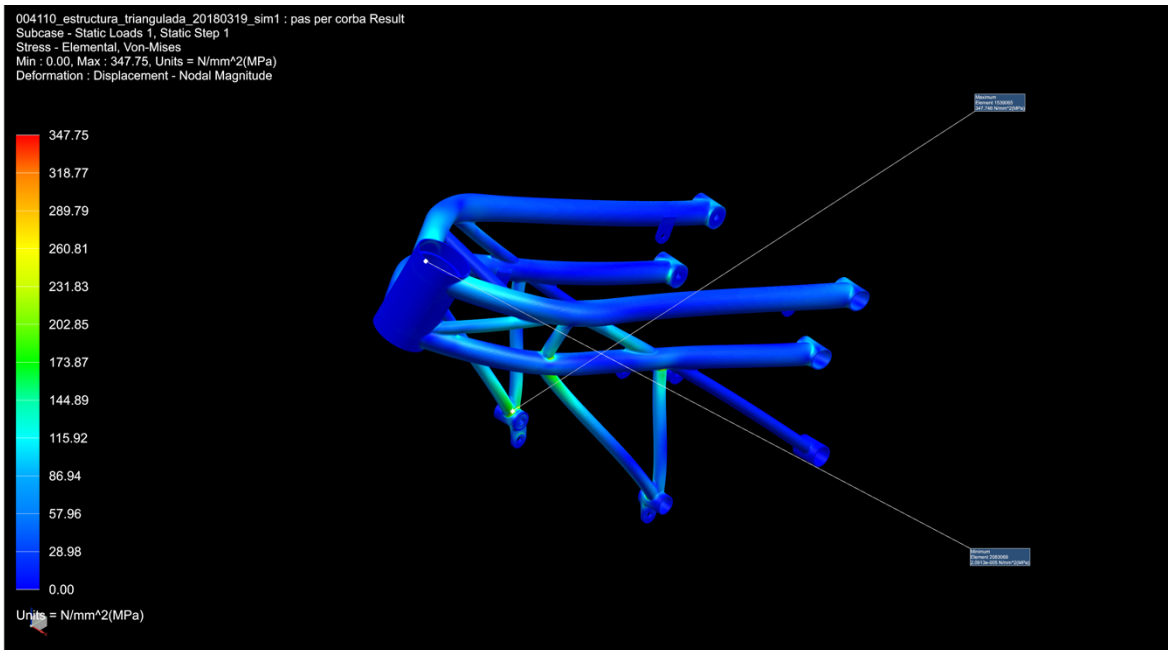


Figura 8.26. Gràfica de contorn de les tensions en el cas de corba

- Mapa de contorn per el factor de seguretat.

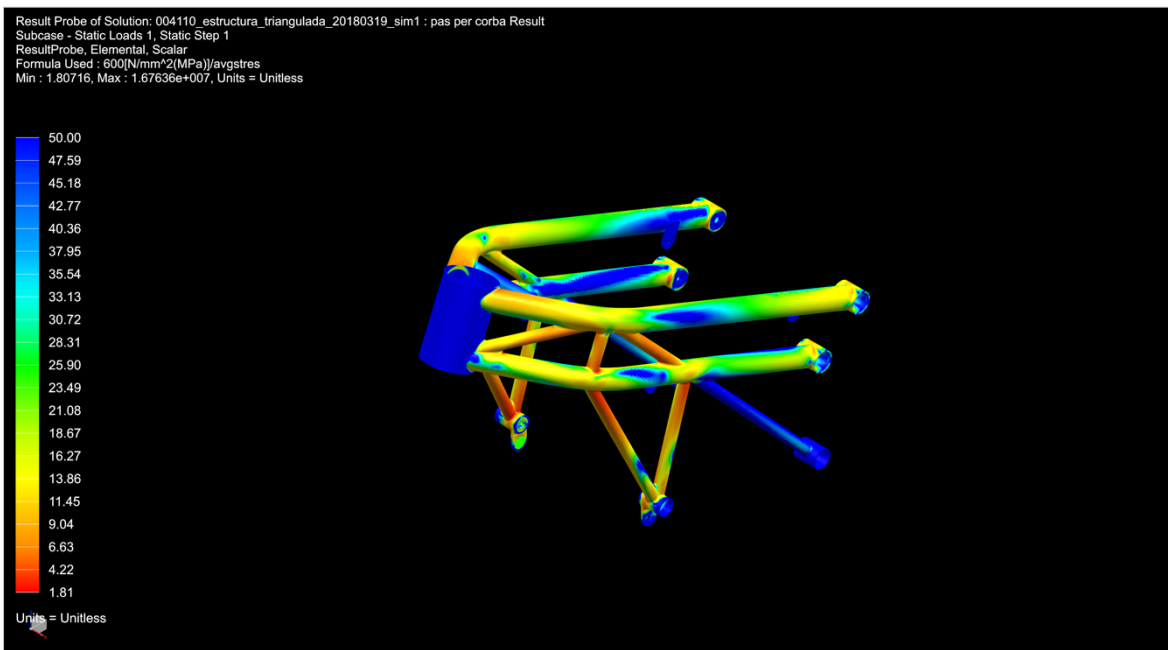


Figura 8.27. Gràfica de contorn del factor de seguretat en el cas de corba

8.1.4.4 Validació de resultats

Finalment s'han de validar els resultats. Primerament comprovem els resultats obtingut amb les diferents malles.

Numero elements	Desplaçament max.(mm)	Error(%)
19279	1,131	5,3
1189221	1,195	

Taula 8.28. Comparació resultats dels diferents mallats

Posteriorment comprovarem que es conservi l'equilibri del cos analitzat. Les forces que apliquem en els punts de sol·licitacions han de ser contrarestades en les reaccions. Per això mesurarem les fores en les reaccions i les compararem amb les forces aplicades.

Component	Força aplicada (N)	Reacció (N)	Error(n)
Z	0	-0,8	0,8
X	-1538,22	1539,61	1,38

Taula 8.29. Comprovació de l'equilibri en l'element estudiat

8.1.5 Estudi de les rigideses.

Per validar la rigidesa utilitzarem el model complet del xassís utilitzant les situacions de càrregues mostrades en el capítol 7.3 Utilitzarem tres valors diferents de càrregues per comprovar que té un comportament lineal i poder extreure un valor més precís de rigidesa.

8.1.5.1 Rigidesa longitudinal

Càrrega	Desplaçament max (mm)	Constant de rígides (KN/mm)
1000N	0,129	7,751
2000N	0,257	7,874
3000N	0,386	7,772

Taula 8.30. Rigidesa longitudinal del xassís dissenyat.

8.1.5.2 Rigidesa lateral

Càrrega	Desplaçament max (mm)	Constant de rígides (KN/mm)
1000N	0,564	1,773
2000N	1,128	1,773
3000N	1,692	1,773

Taula 8.31. Rigidesa lateral del xassís dissenyat.

8.1.5.3 Rigidesa a la torsió

Càrrega	Rotació max (°)	Constant de rígides (KNm/°)
1000Nm	0,167	7,751
2000Nm	0,334	7,874
3000Nm	0,500	7,772

Taula 8.32. Rigidesa a la torsió del xassís dissenyat

8.1.5.4 Comparació de les rigideses obtingudes.

	Rigidesa Model Simplifica	Rigidesa Model 3D
Rigidesa longitudinal (KN/mm)	7,633	7,8
Rigidesa lateral (KN/mm)	2,028	1,773
Rigidesa a la torsió (KNm/°)	4,587	7,772

Taula 8.33. Comparació rigideses obtingudes amb el model simple i em el complet.

S'observa com el model simplificat te algunes carències respecte el model complet. De totes maneres, els paràmetres estan dintre dels límits fixats en termes de rigidesa obtenint un pes de tan sols 7,4Kg. Aquestes variacions poden ser degudes a que en el model senzill no caracteritza correctament la geometria de l'estructura.

CAPÍTOL 9: CÀRREGUES TRANSITÒRIES

En aquest capítol s'estudiaran les càrregues en funció del temps que estarà sotmès el nostre xassís. Estudiarem una part del circuit de Motorland (Annex A.4) concretament la corba 16 i 17 la recta que uneix la corba 17 amb la 1 i finalment la corba 1. Per trobar aquestes càrregues s'ha utilitzat el model de la motocicleta en corba explicat en el capítol 4 i el model motocicleta en recta en el capítol 5. Amb aquests models s'han trobat les forces externes i posteriorment s'ha fet la translació de forces al xassís (capítol 6.2) individualment per cada cas per posteriorment posar-ho en comú.

9.1 Càrregues transitòries en corba

Per trobar les càrregues transitòries, s'ha creat un programa amb Matlab® (veure Annex A.2) amb base al programa de pas límit per corba (veure Annex A.1).

Inicialment el model utilitzat en el capítol 4 és per modelitzar la corba en condicions estacionàries, el que s'ha realitzat en aquest programa ha sigut desratitzar la corba donada, en tants punts com graus d'inclinació de la moto, en el cas de la corba 1, 54 graus en la fase d'entrada de la corba i 53 en la fase de sortida de la corba. S'ha estudiat cada grau d'inclinació per separat tenint en compte les següents suposicions:

- El pas per tota la corba es constant i serà la calculada coma límit físic de pas amb el programa de l'annex A.1.
- Tot i no ser real es suposa que el grau d'inclinació és constant, per cada certs radians de corba s'inclina un grau la motocicleta. Això es fa d'aquesta manera ja que no es tenen dades reals de pilotatge i per els estudis que es realitzen es una simplificació a nivell de càlcul i que com a base per estudia el pas per corba ja compleix amb l'objectiu de crear una base per quant s'obtinguin aquets resultats experimentalment.
- El centre instantani de la rotació només coincideix amb el de la corba en el vèrtex de la mateixa, en el moment de màxima inclinació.

Per tant per la creació del programa s'ha seguit la següent estructura:

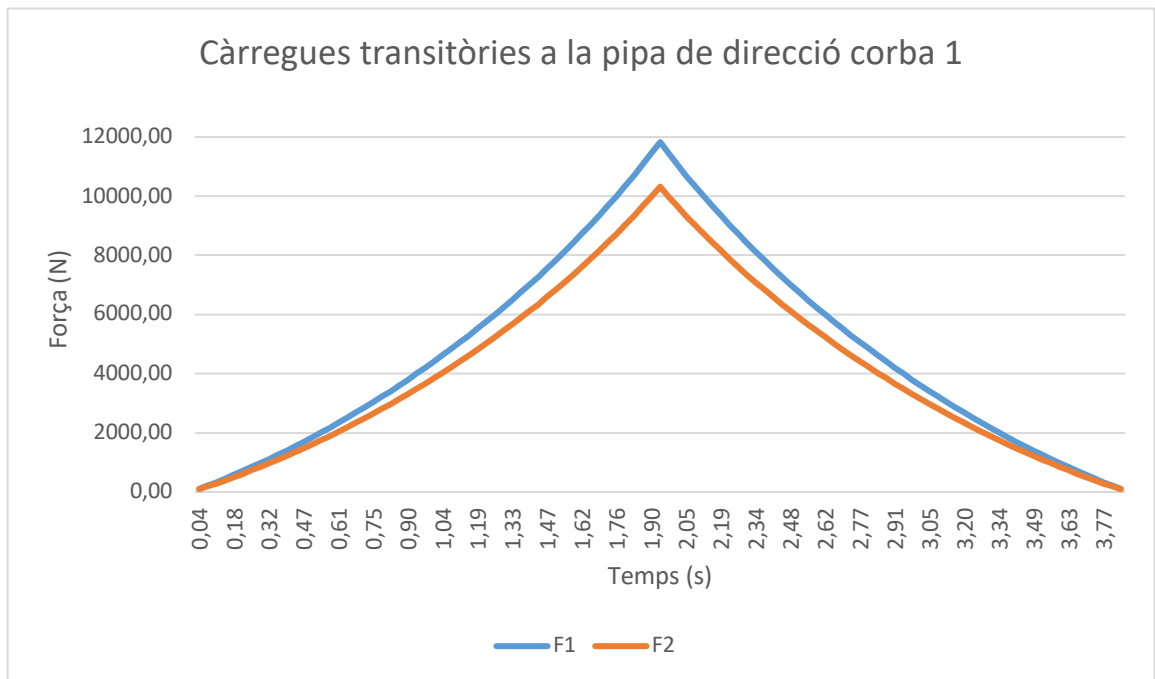
1. Mitjançant el programa de l'annex A.1 explicat en el capítol 4. Trobarem la velocitat límit de pas per les corbes seleccionades i l'angle d'inclinació màxima.
2. S'ha desratitzat la corba com tants graus d'inclinació ha de fer la moto diferenciant l'entrada de la corba i la sortida. Cada punt de la corba esta associat a un grau d'inclinació φ .
3. Necessitem obtenir el radi de gir per un grau d'inclinació donat. Però sabem que el pas per corba es a velocitat constant i determinada. Per tant mitjançant el mètode de la bisecció

iterativament provarem fins a trobar el radi de corba que donada un grau d'inclinació φ obtinguem la velocitat de pas obtinguda en el punt 1 fixant un error com a criteri d'aturada. (16, Cap.5.2)

- Finalment el programa ens retornarà totes les variables explicades en el capítol 4 ordenades i classificades.

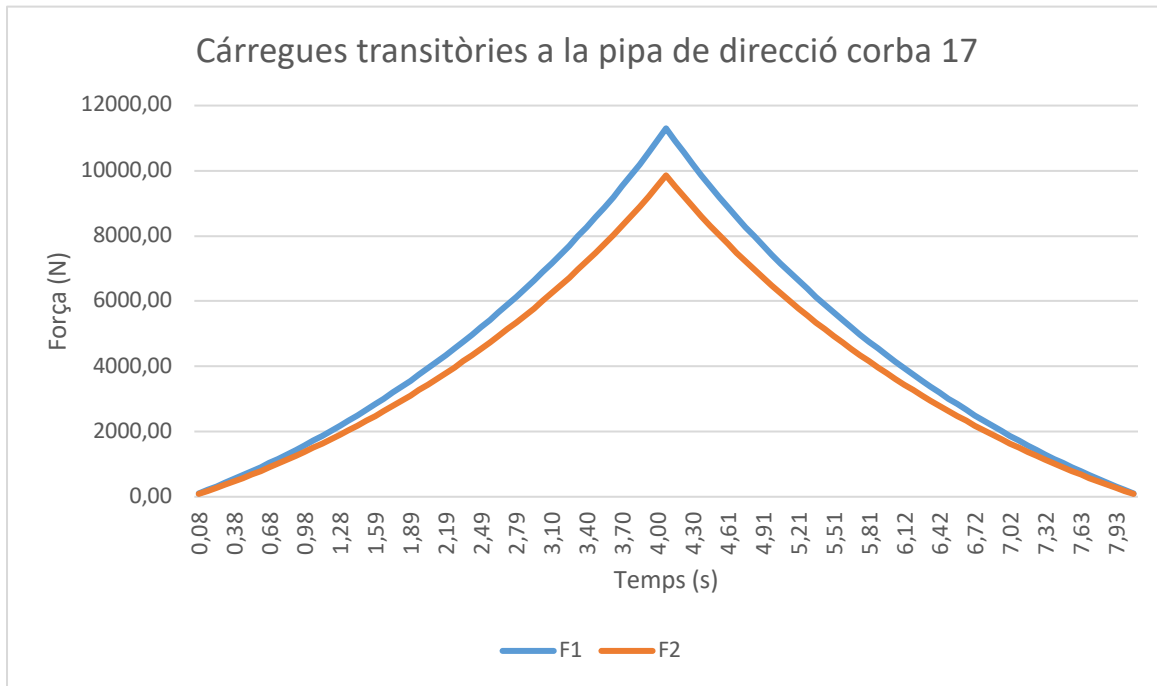
Finalment de les dades obtingudes ens quedarem amb la Força normal a la roda davantera N_f i la força lateral a la roda davantera F_{sf} i les tractarem amb les equacions plantejades en el capítol 5.2.3 per trobar les forces equivalents a la pipa de direcció.

Les dades obtingudes respecte la corba 1 del circuit de Motorland Annex A.9 queden representades en la següent gràfica:



Gràfic 9.1. Càrregues transitòries a la pipa de direcció en la corba 1

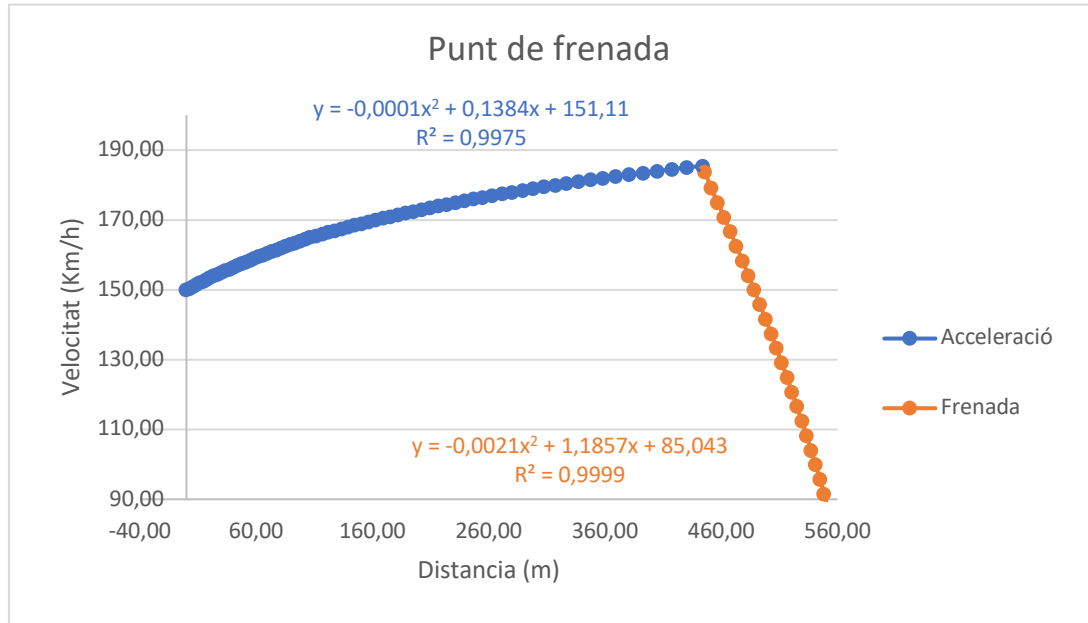
Igualment respecte les dades de la corba 17 del circuit de Motorland Annex A.9 a continuació s'observa com queden representades:



Gràfic 9.2. Càrregues transitòries a la pipa de direcció en la corba 17

9.2 Càrregues transitòries en recta

En el cas de càrregues transitòries en recta, s'ha utilitzat un model creat per Pau Llanes i Ivan Calderero, encarregats del disseny de la caixa de canvis de la ePRO1. Les bases d'aquest model estan explicades en el capítol 4. S'ha diferenciat la recta en el tram d'acceleració i el tram de frenada. Per trobar el punt de frenada s'ha utilitzat les equacions en situació de frenada com a punt inicial la corba 1 i les d'acceleració en la corba 17. Es sap la velocitat d'entrada de la corba 1 i la de sortida de la 17, també sabem que la longitud de la recta és de 555,2 m. S'igualen les equacions i trobem el punt de frenada i la velocitat màxima en la recta d'arribada.

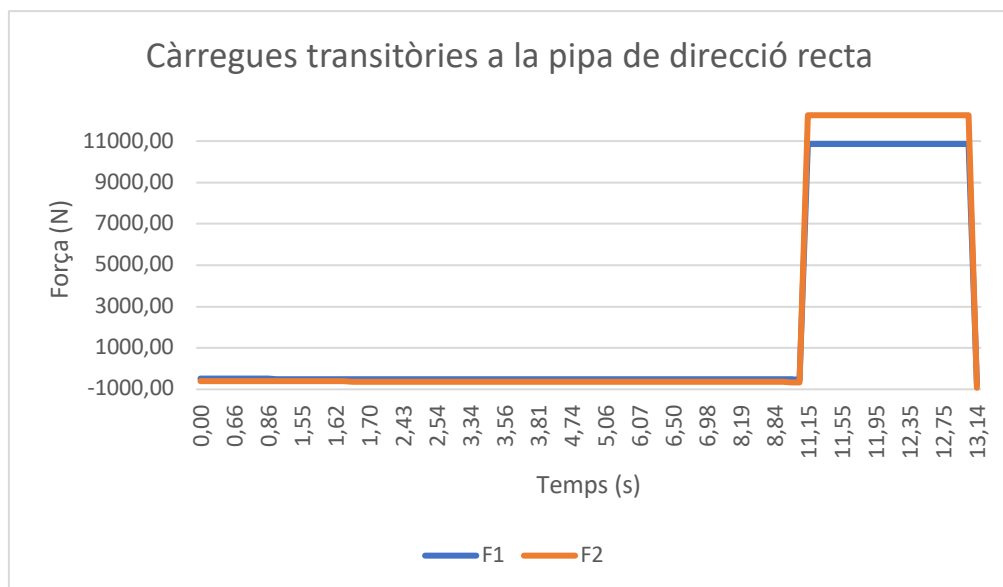


Gràfic 9.3. Punt de frenada recta de meta de Motorland.

Punt de frenada	450	V max	185,5
-----------------	-----	-------	-------

Taula 9.4. Punt de frenada i velocitat màxima de la recta de meta de Motorland.

Finalment i mitjançant les dades de l'annex A.8 i les equacions del capítol 6.2 obtenim el transitori de forces en la pipa de direcció en tota el tram de recta.



Gràfic 9.5. Forces a la pipa de la direcció en el tram de recta.

CAPÍTOL 10: ANÀLISI DINÀMIC

En aquest capítol s'estudiarà el comportament del xassís en càrregues dinàmiques. Primerament es farà una anàlisi modal i posteriorment amb els models explicats en els capítols 5 i 6 es portarà a terme una anàlisi estructural transitòria d'una part del circuit de Motorland.

10.1 Anàlisi modal

Realitzarem una anàlisi modal per trobar les freqüències naturals de l'estructura. Aquestes dades a mes ens serviran de valor inicial per l'anàlisi transitori.

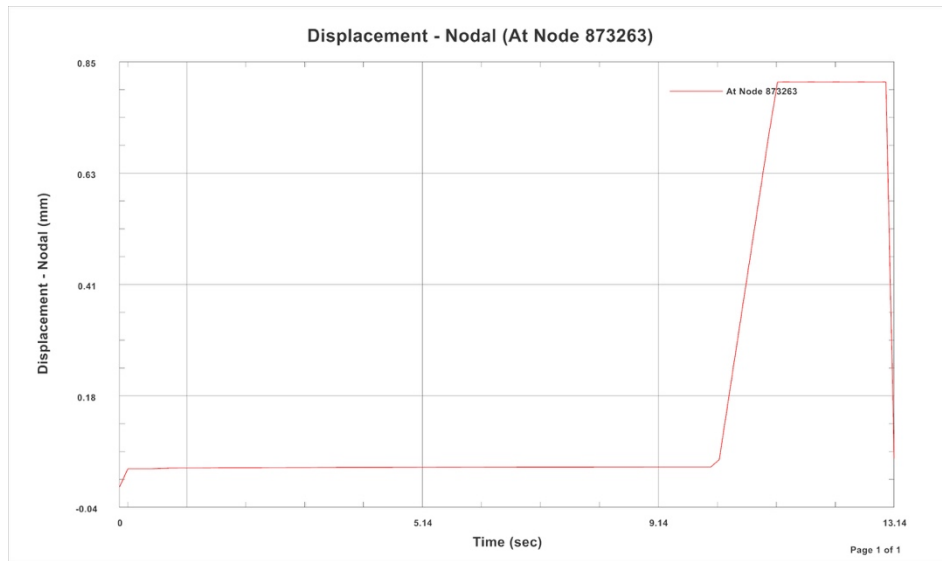
Modo	Frecuencia(Hz)	Desplazamientos(mm)	Tensiones(MPa)
1	82,4	0,502	51,4
2	149,8	0,97	75,08
3	170,1	2,05	199,9
4	171,6	2,37	200,0
5	309,3	0,78	173,4
6	373,0	0,78	213,0
7	444,5	0,79	269,8
8	587,6	0,73	306,8
9	648,0	1,46	468,7
10	674,1	1,10	476,4

Taula 10.1. Taula amb els resultats de l'anàlisi modal de freqüències

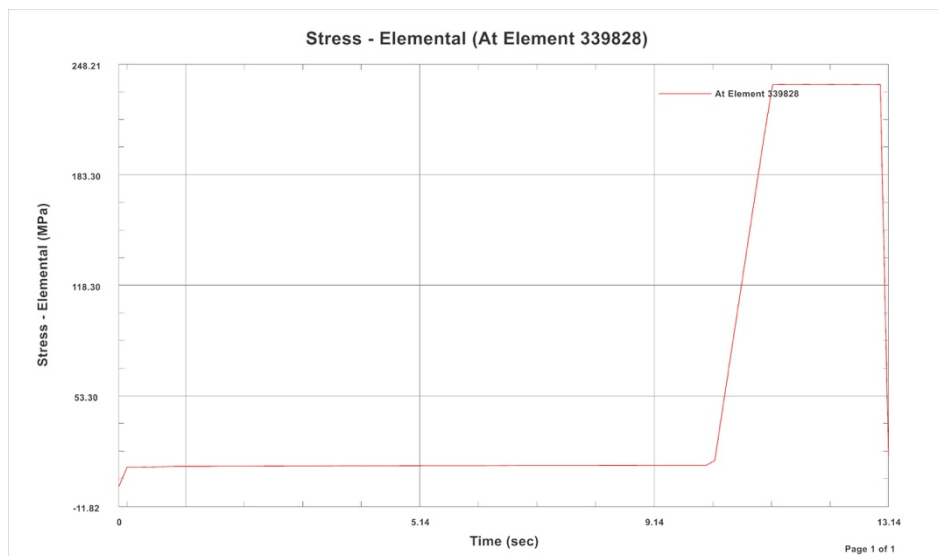
10.2 Anàlisi transitori

A continuació es mostren els resultats de la anàlisi transitori amb els càrregues explicades en el capítol 9. N'obtidrem les acceleracions màximes de l'estructura i les tensions màximes de l'estructura. Per la real (16)

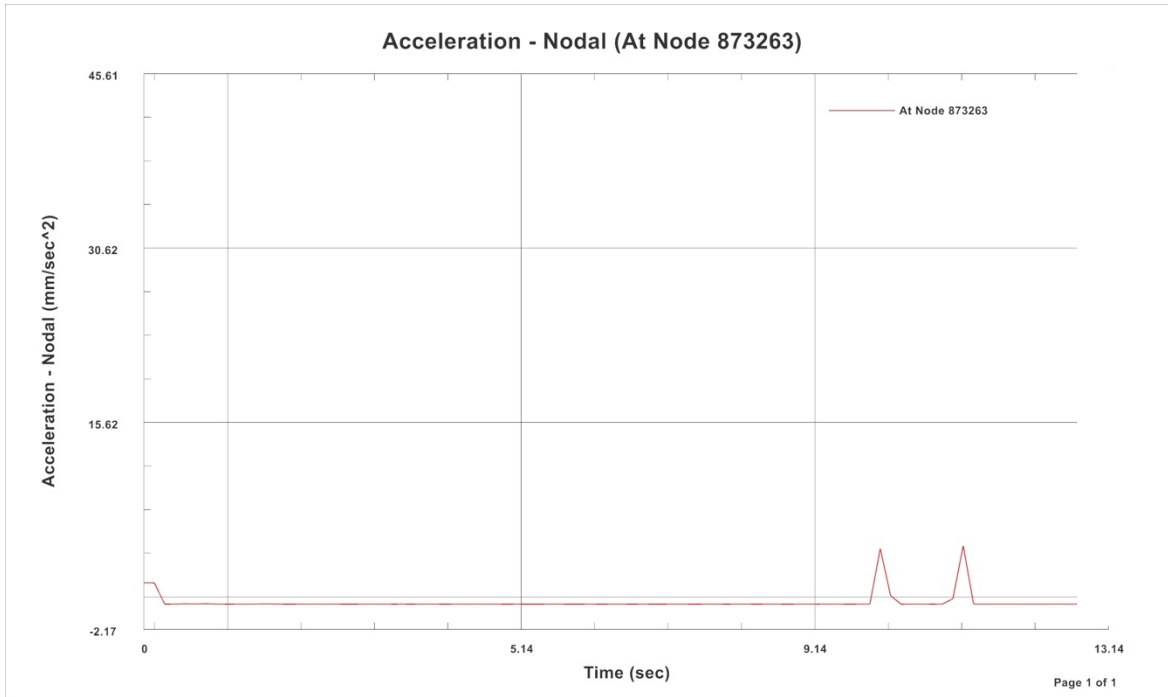
10.2.1 Tram recta de meta



Gràfic 10.2. Desplaçaments en el transitori de la recta de meta.

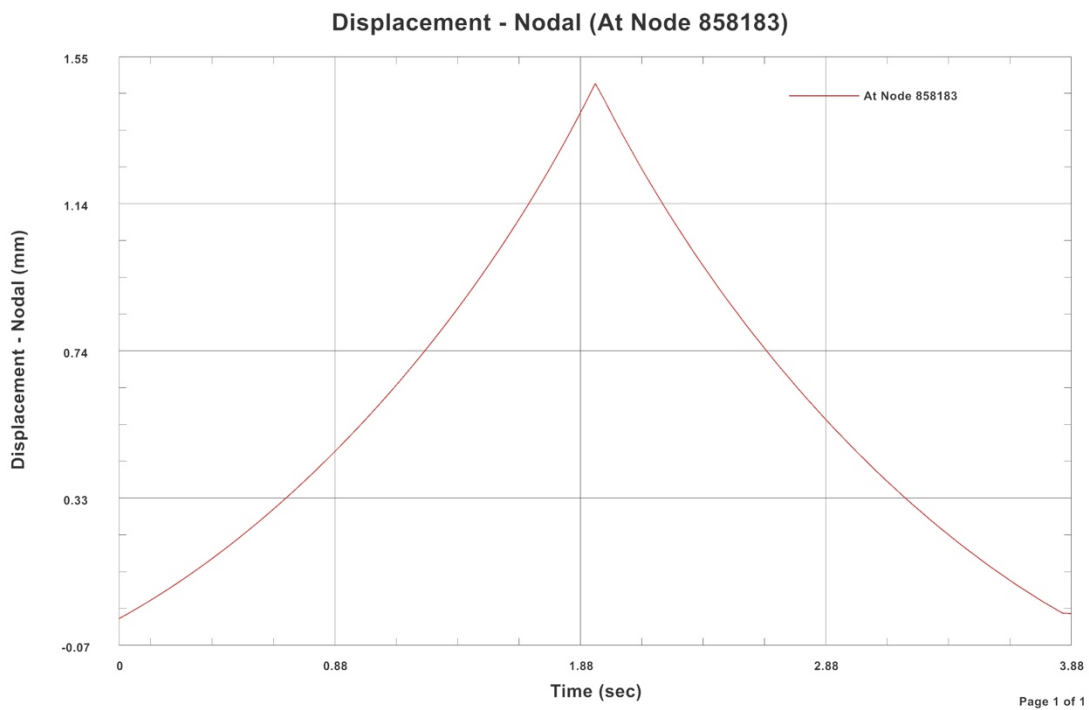


Gràfic 10.3. Tensions en el transitori de la recta de meta.

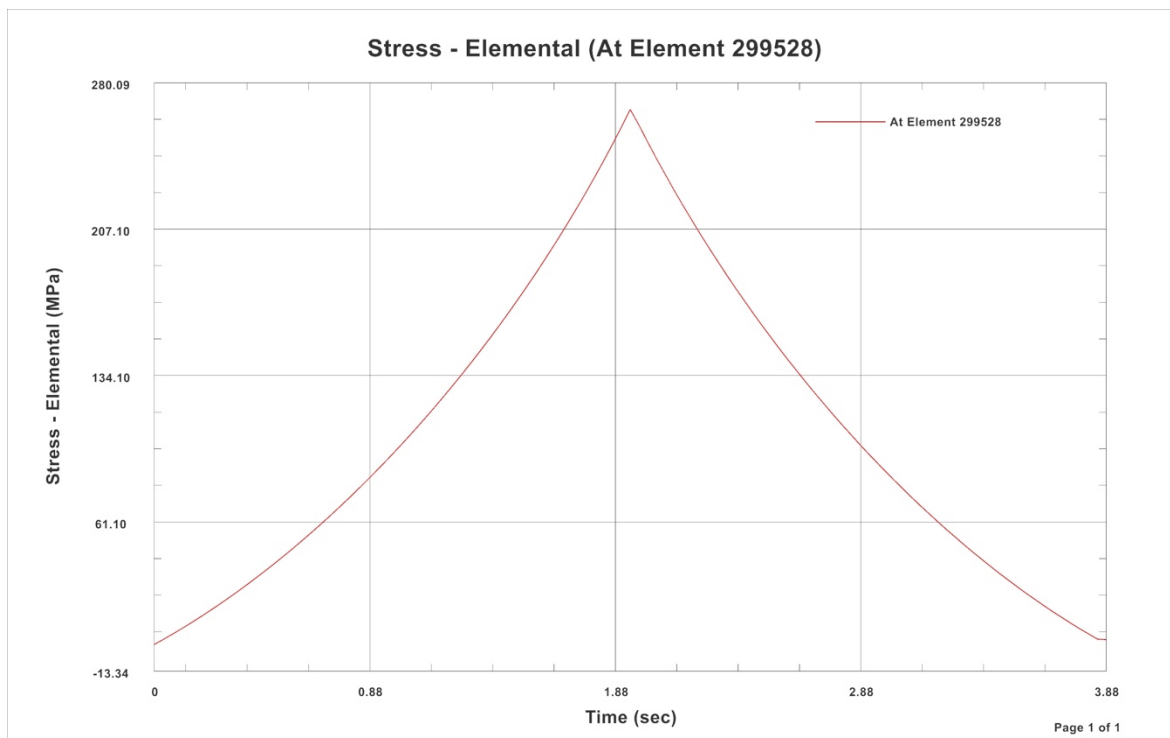


Gràfic 10.4. Acceleracions en el transitori de la recta de meta.

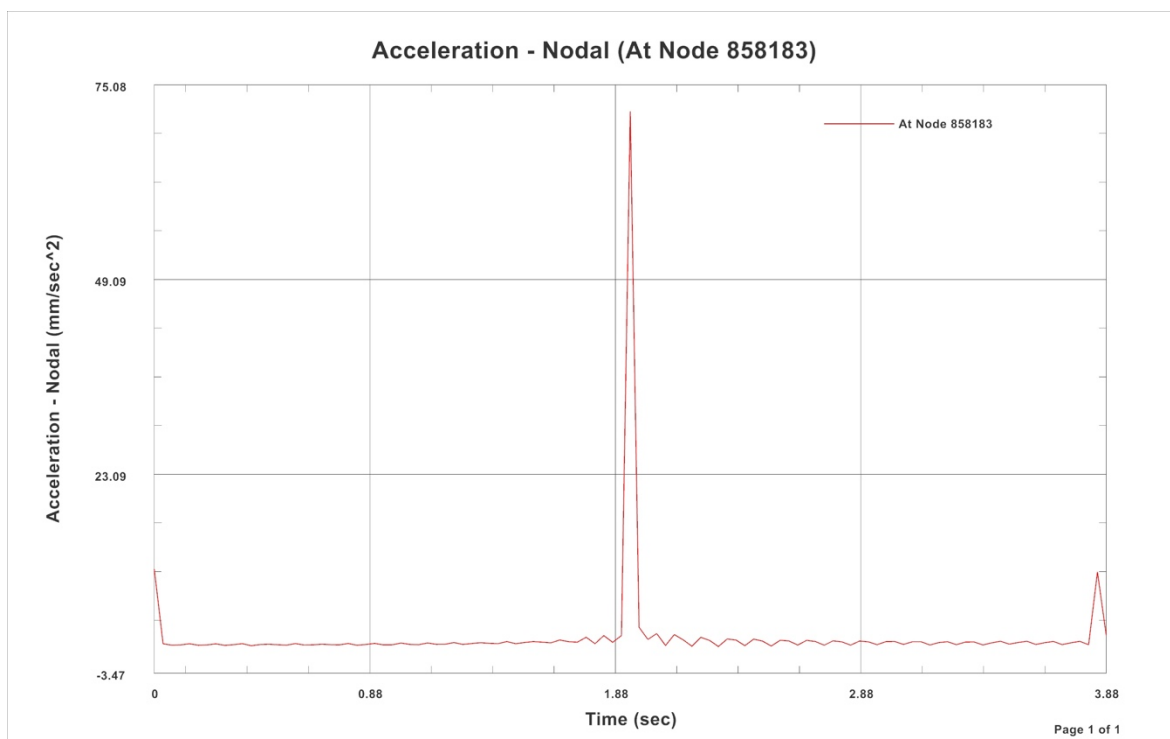
10.2.2 Tram corba 1



Gràfic 10.5. Desplaçaments en el transitori de la corba 1.



Gràfic 10.6. Tensions en el transitori de la corba 1.



Gràfic 10.7. Acceleracions en el transitori de la corba 1.



Conclusions

D'aquest treball intenta crear una base per l'equip, per els futurs dissenys tot proposant eines per aprofundir en la optimització i la validació d'aquest disseny. Tot aquest treball s'ha exposat de manera teòrica, en un període breu de temps tot el reflectit en aquest treball s'ha de validar en pista. A més de tests per validar dades concretes com la rigidesa.

El model simplificat per a la obtenció de una rigidesa adequada amb el mínim pes possible te certes mancances, sobretot en modelar la rigidesa a la torsió. Tot i que es un bon punt de partida que ens ha portat a bon port aquest s'hauria de millorar utilitzant mes barres en les zones singulars com les curvatures i així poder modelar millor en aquestes zones.

L'anàlisi estàtic es una excel·lent manera de validar aquest disseny, de totes maneres s'ha volgut indagà en el camp dinàmic. Aquest anàlisi es molt costos computacionalment parlant, això fa que en lloc de simular trams grans com els presentats en el treball es millor centrar-se allà on hi ha singularitats.

Finalment, per a propers treballs veig adient introduir tota la part de modelització de la rugositat de la carretera, per veure com aquest afecta a les sol·licitacions del xassís (18)(19).



Pressupost i/o Anàlisi Econòmica

Enginyeria

	hores	Preu hora	
Documentació i recerca	30,00	40,00	1.200,00 €
Programa V. Max corba	160,00	60,00	9.600,00 €
Programa carreges transitòries	110,00	60,00	6.600,00 €
Selecció de perfils	40,00	60,00	2.400,00 €
Disseny	150,00	60,00	9.000,00 €
Anàlisi estàtics	80,00	70,00	5.600,00 €
Anàlisi dinàmics	130,00	70,00	9.100,00 €
Creació de la documentació	60,00	40,00	2.400,00 €

Elements de fixació

	unitats	preu unitari	
M5x25 DIN912	10,00	0,17	1,66 €
M10X25 DIN6921	10,00	0,94	9,36 €
M6X25 DIN912	4,00	0,21	0,82 €
M8X20 DIN6921	4,00	0,26	1,03 €
M8 DIN6923	6,00	0,09	1,54 €
M8X16 DIN912	2,00	0,30	0,59 €

Materials

	unitats	preu unitari	
Al 6082 148x72x296	8,52	5,17	44,05 €
Al 6082 148x72x273	7,86	5,17	40,64 €
Tub Al 6082 D35xd31	0,19	3,20	0,61 €
Al 7075 62x62x24	0,25	5,17	1,29 €
Al 7075 D24x23	0,03	5,17	0,14 €
25CrMo4 D30XD26	5,40	9,50	51,30 €
Domex steel sheets	0,02	18,27	0,37 €
Aceró D12*210	0,19	4,57	0,85 €
AL 7075 (xapa)	0,06	5,17	0,31 €
Aceró D12*210	0,19	2,00	0,37 €

Serveis

	hores	preu hora	
Mecanitzat	9,00	55,00	495,00 €
Soldadura	5,00	40,00	200,00 €

Total 46.749,94 €

Bibliografia

1. Moto Engineering Fundation. Reglamento V Competición Internacional MotoStudent. A: [en línia]. 2018, p. 158. Disponible a: www.motostudent.com.
2. Foale, T. *Motorcycle Handling and Chassis Design art and science*. 2on editio. 2006. ISBN 8493328634. DOI 10.1017/CBO9781107415324.004.
3. Bradley, J. *The racing motorcycle : a technical guide for constructors*. 1996. ISBN 9780951292921.
4. Cossalter, V. *MOTORCYCLE DYNAMICS*. 2006. ISBN 9781447532767.
5. Cossalter, V., Lot, R. i Tavernini, D. Optimization of the centre of mass position of a racing motorcycle in dry and wet track by means of the «Optimal Maneuver Method». A: *2013 IEEE International Conference on Mechatronics, ICM 2013*. 2013, núm. February, p. 412-417. DOI 10.1109/ICMECH.2013.6518572.
6. Luttgens, K Wells, K.F. *Kinesiology: Scientific basis of human motion*. 7th. 1982. ISBN 9780721692180.
7. Cossalter, V., Lot, R. i Peretto, M. Steady turning of motorcycles. A: *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*. 2007, Vol. 221, núm. 11, p. 1343-1356. ISSN 09544070. DOI 10.1243/09544070JAUTO322.
8. Cossalter, V., Doria, A. i Lot, R. Steady Turning of Two-Wheeled Vehicles. A: *Vehicle System Dynamics* [en línia]. 1999, Vol. 31, núm. 3, p. 157-181. ISSN 0042-3114. DOI 10.1076/vesd.31.3.157.2013. Disponible a: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1076/vesd.31.3.157.2013>.
9. Donadio, R. Motorcycle Cornering Behaviour Modelling. A: *SAE-A Vehicle Technology Engineer-Journal*. 2015, Vol. 1, núm. 1.
10. BEER, P., JOHNSTON, E.R.J. i CORNWELL, J. *MECÁNICA VECTORIAL PARA INGENIEROS: DINÁMICA*. 9ª. 2010. ISBN 9786071502612.
11. Pacejka, H.B. *Tire and vehicle Dynamics* [en línia]. 2012. ISBN 9780080970165. DOI 10.1016/B978-0-08-097016-5.01001-9. Disponible a: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780080970165010019>.
12. Colomer, J. *Diseño de un chasis de motocicleta de competición tipo Moto3 con un sistema de regulación de la rigidez lateral* [en línia]. Universitat politècnica de catalunya, Disponible a: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/101138>.
13. Fernández Cels, J. *Canvis de marxes*. Edicions UPC, 1991.
14. Mashadi, B. i Crolla, D. *Vehicle Powertrain Systems*. Wiley, 2011. ISBN 9780470666029. DOI 10.1002/9781119958376.
15. Bradley, J. *The racing motorcycle : a technical guide for constructors-Volume 2*. 2003. ISBN 0 9512929 3 5.

16. Goncharov, P., Artamonov, I. i Khalitov, T. *Engineering Analysis with NX Advanced Simulation*. 2003. ISBN 9781483417318.
17. Sarrate-ramos, J. i Rodríguez-ferran, A. Introducción , aplicaciones y propagación Antonio Huerta Cerezuelo. A: *Fortran*. ISSN 8483012650.
18. Múčka, P. Simulated Road Profiles According to ISO 8608 in Vibration Analysis. A: *Journal of Testing and Evaluation* [en línia]. 2018, Vol. 46, núm. 1, p. 20160265. ISSN 00903973. DOI 10.1520/JTE20160265. Disponible a: <http://www.astm.org/doiLink.cgi?JTE20160265>.
19. Gorges, C., Öztürk, K. i Liebich, R. Road classification for two-wheeled vehicles. A: *Vehicle System Dynamics* [en línia]. 2017, Vol. 3114, núm. January, p. 1-26. ISSN 17445159. DOI 10.1080/00423114.2017.1413197. Disponible a: <https://doi.org/10.1080/00423114.2017.1413197>.

Annex A

A1. Programa pas límit per corba

```

2  %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
3  % Vangular_max_corbes_motorland TFG          Ultima modificaci√≥:
   20/1/18
4  % Autor:Joan Ferrao Genesc√†
5  %
6  %
7  %
8  % Descripci√≥: Realitza el calcul de S Fsf Fsr Nf Nr omega lanr lanf
   kin
9  % introduint l'angle de direccio delta i mitjan√†ant un proces
   iteratiu
10 % troba el roll angle (phi) i la velocitat angular maxima per tra√†ar
11 % al limit pel lliscamenten amb convergencies de
12 % l'error de 10e-10
13 %
14 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
15
16 clear all
17 close all
18 clc
19 format long
20 %% Parametres motocicleta
21
22 epsilon=22.5*2*pi/360;    %Castor angle (rad)
23 p=1.285;                  %Batalla moto (m)
24 b=0.62301;                %Eix posterior to CoG (m)
25 h=0.62391;                %altura to Cog(m)
26 d=0.0326;                 %offset tijas (m)
27 m=60.5+138;               %massa pilot + massa moto (kg)
28 rof=0.2424;               %Radi del cercle central del toroide del
   pneumatic(m)
29 Rf=0.288;                  %Radi extern roda davantera
30 tf=0.0456;                %Radi de la seccio del toroide del
   pneumatic davanter(m)
31 ror=0.2412;                %Radi del cercle central del toroide del
   pneumatic posterior(m)
32 Rr=0.30065;               %Radi extern roda posterior (m)
33 tr=0.0594;                %Radi de la seccio del toroide del
   pneumatic posterior (m)
34 g=9.81;                   %Constant grabitatoria (m/s^2)
35 Klanr=17.5;               %Coeficient de cornering stiffness roda
   posterior (rad^-1)

```

```

36 Kphir=1.1; %Coeficient camber stiffnes roda
    posterior(rad^-1)
37 Klanf=17.5; %Coeficient de cornering stiffness roda
    davantera(rad^-1)
38 Kphif=1.1; %Coeficient camber stiffnes roda
    davantera(rad^-1)
39 Ixg=21.1468; %Moment d'inercia de la moto de l'eix X i
    el seu CoG(kg*m^2)
40 Iyg=6.0696; %Moment d'inercia de la moto de l'eix Y i
    el seu CoG(kg*m^2)
41 Izg=16.5288; %Moment d'inercia de la moto de l'eix Z i
    el seu CoG(kg*m^2)
42 Ixzg=0.0881; %Producte d'inercia de la moto en el pla X-
    Z i el seu CoG(kg*m^2)
43 Iwf=0.239; %Inercia rotacional roda davantera(kg*m^2)
44 Iwr=0.317; %Inercia rotacional roda posterior(Kg*m^2)
45 den=1.226; %Densitat aire (kg/m^3)
46 Cd=0.44; %Coeficient de drag aerodinamic
47 A=0.49; %Area frontal de la moto (m^2)
48 mu=1.4; %coefficeient de friccio del pneumatica amb
    el terra
49 Ffre=0; %For $\hat{O}$  $\Omega$ a frenada
50
51 %% (m) Vector radis corba circuit
52 Rcr=[58 151.8 157.8 231.5 55.6 233 55.9 73.5 34 166.7 123.4 685.7
    60.3 144.5 54.3 49.4 130.2];
53 %% (m/s) Vector velocitat maxima corba
54
55 V=[26 42 43 52 25 52 25 29 20 44 38 89 26 41 25 24 39];
56 %% (deg->rad) Vector angles corba circuit
57
58 angRcr=[106.8 83.3 69 52.6 112.7 65.3 99.6 80.4 121.9 60.8 74.6 25.4
    95 80.6 83.1 101.94 149.5];
59
60 for n=1:length(Rcr)
61
62 ci=2;
63
64
65 %% Valors inicialment assumits
66
67 S(n)=1;
68 Fsf(n)=1;
69 Fsr(n)=1;
70 Nf(n)=0;
71 Nr(n)=0;
72 lanf(n)=0; % (rad) Valor inicialment assumit de l'sideslip angle
    davanter
73 lanr(n)=0; % (rad) Valor inicialment assumit de l'sideslip angle
    posterior
74 kin(n)=0; % (rad) Valor inicialment assumit del kinematic
    angle

```



```

75 Om(n)=V(n)/Rcr(n);    % (rad/s) velociatat angular al punt de contacte
    roda posterior
76 phi(n)=60*pi/180;
77 delta=1*pi/180;
78
79
80 while (mu*Nr(n))^2<S(n)^2+Fsr(n)^2 | (mu*Nf(n))^2<Ffre^2+Fsf(n)^2
81
82 %%error inicial per entrar en el while loop
83 errlanf(1,n)=1;
84 errlanr(1,n)=1;
85 errkin(1,n)=1;
86 errS(1,n)=1;
87 errFsf(1,n)=1;
88 errFsr(1,n)=1;
89 errNf(1,n)=1;
90 errNr(1,n)=1;
91 errOm(1,n)=1;
92
93
94 while abs(errlanf(ci-1,n))>1e-10 | abs(errlanr(ci-1,n))>1e-10 |
    abs(errkin(ci-1,n))>1e-10 | abs(errS(ci-1,n))>1e-10 | abs(errFsf(ci-
    1,n))>1e-10 | abs(errFsr(ci-1,n))>1e-10 | abs(errNf(ci-1,n))>1e-10 |
    abs(errNr(ci-1,n))>1e-10 | abs(errOm(ci-1,n))>1e-10
95
96 %%calculs complementaris
97
98 Fa=0.5*den*Cd*A*(V(n))^2;          % (N) Forca aerodinamica de drag
    pag74 V.C
99 Xg=b-Rcr(n)*sin(lanr(n));          % (m) Cordinades del Cog de la
    moto respecte el systema de referencia CIR corba pag123 V.C
100 Yg=h*sin(phi(n))-Rcr(n)*cos(lanr(n)); % """"
101 Zg=-h*cos(phi(n)); % (m) Cordinades del Cog de la moto respecte el
    systema de referencia CIR corba pag123 V.C
102 Ixz=m*Xg*Zg+Ixzg*cos(phi(n));% (kg*m^2) Producte de inercia
    repecte els eixos X-Z
103 Iyz=m*Yg*Zg+(Izg-Iyg)*cos(phi(n))*sin(phi(n)); % (kg*m^2) Producte
    de inercia repecte els eixos Y-Z
104 Xr=-Rcr(n)*sin(lanr(n));          % (m) Cordinades del punt de
    contacte de la roda de radera respecte el systema de referencia CIR
    corba pagina 123 V.C
105 Yr=-Rcr(n)*cos(lanr(n));          % """"
106 an=((Rf*cos(delta)*sin(epsilon))/sqrt(1-
    (sin(delta)*sin(epsilon))^2))-d; % (m) Trail normal!!!! revisar no
    te en compte despecaments x froma de pneumatic pag 10 V.C
107 pitch(n)=- ((an-tf*sin(epsilon))/p)*delta*tan(phi(n))-((tr-
    tf)/p)*((1/cos(phi(n)))-1); % (rad) pitch angle pag 16V.C
108 Bl=epsilon+atan((sin(delta)*tan(phi(n))-
    sin(epsilon)*cos(delta))/cos(epsilon)); % (rad) angle entre la
    vertical de l'eix i punt de contace de la roda davantera pag 16 V.C
109 B=atan(((tan(phi(n))*cos(delta)+sin(delta)*sin(epsilon+pitch(n)))/c
    os(epsilon+pitch(n))*cos(Bl-epsilon)); % (rad) camber angle roda
    davantera pag 25 V.C

```

```

110 wf=-V(n)/((rof+tf*cos(B))*cos(kin(n))); % (rad/s) velocitat angular
roda davantera pag109 V.C
111 wr=-V(n)/(ror+tr*cos(phi(n))); % (rad/s) velocitat angular
roda posterior pag109 V.C
112
113
114 %% Equacions d'equilibri
115
116 S9 = ((-Om(n)*m*(Xg*Yr-Xr*Yg)*(Iwf*wf+Iwr*wr)*cos(phi(n))-
(g*(Xg*Yr-Xr*Yg)*m^2+Fa*Iyz)*(Yg-Yr))*sin(delta)-
(Om(n)*m*Xg*(Iwf*wf+Iwr*wr)*cos(phi(n))+g*Xg*(Yg-Yr)*m^2-
Fa*Iyz)*cos(delta)*p)/(Iyz*p*cos(delta)); % (N) For√βa de tracció
(Mapple resolucio sistema model corba)
117 Fsf9 = (-Om(n)*m*(Xg*Yr-Xr*Yg)*(Iwf*wf+Iwr*wr)*cos(phi(n))-
(g*(Xg*Yr-Xr*Yg)*m^2+Fa*Iyz)*(Yg-Yr))/(Iyz*p*cos(delta)); % (N) For√βa
lateral roda davantera (Mapple resolucio sistema model corba)
118 Fsr9 = (-m*Om(n)*((p+Xr)*Yg-Xg*Yr)*(Iwf*wf+Iwr*wr)*cos(phi(n))-
(((p+Xr)*Yg-Xg*Yr)*g*m^2-Fa*Iyz)*(Yg-Yr))/(Iyz*p); % (N) For√βa
lateral roda posterior (Mapple resolucio sistema model corba)
119 Nf9 = (-Ixz*Om(n)*(Iwf*wf+Iwr*wr)*cos(phi(n))-g*m*(Yg-
Yr)*Ixz+(m*(Xg-Xr)*g+Fa*Zg)*Iyz)/(Iyz*p); % (N) For√βa normal roda
davantera (Mapple resolucio sistema model corba)
120 Nr9 = (Ixz*Om(n)*(Iwf*wf+Iwr*wr)*cos(phi(n))+m*(p-Xg+Xr)*g-
Fa*Zg)*Iyz+g*m*(Yg-Yr)*Ixz)/(Iyz*p); % (N) For√βa normal roda
posterior (Mapple resolucio sistema model corba)
121 Om2 = ((Iwf*wf+Iwr*wr)*Om(n)*cos(phi(n))+g*m*(Yg-Yr))/Iyz; %
Velocitat angular al quadrat (Mapple resolucio sistema model corba)
122 Omega9 = sqrt(Om2); % Velocitat angular al quadrat
123
124 %% Nou calcul dels valors assumits
125 lanf9=(1/Klanf)*((Fsf9/Nf9)-Kphif*B); % (rad) nou angle lanf pag115
V.C
126 lanr9=(1/Klanr)*((Fsr9/Nr9)-Kphir*phi(n)); % (rad) nou angle lanr
pag115 V.C
127 kin9=-atan((sin(lanr9)*Rcr(n)-p)/(Rcr(n)*cos(lanr9)))+lanf9;%nou
angle kin pag 110 V.C aïllat de delta
128 V9=Omega9*Rcr(n); %Velocitat nova
129
130 %% Index de subiratge sobreiratge
131 kin2=kin9+lanr9-lanf9;
132 xi(n)=kin2/kin9; % steering ratio xi=1 neutre, xi<1 subiratge ,
xi>1 sobreiratge
133
134 %% comparacio error iterracio
135 errlanf(ci,n)=lanf9-lanf(n);
136 errlanr(ci,n)=lanr9-lanr(n);
137 errkin(ci,n)=kin9-kin(n);
138 errS(ci,n)=S9-S(n);
139 errFsf(ci,n)=Fsf9-Fsf(n);
140 errFsr(ci,n)=Fsr9-Fsr(n);
141 errNf(ci,n)=Nf9-Nf(n);
142 errNr(ci,n)=Nr9-Nr(n);
143 errOm(ci,n)=Omega9-Om(n);

```

```
144
145
146  %%Assignacio de els nous valors de
147  lanf(n)=lanf9;
148  lanr(n)=lanr9;
149  V(n)=V9;
150  Om(n)=Omega9;
151  S(n)=S9;
152  Fsf(n)=Fsf9;
153  Fsr(n)=Fsr9;
154  Nf(n)=Nf9;
155  Nr(n)=Nr9;
156  kin(n)=kin9;
157  Ommax(n)=Om(n);
158  Vlin=V*3.6;
159  alatmax(n)=(Fsf(n)+Fsr(n))/m;
160  glatmax(n)=alatmax(n)/g;
161
162  lliscamentr(n)=(mu*Nr(n))^2>=S(n)^2+Fsr(n)^2;
163  lliscamentf(n)=(mu*Nf(n))^2>=Ffre^2+Fsf(n)^2;
164
165  ci=ci+1;
166
167  end
168  phi(n)=phi(n)-(1*pi/180);
169  ci=2;
170
171  end
172  phi(n)=phi(n)+(1*pi/180);
173  end
```

A2. Programa motocicleta en pas per corba en estat transitori

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
% Model corba simplificat transitori          Ultima modificació:17/2/18
% Autor:Joan Ferrao Genescó
%
%
% Descripció: El programa retorna els les carregas i tots els peramates
% de les curbes 17 i 1 del circuit de motorland. Discretitza la corba per
% cada grau de phi, calcula el radi de gir i et retorna el resultats en u
% pas a velocitat constant per la corba.
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

clear all
close all
clc

%% Parametres motocicleta

epsilon=22.5*2*pi/360;    %Castor angle (rad)
p=1.285;                 %Batalla moto (m)
b=0.62301;              %Eix posterior to CoG (m)
h=0.62391;              %altura to Cog(m)
d=0.0326;               %offset tijas (m)
m=60.5+138;            %massa pilot + massa moto (kg)
rof=0.2424;            %Radi del cercle central del toroide del
pneumatic(m)
Rf=0.288;               %Radi extern roda davantera
tf=0.0456;             %Radi de la seccio del toroide del pneumatic
davanter(m)
ror=0.2412;            %Radi del cercle central del toroide del
pneumatic posterior(m)
Rr=0.30065;            %Radi extern roda posterior (m)
tr=0.0594;            %Radi de la seccio del toroide del pneumatic
posterior (m)
g=9.81;                %Constant grabitatoria (m/s^2)
Klanr=17.5;            %Coeficient de cornering stiffness roda
posterior (rad^-1)
Kphir=1.1;             %Coeficient camber stiffnes roda
posterior(rad^-1)
Klanf=17.5;            %Coeficient de cornering stiffness roda
davantera(rad^-1)
Kphif=1.1;             %Coeficient camber stiffnes roda
davantera(rad^-1)
Ixg=21.168;            %Moment d'inercia de la moto de l'eix X i el
seu CoG(kg*m^2)
Iyg=6.0696;           %Moment d'inercia de la moto de l'eix Y i el
seu CoG(kg*m^2)
Izg=16.5288;          %Moment d'inercia de la moto de l'eix Z i el
seu CoG(kg*m^2)
Ixzg=0.0881;          %Producte d'inercia de la moto en el pla X-Z i
el seu CoG(kg*m^2)
Iwf=0.239;            %Inercia rotacional roda davantera(kg*m^2)
Iwr=0.317;            %Inercia rotacional roda posterior(Kg*m^2)
den=1.226;            %Densitat aire (kg/m^3)

```

```

Cd=0.44; %Coeficient de drag aerodinamic
A=0.49; %Area frontal de la moto (m^2)
mu=1.4; %coefficeient de friccio del pneumatica amb el
terra
Ffre=0; %Força frenada

%% (m) Vector radis corba circuit(1.1 1.2 2 3 4 5 6.1 6.2 7 8 9 10.1 10.2
11 12 13 14 15 16.1 16.2 16.3)

Rcrv=[130.2 58 ];

%% (deg->rad) Vector angles corba circuit(1.1 1.2 2 3 4 5 6.1 6.2 7 8 9
10.1 10.2 11 12 13 14 15 16.1 16.2 16.3)

angRcr=[149.5 106.8 ];

%% (m/s) Vector velocitat maxima corba(1.1 1.2 2 3 4 5 6.1 6.2 7 8 9 10.1
10.2 11 12 13 14 15 16.1 16.2 16.3)

V=[39 26];

for n=1:length(Rcrv)

Vn=V(n);
Rcrn=Rcrv(n);
angRcrn=angRcr(n);

[S,Fsf,Fsr,Nf,Nr,Om,lanf,lanr,kin,phi] = Vangular_max_Rcr
(n,epsilon,p,b,h,d,m,rof,Rf,tf,ror,Rr,tr,g,Klanr,Kphir,Klanf,Kphif,Ixg,Iy
g,Izg,Ixzg,Iwf,Iwr,den,Cd,A,mu,Ffre,Rcrn,Vn,angRcrn);

Ommax(n)=Om; %Om max curban
phimax(n)=phi; %phi max

phiRcr=(angRcr(n)/2)/((phimax(n)*180/pi)); %angle que avanço en
l'arc de la corba per cada grau de roll angle que inclino

Pe=( [phiRcr:phiRcr:(angRcr(n)/2)-phiRcr]*pi/180)'; %punts entrada
corba
phiPe=[0+(phimax(n)/(length(Pe)+1)):phimax(n)/(length(Pe)+1):phimax(n)-
phimax(n)/(length(Pe)+1)]'; %punts phi relacionats entrada corba
Ps=( [ ((angRcr(n)/2)):phiRcr:angRcr(n)-phiRcr]*pi/180)'; %punts
de calcul tram de sortida
phiPs=[phimax(n):(-phimax(n)/length(Ps)):0+phimax(n)/length(Ps)]';
%punts phi relacionats sortida corba

%% For loop punts d'entrada (calcul radis i forces per cada roll angle)
for e=1:length(Pe)

```

```

Vvertex=Ommax(n)*Rcrv(n);
errV=1;
Rie=0;
Rfe=[21000 10000 ];

while errV>1e-3

Rcr=(Rfe(n)+Rie)/2;

Vn=Vvertex;

c=1;
phi=phiPe(e);
[S,Fsf,Fsr,Nf,Nr,Om,Rcr,lanf,lanr,kin,lliscf,lliscr,Vn] =
Calcul_Radi_Ps(phi,epsilon,p,b,h,d,m,rof,Rf,tf,ror,Rr,tr,g,Klanr,Kphir,Kl
anf,Kphif,Ixg,Iyg,Izg,Ixzg,Iwf,Iwr,den,Cd,A,mu,Rcr,Vn);

if Vn<Vvertex
Rie=Rcr;
else
Rfe(n)=Rcr;
end

errV=abs(Vvertex-Vn);
end
Rcre(e,n)=Rcr;
Ve(e,n)=Vn;
Se(e,n)=S;
Fsfe(e,n)=Fsf;
Fsre(e,n)=Fsr;
Nfe(e,n)=Nf;
Nre(e,n)=Nr;
Ome(e,n)=Om;
lanfe(e,n)=lanf;
lanre(e,n)=lanr;
kine(e,n)=kin;
lliscfe(e,n)=lliscf;
lliscre(e,n)=lliscr;

end

%% For loop punts de sortida (calcul radis i for√Bes per cada roll angle)

for s=1:length(Ps)
Vvertex=Ommax(n)*Rcrv(n);
Vmaxorb(n)=Vvertex;
errV=1;
Ris=0;
Rfs=[21000 10000];

while errV>1e-3

Rcr=(Rfs(n)+Ris)/2;

```

```

Vn=Vvertex;

c=1;
phi=phiPs(s);
[S,Fsf,Fsr,Nf,Nr,Om,Rcr,lanf,lanr,kin,lliscf,lliscr,Vn] =
Calcul_Radi_Ps(phi,epsilon,p,b,h,d,m,rof,Rf,tf,ror,Rr,tr,g,Klanr,Kphir,Kl
anf,Kphif,Ixg,Iyg,Izg,Ixzg,Iwf,Iwr,den,Cd,A,mu,Rcr,Vn);

if Vn<Vvertex
    Ris=Rcr;
    else
    Rfs(n)=Rcr;
end

errV=abs(Vvertex-Vn);
end
Rcrs(s,n)=Rcr;
Vs(s,n)=Vn;
Ss(s,n)=S;
Fsfs(s,n)=Fsf;
Fsr(s,n)=Fsr;
Nfs(s,n)=Nf;
Nrs(s,n)=Nr;
Oms(s,n)=Om;
lanfs(s,n)=lanf;
lanrs(s,n)=lanr;
kins(s,n)=kin;
lliscfs(s,n)=lliscf;
lliscrs(s,n)=lliscr;

end

Respunts(1:length(Pe)+length(Ps),n)=[Pe;Ps]; %vector punts corva (n)

end

%% Agrupament dades

ResRcr=[Rcre;Rcrs]; %Vector Radios corba
ResV=[Ve;Vs]; %Vector V
ResS=[Se;Ss]; %Vector S
ResFsf=[Fsfe;Fsfs]; %Vector Fsf
ResFsr=[Fsre;Fsr(s)]; %Vector Fsr
ResNf=[Nfe;Nfs]; %Vector Nf
ResNr=[Nre;Nrs]; %Vector Nr
ResOm=[Ome;Oms]; %Vector Om

```

Funció velocitat angular màxima de pas per corba

```

function [S,Fsf,Fsr,Nf,Nr,Ommax,lanf,lanr,kin,phi,lliscf,lliscr,Vn] =
Vangular_max_Rcr
(n,epsilon,p,b,h,d,m,rof,Rf,tf,ror,Rr,tr,g,Klanr,Kphir,Klanf,Kphif,Ixg,Iy
g,Izg,Ixzg,Iwf,Iwr,den,Cd,A,mu,Ffre,Rcrn,Vn,angRcrn)
%UNTITLED Summary of this function goes here
% Retorna la velo

ci=2;

%% Valors inicialment assumits

S=1;
Fsf=1;
Fsr=1;
Nf=0;
Nr=0;
lanf=0;           % (rad) Valor inicialment assumit de l'sideslip
angle davanter
lanr=0;           % (rad) Valor inicialment assumit de l'sideslip
angle posterior
kin=0;           % (rad) Valor inicialment assumit del kinematic
angle
Om=Vn/Rcrn;      % (rad/s) velociatat angular al punt de contacte
roda posterior
phi=60*pi/180;
delta=2*pi/180;

while (mu*Nf)^2<Ffre^2+Fsf^2 | (mu*Nr)^2<S^2+Fsr^2

%%error inicial per entrar en el while loop
errlanf=1;
errlanr=1;
errkin=1;
errS=1;
errFsf=1;
errFsr=1;
errNf=1;
errNr=1;
errOm=1;

while abs(errlanf(ci-1))>1e-10 | abs(errlanr(ci-1))>1e-10 |
abs(errkin(ci-1))>1e-10 | abs(errS(ci-1))>1e-10 | abs(errFsf(ci-1))>1e-10
| abs(errFsr(ci-1))>1e-10 | abs(errNf(ci-1))>1e-10 | abs(errNr(ci-1))>1e-
10 | abs(errOm(ci-1))>1e-10

%%calculs complementaris

Fa=0.5*den*Cd*A*Vn^2;           % (N) Forca aerodinamica de drag pag74
V.C

```



```

Xg=b-Rcrn*sin(lanr); % (m) Cordinades del Cog de la moto
respedte el systema de referencia CIR corba pag123 V.C
Yg=h*sin(phi)-Rcrn*cos(lanr); % """"
Zg=-h*cos(phi); % (m) Cordinades del Cog de la moto respedte el systema
de referencia CIR corba pag123 V.C
Ixz=m*Xg*Zg+Ixzg*cos(phi);% (kg*m^2) Producte de inercia rexpcte els
eixos X-Z
Iyz=m*Yg*Zg+(Izg-Iyg)*cos(phi)*sin(phi); % (kg*m^2) Producte de inercia
rexpcte els eixos Y-Z
Xr=-Rcrn*sin(lanr); % (m) Cordinades del punt de contacte de
la roda de radera respedte el systema de referencia CIR corba pagina 123
V.C
Yr=-Rcrn*cos(lanr); % """"
an=((Rf*cos(delta)*sin(epsilon))/(sqrt(1-(sin(delta)*sin(epsilon))^2)))-
d; % (m) Trail normal!!!! revisar no te en compte despecaments x froma
de pneumatic pag 10 V.C
pitch=- ((an-tf*sin(epsilon))/p)*delta*tan(phi)-((tr-
tf)/p)*((1/cos(phi))-1);% (rad) pitch angle pag 16V.C
Bl=epsilon+atan((sin(delta)*tan(phi)-
sin(epsilon)*cos(delta))/cos(epsilon)); % (rad) angle entre la vertical
de l'eix i punt de contace de la roda davantera pag 16 V.C
B=atan(((tan(phi)*cos(delta)+sin(delta)*sin(epsilon+pitch))/cos(epsilon+p
itch))*cos(Bl-epsilon)); % (rad) camber angle roda davantera pag 25 V.C
wf=-Vn/((rof+tf*cos(B))*cos(kin)); % (rad/s) velocitat angular roda
davantera pag109 V.C
wr=-Vn/(ror+tr*cos(phi)); % (rad/s) velocitat angular roda
posterior pag109 V.C

%% Equacions d'equilibri

S9 = ((-Om*m*(Xg*Yr-Xr*Yg)*(Iwf*wf+Iwr*wr)*cos(phi)-(g*(Xg*Yr-
Xr*Yg)*m^2+Fa*Iyz)*(Yg-Yr))*sin(delta)-
(Om*m*Xg*(Iwf*wf+Iwr*wr)*cos(phi)+g*Xg*(Yg-Yr)*m^2-
Fa*Iyz)*cos(delta)*p)/(Iyz*p*cos(delta)); % (N) For√βa de tracció≥
(Mapple resolucio sistema model corba)
Fsf9 = (-Om*m*(Xg*Yr-Xr*Yg)*(Iwf*wf+Iwr*wr)*cos(phi)-(g*(Xg*Yr-
Xr*Yg)*m^2+Fa*Iyz)*(Yg-Yr))/(Iyz*p*cos(delta)); % (N) For√βa lateral roda
davantera (Mapple resolucio sistema model corba)
Fsr9 = (-m*Om*((p+Xr)*Yg-Xg*Yr)*(Iwf*wf+Iwr*wr)*cos(phi)-((p+Xr)*Yg-
Xg*Yr)*g*m^2-Fa*Iyz)*(Yg-Yr))/(Iyz*p); % (N) For√βa lateral roda posterior
(Mapple resolucio sistema model corba)
Nf9 = (-Ixz*Om*(Iwf*wf+Iwr*wr)*cos(phi)-g*m*(Yg-Yr)*Ixz+(m*(Xg-
Xr)*g+Fa*Zg)*Iyz)/(Iyz*p); % (N) For√βa normal roda davantera (Mapple
resolucio sistema model corba)
Nr9 = (Ixz*Om*(Iwf*wf+Iwr*wr)*cos(phi)+(m*(p-Xg+Xr)*g-Fa*Zg)*Iyz+g*m*(Yg-
Yr)*Ixz)/(Iyz*p); % (N) For√βa normal roda posterior (Mapple resolucio
sistema model corba)
Om2 = ((Iwf*wf+Iwr*wr)*Om*cos(phi)+g*m*(Yg-Yr))/Iyz; % Velocitat angular
al quadrat (Mapple resolucio sistema model corba)
Omega9 = sqrt(Om2);% Velocitat angular al quadrat

%% Nou calcul dels valors assumits
lanf9=(1/Klanf)*((Fsf9/Nf9)-Kphif*B); % (rad) nou angle lanf pag115 V.C
lanr9=(1/Klanr)*((Fsr9/Nr9)-Kphir*phi); % (rad) nou angle lanr pag115 V.C
kin9=-atan((sin(lanr9)*Rcrn-p)/(Rcrn*cos(lanr9)))+lanf9;%nou angle kin
pag 110 V.C aillat de delta
V9=Omega9*Rcrn; %Velocitat nova

```

```

%% Index de subiratge sobrebiratge
kin2=kin9+lanr9-lanf9;
xi=kin2/kin9; % steering ratio xi=1 neutre, xi<1 subiratge , xi>1
sobrebiratge

%% comparacio error iterracio
errlanf(ci)=lanf9-lanf;
errlanr(ci)=lanr9-lanr;
errkin(ci)=kin9-kin;
errS(ci)=S9-S;
errFsf(ci)=Fsf9-Fsf;
errFsr(ci)=Fsr9-Fsr;
errNf(ci)=Nf9-Nf;
errNr(ci)=Nr9-Nr;
errOm(ci)=Omega9-Om;

%%Assignacio de els nous valors de
lanf=lanf9;
lanr=lanr9;
Vn=V9;
Om=Omega9;
S=S9;
Fsf=Fsf9;
Fsr=Fsr9;
Nf=Nf9;
Nr=Nr9;
kin=kin9;
Ommax=Om;
lliscf=(mu*Nf)^2<Ffre^2+Fsf^2;
lliscr=(mu*Nr)^2<S^2+Fsr^2;

ci=ci+1;

    end
    phi=phi-(1*pi/180);
    ci=2;

end
    phi=phi+(1*pi/180);

end

```

Funció càlcul radi corba per cada punt de la corba entrada i sortida:

```
function [Sfre,Fsf,Fsr,Nf,Nr,Om,Ve,lanf,lanr,kin,lliscffre,lliscrfre,Rcr]
= Calcul_Radi_Pe
(epsilon,p,b,h,d,m,rof,Rf,tf,ror,Rr,tr,g,Klanr,Kphir,Klanf,Kphif,Ixg,Iyg,
Izg,Ixzg,Iwf,Iwr,den,Cd,A,mu,Rcr,Ve,phi)

c1=2;

%% Valors inicialment assumits

Sfre=1;
Fsf=1;
Fsr=1;
Nf=1;
Nr=1;
lanf=0; % (rad) Valor inicialment assumit de l'sideslip
angle davanter
lanr=0; % (rad) Valor inicialment assumit de l'sideslip
angle posterior
kin=0; % (rad) Valor inicialment assumit del kinematic
angle
Om=Ve/Rcr; % (rad/s) velociatat angular al punt de contacte roda
posterior

delta=2*pi/180; %fixar valor de steering angle

%%error inicial per entrar en el while loop
errlanf(1)=1;
errlanr(1)=1;
errkin(1)=1;
errSfre(1)=1;
errFsf(1)=1;
errFsr(1)=1;
errNf(1)=1;
errNr(1)=1;
errOm(1)=1;

while abs(errlanf(c1-1))>1e-6 | abs(errlanr(c1-1))>1e-6 | abs(errkin(c1-
1))>1e-6 | abs(errSfre(c1-1))>1e-6 | abs(errFsf(c1-1))>1e-6 |
abs(errFsr(c1-1))>1e-6 | abs(errNf(c1-1))>1e-6 | abs(errNr(c1-1))>1e-6 |
abs(errOm(c1-1))>1e-6

%%calculs complementaris

Fa=0.5*den*Cd*A*(Ve)^2; % Forca aerodinamica de drag pag74
V.C
Xg=b-Rcr*sin(lanr); % (m) Cordinades del Cog de la moto
respedte el systema de referencia CIR corba pag123 V.C
Yg=h*sin(phi)-Rcr*cos(lanr); % """"
Zg=-h*cos(phi); % (m) Cordinades del Cog de la moto respde el systema
de referencia CIR corba pag123 V.C
```

```

Ixz=m*Xg*Zg+Ixzg*cos(phi);% (kg*m^2) Producte de inercia repecte els
eixos X-Z
Iyz=m*Yg*Zg+(Izg-Iyg)*cos(phi)*sin(phi); % (kg*m^2) Producte de inercia
repecte els eixos Y-Z
Xr=-Rcr*sin(lanr); % (m) Cordinades del punt de contacte de
la roda de radera respecte el systema de referencia CIR corba pagina 123
V.C
Yr=-Rcr*cos(lanr); % """"
an=((Rf*cos(delta)*sin(epsilon))/(sqrt(1-(sin(delta)*sin(epsilon))^2))-
d; % (m) Trail normal!!!!!! revisar no te en compte despecaments x froma
de pneumatic pag 10 V.C
pitch=- ((an-tf*sin(epsilon))/p)*delta*tan(phi)-((tr-
tf)/p)*((1/cos(phi))-1);% (rad) pitch angle pag 16V.C
Bl=epsilon+atan((sin(delta)*tan(phi)-
sin(epsilon)*cos(delta))/cos(epsilon)); % (rad) angle entre la vertical
de l'eix i punt de contace de la roda davantera pag 16 V.C
B=atan(((tan(phi)*cos(delta)+sin(delta)*sin(epsilon+pitch))/cos(epsilon+p
itch))*cos(Bl-epsilon)); % (rad) camber angle roda davantera pag 25 V.C

wf=-Ve/((rof+tf*cos(B))*cos(kin)); % (rad/s) velocitat angular roda
davantera pag109 V.C
wr=-Ve/(ror+tr*cos(phi)); % (rad/s) velocitat angular roda
posterior pag109 V.C

%% Equacions d'equilibri

Sfre9 =((-Om*m*(Xg*Yr-Xr*Yg)*(Iwf*wf+Iwr*wr)*cos(phi)-(g*(Xg*Yr-
Xr*Yg)*m^2+Fa*Iyz)*(Yg-Yr))*sin(kin)-
(Om*m*Xg*(Iwf*wf+Iwr*wr)*cos(phi)+g*Xg*(Yg-Yr)*m^2-
Fa*Iyz)*p*cos(kin))/(Iyz*p); % (N) For√Ba de tracció (Mapple resolucio
sistema model corba)
Fsf9=((-Om*m*(Xg*Yr-Xr*Yg)*(Iwf*wf+Iwr*wr)*cos(phi)-(g*(Xg*Yr-
Xr*Yg)*m^2+Fa*Iyz)*(Yg-
Yr))*cos(kin)+(Om*m*Xg*(Iwf*wf+Iwr*wr)*cos(phi)+g*Xg*(Yg-Yr)*m^2-
Fa*Iyz)*p*sin(kin))/(Iyz*p); % (N) For√Ba lateral roda davantera (Mapple
resolucio sistema model corba)
Fsr9=(-m*(Iwf*wf+Iwr*wr)*((p+Xr)*Yg-Xg*Yr)*Om*cos(phi)-(Yg-
Yr)*(((p+Xr)*Yg-Xg*Yr)*g*m^2-Fa*Iyz))/(Iyz*p); % (N) For√Ba lateral roda
posterior (Mapple resolucio sistema model corba)
Nf9=(Ixz*Om*(Iwf*wf+Iwr*wr)*cos(phi)+g*m*(Yg-Yr)*Ixz-(m*(Xg-
Xr)*g+Fa*Zg)*Iyz)/(Iyz*p); % (N) For√Ba normal roda davantera (Mapple
resolucio sistema model corba)
Nr9=(-Ixz*Om*(Iwf*wf+Iwr*wr)*cos(phi)+(-m*(p-Xg+Xr)*g+Fa*Zg)*Iyz-g*m*(Yg-
Yr)*Ixz)/(Iyz*p); % (N) For√Ba normal roda posterior (Mapple resolucio
sistema model corba)
Om2=((Iwf*wf+Iwr*wr)*Om*cos(phi)+g*m*(Yg-Yr))/Iyz; % Velocitat angular al
quadrat (Mapple resolucio sistema model corba)
Omega9 = sqrt(Om2);% Velocitat angular al quadrat

%% Nou calcul dels valors assumits
lanf9=(1/Klanf)*((Fsf9/Nf9)-Kphif*B); % (rad) nou angle lanf pag115 V.C
lanr9=(1/Klanr)*((Fsr9/Nr9)-Kphir*phi); % (rad) nou angle lanr pag115 V.C
kin9=-atan((sin(lanr9)*Rcr-p)/(Rcr*cos(lanr9)))+lanf9;%nou angle kin pag
110 V.C aillat de delta
Rcr9=p/(tan(kin9-lanf9)*cos(lanr9)+sin(lanr9));
V9=Omega9*Rcr9; %Velocitat nova

```

```
kin2=kin9+lanr9-lanf9;
xi=kin2/kin9; % steering ratio xi=1 neutre, xi<1 subirage , xi>1
sobreviratge

%% comparacio error iterracio
errlanf(c1)=lanf9-lanf;
errlanr(c1)=lanr9-lanr;
errkin(c1)=kin9-kin;
errSfre(c1)=Sfre9-Sfre;
errFsf(c1)=Fsf9-Fsf;
errFsr(c1)=Fsr9-Fsr;
errNf(c1)=Nf9-Nf;
errNr(c1)=Nr9-Nr;
errOm(c1)=Omega9-Om;

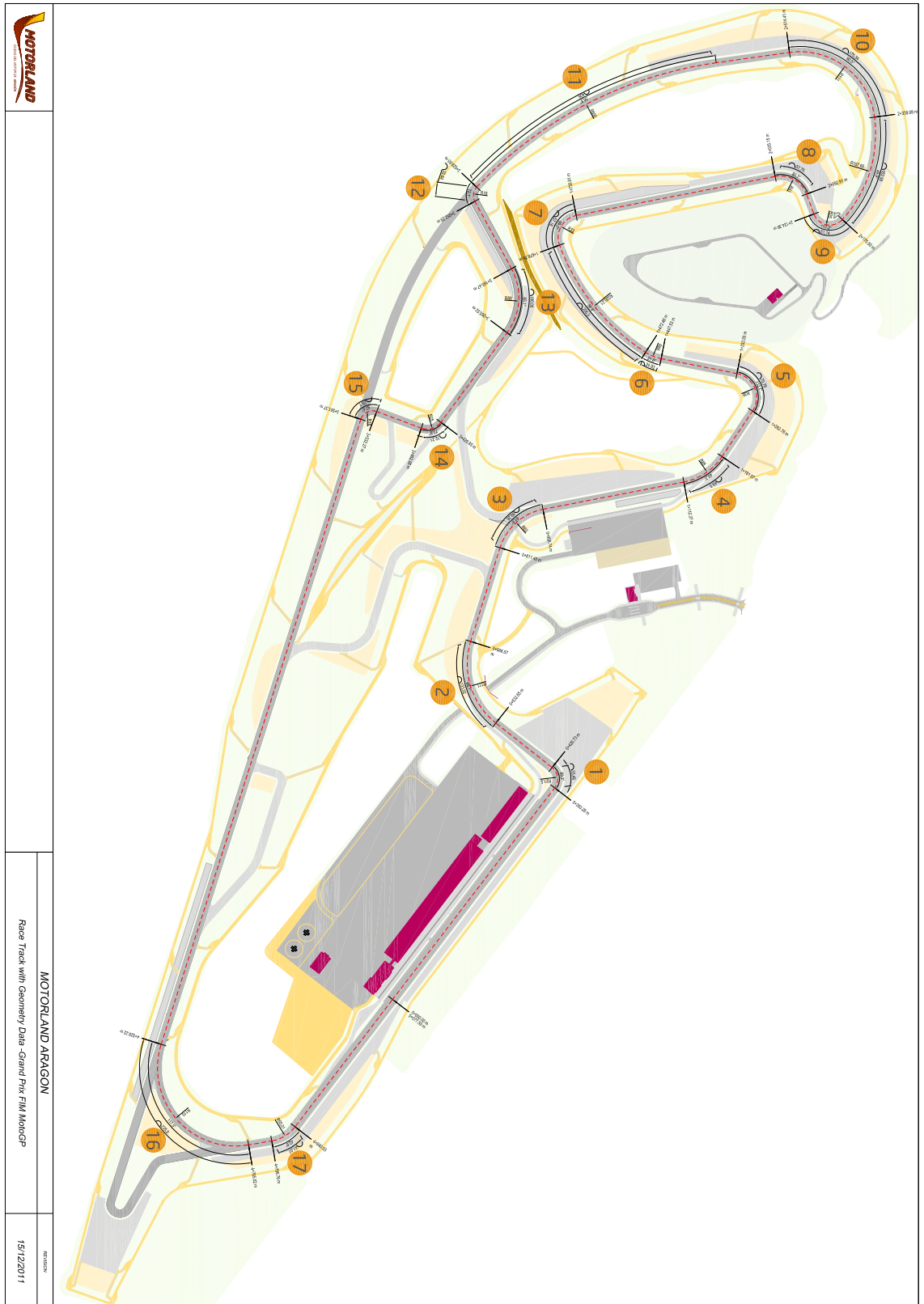
%%Assignacio de els nous valors de
lanf=lanf9;
lanr=lanr9;
Ve=V9;
Sfre=Sfre9;
Fsf=Fsf9;
Fsr=Fsr9;
Nf=Nf9;
Nr=Nr9;
Om=Omega9;
kin=kin9;
Rcr=Rcr9;

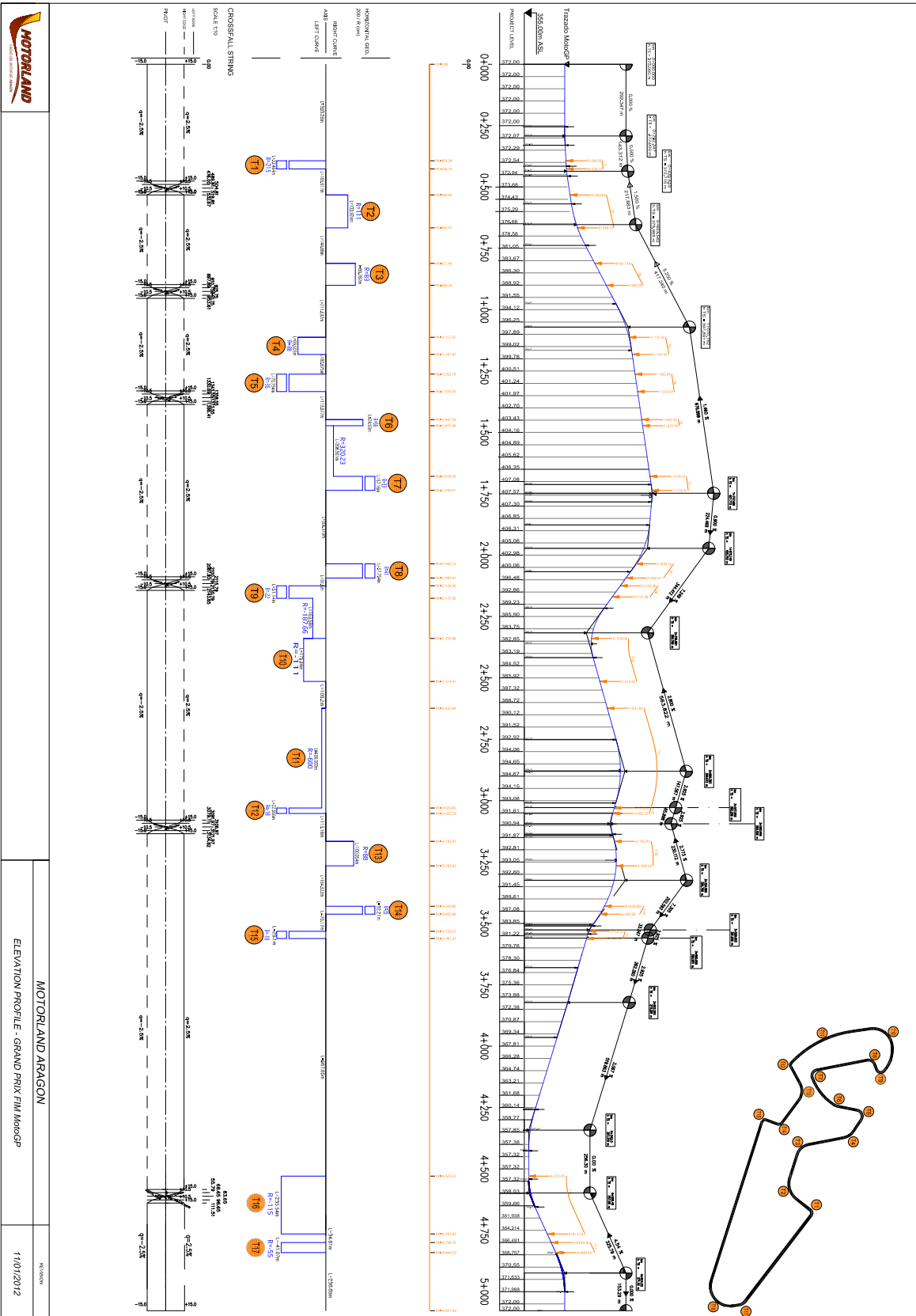
lliscrfre=(mu*Nr)^2>=0^2+Fsr^2;
lliscffre=(mu*Nf)^2>=Sfre^2+Fsf^2;

c1=c1+1;

end
```


A3. Dades circuit Motorland Aragon





MOTORLAND ARAGON
ELEVATION PROFILE - GRAND PRIX FIM MotoGP

REVISION
11/01/2012

A4. Plànols de fabricació





A5. Característiques pneumàtics

V INTERNATIONAL COMPETITION MOTOSTUDENT 2017-2018

OFFICIAL TIRE SUPPLIER - DUNLOP MOTORSPORT

Dunlop MotorSport is the Official Tire Supplier for the V International Competition MotoStudent 2017 - 2018. All registered teams will receive a set of Dunlop MotorSport slick tires within their MotoStudent Kit, compulsory to install in the prototypes.

Only Dunlop MotorSport MotoStudent Official Tires, supplied through the Competition Organization, are allowed for the participation in MotoStudent (See MotoStudent Technical Regulations: Art. B.9.2).

MOTOSTUDENT OFFICIAL TIRES - TECHNICAL SPECS

FRONT TIRE

SIZE	MODEL	RIM SIZE	WIDTH	Ø CENTER	Ø SHOULDER	WEIGHT	COLD PRESSURE	HOT / WORK PRESSURE	WARMERS (RECOMMENDED)	COMPOUNDS
95/70R17	KR149	2,5"	88 mm	576 mm	509 mm	2.73 Kg	1.7 – 1.8 bar	2.0 – 2.3 bar	80°C 1 HOUR BEFORE	M

REAR TIRE

SIZE	MODEL	RIM SIZE	WIDTH	Ø CENTER	Ø SHOULDER	WEIGHT	COLD PRESSURE	HOT / WORK PRESSURE	WARMERS (RECOMMENDED)	COMPOUNDS
115/70R17	KR133	3,5"	115,1 mm	601,3 mm	512 mm	3.9 Kg	1.8 – 1.9 bar	2.1 – 2.5 bar	80°C 1 HOUR BEFORE	C



A6. Dades de disseny ePR-01

Information listing created by jferr

Date 27-Mar-2018 22:07:06

Current work part E:\e-Powered

RACING\ePR01_Assembly_20180327\00000_EnsamblageePR1_20180322.prt

Node name desktop-e08u0bk

Measurement Mass Properties

Displayed Mass Property Values

Volume = 65346477.568851829 mm³

Area = 21984631.920603275 mm²

Mass = 135.802155549 kg

Weight = 1331.764208714 N

Radius of Gyration = 401.325495642 mm

Center of Mass = -4.856946628, 587.396049975, 185.424313933 mm

=====

Detailed Mass Properties

Analysis calculated using accuracy of 0.990000000

Information Units kg - mm

Density = 0.000002078

Volume = 65346477.568851829

Area = 21984631.920603275

Mass = 135.802155549

First Moments

$$M_x, M_y, M_z = -659.583821413, 79769.649747571, 25181.021523328$$

Center of Mass

$$X_{\text{cbar}}, Y_{\text{cbar}}, Z_{\text{cbar}} = -4.856946628, 587.396049975, 185.424313933$$

Moments of Inertia (WCS)

$$I_x, I_y, I_z = 72672375.132830724, 10741953.826415056, 63388355.019408211$$

Moments of Inertia (Centroidal)

$$I_{xc}, I_{yc}, I_{zc} = 21146824.323098008, 6069576.622894986, 16528774.286361529$$

Moments of Inertia (Spherical)

$$I = 21872587.616177265$$

Products of Inertia (WCS)

$$I_{yz}, I_{xz}, I_{xy} = 12817920.099784717, -34145.206648199, -312710.020131777$$

Products of Inertia (Centroidal)

$$I_{z_c}, I_{x_c}, I_{y_c} = -1973312.477359119, 88157.670918734, 74726.911193512$$

Radii of Gyration (WCS)

$$R_x, R_y, R_z = 731.528659630, 281.247265703, 683.205586840$$

Radii of Gyration (Centroidal)

$$R_{x_c}, R_{y_c}, R_{z_c} = 394.611054249, 211.410166117, 348.872705197$$

Radii of Gyration (Spherical)

$$R = 401.325495642$$

Principal Axes (Direction vectors relative to the WCS)

$$X_p(X), X_p(Y), X_p(Z) = 0.999716965, -0.007890965, -0.022443759$$

$$Y_p(X), Y_p(Y), Y_p(Z) = 0.023495105, 0.179262373, 0.983520707$$

$$Z_p(X), Z_p(Y), Z_p(Z) = 0.003737606, 0.983769655, -0.179397035$$

Principal Moments

$$I_1, I_2, I_3 = 21149393.307191163, 16886336.055566665, 5709445.869596692$$

=====

Error Estimates

$$\text{Volume} = 2293990.096573939$$

$$\text{Area} = 36516.852567932$$

$$\text{Mass} = 2.878379125$$

$$\text{Radius for Center of Mass} = 29.914492270$$

$$\text{Center of Mass} = 4134.577648720, 5839.306311059, 4682.279257061$$

$$\text{Moments of Inertia (WCS)} = 313911937.033104480, 308004874.370156470, 312234254.386887310$$

$$\text{Principal Moments} = 303626861.962744710, 302515751.397075180, 305288845.318000850$$



A7. Dades utilitzades pels càlculs

$c=22.5$	Angle de llançament (graus)
$p=1.285$;	Batalla moto (m)
$b=0.62301$;	Eix posterior to CoG (m)
$h=0.62391$;	Altura al Cog(m)
$d=0.0326$;	Offset tija (m)
$m=60.5+138$;	Massa pilot + massa moto (kg)
$\rho_f=0.2424$;	Radi del cercle central del toroide del pneumàtic(m)
$R_f=0.288$;	Radi extern roda davantera
$t_f=0.0456$;	Radi de la secció del toroide del pneumàtic davanter(m)
$\rho_r=0.2412$;	Radi del cercle central del toroide del pneumàtic posterior(m)
$R_r=0.30065$;	Radi extern roda posterior (m)
$t_r=0.0594$;	Radi de la secció del toroide del pneumàtic posterior (m)
$g=9.81$;	Constant gravitatòria (m/s ²)
$K_{\lambda,r}=17.5$;	Coefficient de cornering stiffness roda posterior (rad ⁻¹)
$K_{\phi,r}=1.1$;	Coefficient camber stiffnes roda posterior(rad ⁻¹)
$K_{\lambda,f}=17.5$;	Coefficient de cornering stiffness roda davantera(rad ⁻¹)
$K_{\phi,f}=1.1$;	Coefficient camber stiffnes roda davantera(rad ⁻¹)
$I_{xg}=21.1468$;	Moment d'inèrcia de la moto de l'eix X i el seu CoG(kg*m ²)
$I_{yg}=6.0696$;	Moment d'inèrcia de la moto de l'eix Y i el seu CoG(kg*m ²)
$I_{zg}=16.5288$;	Moment d'inèrcia de la moto de l'eix Z i el seu CoG(kg*m ²)
$I_{xzg}=0.0881$;	Producte d'inèrcia de la moto en el pla X-Z i el seu CoG(kg*m ²)
$I_{wr}=0.239$;	Inèrcia rotacional roda davantera(kg*m ²)
$I_{wr}=0.317$;	Inèrcia rotacional roda posterior(Kg*m ²)
$\rho_{air}=1.226$;	Densitat aire (kg/m ³)
$C_d=0.44$;	Coefficient de drag aerodinàmic
$A=0.49$;	Area frontal de la moto (m ²)
$\mu=1.4$	Coefficient de fregament del pneumàtica amb el terra



A8. Taules de valors carreges dinàmiques

Dades i valors carreges transitòries en la pipa de direcció corba 1

Nf (N)	Fsf (N)	Roll (rad)	angle curva (rad)	Radi (m)	Vangular (rad/s)	temps (s)	F1 (N)	F2 (N)
894,30	15,37	0,02	0,02	4602,66	0,01	0,04	108,55	94,70
894,34	30,76	0,03	0,03	2300,72	0,01	0,07	220,74	192,58
894,40	46,16	0,05	0,05	1532,90	0,02	0,11	336,56	293,62
894,48	61,60	0,07	0,07	1148,83	0,02	0,14	455,99	397,81
894,58	77,07	0,09	0,09	918,27	0,03	0,18	579,01	505,13
894,71	92,60	0,10	0,10	764,31	0,04	0,22	705,62	615,59
894,85	108,20	0,12	0,12	654,30	0,04	0,25	835,80	729,15
895,03	123,87	0,14	0,14	571,59	0,05	0,29	969,54	845,83
895,22	139,62	0,16	0,16	507,20	0,05	0,32	1106,85	965,62
895,44	155,48	0,17	0,17	455,55	0,06	0,36	1247,73	1088,52
895,67	171,44	0,19	0,19	413,25	0,07	0,40	1392,16	1214,53
895,93	187,52	0,21	0,21	377,88	0,07	0,43	1540,17	1343,65
896,21	203,73	0,23	0,22	347,90	0,08	0,47	1691,76	1475,90
896,51	220,09	0,24	0,24	322,11	0,09	0,50	1846,95	1611,28
896,82	236,61	0,26	0,26	299,72	0,09	0,54	2005,73	1749,81
897,15	253,30	0,28	0,28	280,08	0,10	0,57	2168,14	1891,49
897,51	270,17	0,30	0,29	262,64	0,11	0,61	2334,21	2036,37
897,88	287,24	0,31	0,31	247,12	0,11	0,65	2503,94	2184,45
898,26	304,52	0,33	0,33	233,19	0,12	0,68	2677,36	2335,74
898,65	322,02	0,35	0,35	220,60	0,13	0,72	2854,52	2490,30
899,07	339,77	0,37	0,36	209,14	0,13	0,75	3035,48	2648,16
899,50	357,78	0,38	0,38	198,69	0,14	0,79	3220,24	2809,35
899,94	376,06	0,40	0,40	189,09	0,15	0,83	3408,86	2973,91
900,38	394,63	0,42	0,41	180,28	0,15	0,86	3601,38	3141,86
900,84	413,51	0,44	0,43	172,12	0,16	0,90	3797,89	3313,30
901,32	432,72	0,45	0,45	164,53	0,17	0,93	3998,46	3488,27
901,79	452,28	0,47	0,47	157,49	0,18	0,97	4203,09	3666,80
902,27	472,20	0,49	0,48	150,91	0,18	1,01	4411,92	3848,98
902,76	492,52	0,51	0,50	144,73	0,19	1,04	4625,04	4034,90
903,25	513,25	0,52	0,52	138,93	0,20	1,08	4842,50	4224,62
903,74	534,42	0,54	0,54	133,50	0,21	1,11	5064,39	4418,19
904,23	556,05	0,56	0,55	128,35	0,22	1,15	5290,87	4615,78

904,72	578,17	0,58	0,57	123,48	0,23	1,19	5522,02	4817,43
905,20	600,81	0,59	0,59	118,87	0,23	1,22	5757,99	5023,30
905,67	624,00	0,61	0,60	114,50	0,24	1,26	5998,88	5233,44
906,14	647,77	0,63	0,62	110,32	0,25	1,29	6244,91	5448,09
906,60	672,15	0,65	0,64	106,35	0,26	1,33	6496,17	5667,28
907,04	697,19	0,66	0,66	102,56	0,27	1,37	6752,89	5891,25
907,47	722,91	0,68	0,67	98,93	0,28	1,40	7015,23	6120,12
907,87	749,37	0,70	0,69	95,46	0,29	1,44	7283,42	6354,08
908,25	776,61	0,72	0,71	92,13	0,30	1,47	7557,67	6593,35
908,61	804,66	0,73	0,72	88,94	0,31	1,51	7838,25	6838,12
908,94	833,60	0,75	0,74	85,86	0,32	1,55	8125,45	7088,68
909,23	863,47	0,77	0,76	82,89	0,34	1,58	8419,55	7345,25
909,49	894,34	0,79	0,78	80,03	0,35	1,62	8720,89	7608,14
909,71	926,26	0,80	0,79	77,27	0,36	1,65	9029,82	7877,66
909,87	959,30	0,82	0,81	74,60	0,37	1,69	9346,72	8154,12
909,99	993,55	0,84	0,83	72,01	0,39	1,72	9672,03	8437,92
910,05	1029,09	0,86	0,85	69,50	0,40	1,76	10006,23	8729,48
910,05	1066,00	0,87	0,86	67,07	0,42	1,80	10349,83	9029,24
909,97	1104,39	0,89	0,88	64,71	0,43	1,83	10703,43	9337,72
909,82	1144,37	0,91	0,90	62,41	0,45	1,87	11067,62	9655,44
909,58	1186,03	0,93	0,91	60,18	0,46	1,90	11443,06	9982,97
909,25	1229,53	0,94	0,93	58,00	0,48	1,94	11830,57	10321,04
909,58	1186,03	0,93	0,95	60,18	0,46	1,98	11443,06	9982,97
909,82	1144,37	0,91	0,97	62,41	0,45	2,01	11067,62	9655,44
909,97	1104,39	0,89	0,98	64,71	0,43	2,05	10703,43	9337,72
910,05	1066,00	0,87	1,00	67,07	0,42	2,08	10349,83	9029,24
910,05	1029,09	0,86	1,02	69,50	0,40	2,12	10006,23	8729,48
909,99	993,55	0,84	1,04	72,01	0,39	2,16	9672,03	8437,92
909,87	959,30	0,82	1,05	74,60	0,37	2,19	9346,72	8154,12
909,71	926,26	0,80	1,07	77,27	0,36	2,23	9029,82	7877,66
909,49	894,34	0,79	1,09	80,03	0,35	2,26	8720,89	7608,14
909,23	863,47	0,77	1,10	82,89	0,34	2,30	8419,55	7345,25
908,94	833,60	0,75	1,12	85,86	0,32	2,34	8125,45	7088,68
908,61	804,66	0,73	1,14	88,94	0,31	2,37	7838,25	6838,12
908,25	776,61	0,72	1,16	92,13	0,30	2,41	7557,67	6593,35
907,87	749,37	0,70	1,17	95,46	0,29	2,44	7283,42	6354,08
907,47	722,91	0,68	1,19	98,93	0,28	2,48	7015,23	6120,12
907,04	697,19	0,66	1,21	102,56	0,27	2,52	6752,89	5891,25
906,60	672,15	0,65	1,23	106,35	0,26	2,55	6496,17	5667,28
906,14	647,77	0,63	1,24	110,32	0,25	2,59	6244,91	5448,09

905,67	624,00	0,61	1,26	114,50	0,24	2,62	5998,88	5233,44
905,20	600,81	0,59	1,28	118,87	0,23	2,66	5757,99	5023,30
904,72	578,17	0,58	1,29	123,48	0,23	2,69	5522,02	4817,43
904,23	556,05	0,56	1,31	128,35	0,22	2,73	5290,87	4615,78
903,74	534,42	0,54	1,33	133,50	0,21	2,77	5064,39	4418,19
903,25	513,25	0,52	1,35	138,93	0,20	2,80	4842,50	4224,62
902,76	492,52	0,51	1,36	144,73	0,19	2,84	4625,04	4034,90
902,27	472,20	0,49	1,38	150,91	0,18	2,87	4411,92	3848,98
901,79	452,28	0,47	1,40	157,49	0,18	2,91	4203,09	3666,80
901,32	432,72	0,45	1,42	164,53	0,17	2,95	3998,46	3488,27
900,84	413,51	0,44	1,43	172,12	0,16	2,98	3797,89	3313,30
900,38	394,63	0,42	1,45	180,28	0,15	3,02	3601,38	3141,86
899,94	376,06	0,40	1,47	189,09	0,15	3,05	3408,86	2973,91
899,50	357,78	0,38	1,48	198,69	0,14	3,09	3220,24	2809,35
899,07	339,77	0,37	1,50	209,14	0,13	3,13	3035,48	2648,16
898,65	322,02	0,35	1,52	220,60	0,13	3,16	2854,52	2490,30
898,26	304,52	0,33	1,54	233,19	0,12	3,20	2677,36	2335,74
897,88	287,24	0,31	1,55	247,12	0,11	3,23	2503,94	2184,45
897,51	270,17	0,30	1,57	262,64	0,11	3,27	2334,21	2036,37
897,15	253,30	0,28	1,59	280,08	0,10	3,31	2168,14	1891,49
896,82	236,61	0,26	1,61	299,72	0,09	3,34	2005,73	1749,81
896,51	220,09	0,24	1,62	322,11	0,09	3,38	1846,95	1611,28
896,21	203,73	0,23	1,64	347,90	0,08	3,41	1691,76	1475,90
895,93	187,52	0,21	1,66	377,88	0,07	3,45	1540,17	1343,65
895,67	171,44	0,19	1,67	413,25	0,07	3,49	1392,16	1214,53
895,44	155,48	0,17	1,69	455,55	0,06	3,52	1247,73	1088,52
895,22	139,62	0,16	1,71	507,20	0,05	3,56	1106,85	965,62
895,03	123,87	0,14	1,73	571,59	0,05	3,59	969,54	845,83
894,85	108,20	0,12	1,74	654,30	0,04	3,63	835,80	729,15
894,71	92,60	0,10	1,76	764,31	0,04	3,66	705,62	615,59
894,58	77,07	0,09	1,78	918,27	0,03	3,70	579,01	505,13
894,48	61,60	0,07	1,79	1148,83	0,02	3,74	455,99	397,81
894,40	46,16	0,05	1,81	1532,90	0,02	3,77	336,56	293,62
894,34	30,76	0,03	1,83	2300,72	0,01	3,81	220,74	192,58
894,30	15,37	0,02	1,85	4602,66	0,01	3,84	108,55	94,70

Dades i valors carreges transitòries en la pipa de direcció corba 17

Nf (N)	Fsf (N)	Roll (rad)	angle curva (rad)	Radi (m)	Vangular (rad/s)	temps (s)	F1 (N)	F2 (N)
832,76	14,30	0,02	0,02	10289,79	0,00	0,08	101,08	88,18
832,82	28,61	0,03	0,05	5143,30	0,01	0,15	205,55	179,32
832,92	42,94	0,05	0,07	3427,05	0,01	0,23	313,41	273,42
833,05	57,30	0,07	0,10	2568,60	0,02	0,30	424,64	370,46
833,23	71,70	0,09	0,12	2052,86	0,02	0,38	539,26	470,45
833,44	86,16	0,10	0,14	1708,88	0,02	0,45	657,23	573,37
833,70	100,69	0,12	0,17	1462,78	0,03	0,53	778,58	679,24
834,00	115,29	0,14	0,19	1277,89	0,03	0,60	903,31	788,05
834,33	129,98	0,16	0,22	1133,94	0,04	0,68	1031,40	899,80
834,69	144,76	0,17	0,24	1018,58	0,04	0,76	1162,88	1014,51
835,10	159,66	0,19	0,27	923,97	0,05	0,83	1297,77	1132,18
835,55	174,68	0,21	0,29	844,91	0,05	0,91	1436,09	1252,85
836,02	189,84	0,23	0,31	777,94	0,05	0,98	1577,81	1376,49
836,53	205,14	0,24	0,34	720,34	0,06	1,06	1723,01	1503,16
837,08	220,61	0,26	0,36	670,23	0,06	1,13	1871,70	1632,88
837,66	236,24	0,28	0,39	626,29	0,07	1,21	2023,89	1765,65
838,28	252,07	0,30	0,41	587,40	0,07	1,28	2179,62	1901,51
838,93	268,09	0,31	0,43	552,67	0,08	1,36	2338,95	2040,51
839,61	284,33	0,33	0,46	521,51	0,08	1,43	2501,88	2182,65
840,31	300,80	0,35	0,48	493,39	0,08	1,51	2668,46	2327,97
841,05	317,52	0,37	0,51	467,79	0,09	1,59	2838,78	2476,56
841,81	334,50	0,38	0,53	444,44	0,09	1,66	3012,85	2628,43
842,61	351,75	0,40	0,56	423,01	0,10	1,74	3190,76	2783,63
843,42	369,30	0,42	0,58	403,31	0,10	1,81	3372,52	2942,20
844,26	387,17	0,44	0,60	385,04	0,11	1,89	3558,28	3104,26
845,12	405,36	0,45	0,63	368,14	0,11	1,96	3748,01	3269,78
846,01	423,91	0,47	0,65	352,36	0,12	2,04	3941,91	3438,94
846,91	442,83	0,49	0,68	337,66	0,12	2,11	4139,94	3611,71
847,83	462,15	0,51	0,70	323,88	0,13	2,19	4342,28	3788,23
848,77	481,88	0,52	0,72	310,94	0,13	2,27	4549,00	3968,57
849,72	502,05	0,54	0,75	298,77	0,14	2,34	4760,21	4152,83
850,69	522,70	0,56	0,77	287,27	0,15	2,42	4976,03	4341,11
851,66	543,83	0,58	0,80	276,41	0,15	2,49	5196,55	4533,49
852,63	565,48	0,59	0,82	266,12	0,16	2,57	5421,95	4730,13
853,62	587,70	0,61	0,85	256,33	0,16	2,64	5652,40	4931,18

854,61	610,48	0,63	0,87	247,04	0,17	2,72	5887,96	5136,68
855,60	633,90	0,65	0,89	238,16	0,17	2,79	6128,90	5346,88
856,58	657,96	0,66	0,92	229,69	0,18	2,87	6375,37	5561,90
857,56	682,72	0,68	0,94	221,60	0,19	2,94	6627,52	5781,88
858,52	708,21	0,70	0,97	213,85	0,19	3,02	6885,61	6007,04
859,47	734,47	0,72	0,99	206,42	0,20	3,10	7149,85	6237,56
860,41	761,56	0,73	1,01	199,27	0,21	3,17	7420,56	6473,73
861,33	789,54	0,75	1,04	192,39	0,22	3,25	7697,97	6715,74
862,22	818,43	0,77	1,06	185,77	0,22	3,32	7982,35	6963,84
863,08	848,32	0,79	1,09	179,38	0,23	3,40	8274,07	7218,33
863,91	879,27	0,80	1,11	173,21	0,24	3,47	8573,46	7479,52
864,70	911,33	0,82	1,14	167,25	0,25	3,55	8880,93	7747,76
865,43	944,59	0,84	1,16	161,48	0,26	3,62	9196,85	8023,37
866,13	979,13	0,86	1,18	155,87	0,27	3,70	9521,80	8306,86
866,76	1015,04	0,87	1,21	150,44	0,28	3,78	9856,15	8598,55
867,32	1052,40	0,89	1,23	145,18	0,29	3,85	10200,50	8898,96
867,81	1091,33	0,91	1,26	140,05	0,30	3,93	10555,50	9208,66
868,21	1131,94	0,93	1,28	135,06	0,31	4,00	10921,79	9528,22
868,53	1174,37	0,94	1,30	130,20	0,32	4,08	11300,19	9858,33
868,21	1131,94	0,93	1,33	135,06	0,31	4,15	10921,79	9528,22
867,81	1091,33	0,91	1,35	140,05	0,30	4,23	10555,50	9208,66
867,32	1052,40	0,89	1,38	145,18	0,29	4,30	10200,50	8898,96
866,76	1015,04	0,87	1,40	150,44	0,28	4,38	9856,15	8598,55
866,13	979,13	0,86	1,43	155,87	0,27	4,45	9521,80	8306,86
865,43	944,59	0,84	1,45	161,48	0,26	4,53	9196,85	8023,37
864,70	911,33	0,82	1,47	167,25	0,25	4,61	8880,93	7747,76
863,91	879,27	0,80	1,50	173,21	0,24	4,68	8573,46	7479,52
863,08	848,32	0,79	1,52	179,38	0,23	4,76	8274,07	7218,33
862,22	818,43	0,77	1,55	185,77	0,22	4,83	7982,35	6963,84
861,33	789,54	0,75	1,57	192,39	0,22	4,91	7697,97	6715,74
860,41	761,56	0,73	1,59	199,27	0,21	4,98	7420,56	6473,73
859,47	734,47	0,72	1,62	206,42	0,20	5,06	7149,85	6237,56
858,52	708,21	0,70	1,64	213,85	0,19	5,13	6885,61	6007,04
857,56	682,72	0,68	1,67	221,60	0,19	5,21	6627,52	5781,88
856,58	657,96	0,66	1,69	229,69	0,18	5,29	6375,37	5561,90
855,60	633,90	0,65	1,72	238,16	0,17	5,36	6128,90	5346,88
854,61	610,48	0,63	1,74	247,04	0,17	5,44	5887,96	5136,68
853,62	587,70	0,61	1,76	256,33	0,16	5,51	5652,40	4931,18
852,63	565,48	0,59	1,79	266,12	0,16	5,59	5421,95	4730,13
851,66	543,83	0,58	1,81	276,41	0,15	5,66	5196,55	4533,49
850,69	522,70	0,56	1,84	287,27	0,15	5,74	4976,03	4341,11

849,72	502,05	0,54	1,86	298,77	0,14	5,81	4760,21	4152,83
848,77	481,88	0,52	1,88	310,94	0,13	5,89	4549,00	3968,57
847,83	462,15	0,51	1,91	323,88	0,13	5,97	4342,28	3788,23
846,91	442,83	0,49	1,93	337,66	0,12	6,04	4139,94	3611,71
846,01	423,91	0,47	1,96	352,36	0,12	6,12	3941,91	3438,94
845,12	405,36	0,45	1,98	368,14	0,11	6,19	3748,01	3269,78
844,26	387,17	0,44	2,01	385,04	0,11	6,27	3558,28	3104,26
843,42	369,30	0,42	2,03	403,31	0,10	6,34	3372,52	2942,20
842,61	351,75	0,40	2,05	423,01	0,10	6,42	3190,76	2783,63
841,81	334,50	0,38	2,08	444,44	0,09	6,49	3012,85	2628,43
841,05	317,52	0,37	2,10	467,79	0,09	6,57	2838,78	2476,56
840,31	300,80	0,35	2,13	493,39	0,08	6,64	2668,46	2327,97
839,61	284,33	0,33	2,15	521,51	0,08	6,72	2501,88	2182,65
838,93	268,09	0,31	2,17	552,67	0,08	6,80	2338,95	2040,51
838,28	252,07	0,30	2,20	587,40	0,07	6,87	2179,62	1901,51
837,66	236,24	0,28	2,22	626,29	0,07	6,95	2023,89	1765,65
837,08	220,61	0,26	2,25	670,23	0,06	7,02	1871,70	1632,88
836,53	205,14	0,24	2,27	720,34	0,06	7,10	1723,01	1503,16
836,02	189,84	0,23	2,30	777,94	0,05	7,17	1577,81	1376,49
835,55	174,68	0,21	2,32	844,91	0,05	7,25	1436,09	1252,85
835,10	159,66	0,19	2,34	923,97	0,05	7,32	1297,77	1132,18
834,69	144,76	0,17	2,37	1018,58	0,04	7,40	1162,88	1014,51
834,33	129,98	0,16	2,39	1133,94	0,04	7,48	1031,40	899,80
834,00	115,29	0,14	2,42	1277,89	0,03	7,55	903,31	788,05
833,70	100,69	0,12	2,44	1462,78	0,03	7,63	778,58	679,24
833,44	86,16	0,10	2,46	1708,88	0,02	7,70	657,23	573,37
833,23	71,70	0,09	2,49	2052,86	0,02	7,78	539,26	470,45
833,05	57,30	0,07	2,51	2568,60	0,02	7,85	424,64	370,46
832,92	42,94	0,05	2,54	3427,05	0,01	7,93	313,41	273,42
832,82	28,61	0,03	2,56	5143,30	0,01	8,00	205,55	179,32
832,76	14,30	0,02	2,59	10289,79	0,00	8,08	101,08	88,18

Dades i valors carreges transitòries en la pipa de direcció frenada corba 1

V (km/h)	Temps (s)	S (N)	dist. (m)	Nf (N)	Ff (N)	F1 (N)	F2 (N)
150,00	0,00	717,47	0,00	592,20	0,00	-477,41	-590,19
150,50	0,65	715,06	2,80	593,18	0,00	-478,21	-591,18
151,00	0,65	712,65	5,63	594,17	0,00	-479,01	-592,17
151,50	0,66	710,23	8,49	595,17	0,00	-479,81	-593,16
152,00	0,66	707,81	11,40	596,16	0,00	-480,61	-594,16
152,50	0,67	705,39	14,33	597,15	0,00	-481,42	-595,15
153,00	0,67	702,96	17,31	598,15	0,00	-482,22	-596,15
153,50	0,68	700,53	20,32	599,15	0,00	-483,03	-597,14
154,00	0,86	662,40	23,50	614,80	0,00	-495,69	-612,79
154,50	0,87	660,71	26,79	615,49	0,00	-496,25	-613,49
155,00	0,88	659,03	30,13	616,18	0,00	-496,81	-614,18
155,50	1,54	657,36	33,50	616,86	0,00	-497,36	-614,86
156,00	1,55	655,71	36,92	617,54	0,00	-497,91	-615,54
156,50	1,57	654,06	40,38	618,22	0,00	-498,46	-616,22
157,00	1,59	652,42	43,88	618,89	0,00	-499,00	-616,89
157,50	1,61	650,79	47,42	619,56	0,00	-499,54	-617,56
158,00	1,62	649,18	51,00	620,22	0,00	-500,08	-618,22
158,50	1,64	647,57	54,63	620,88	0,00	-500,61	-618,88
159,00	1,66	645,97	58,31	621,54	0,00	-501,14	-619,54
159,50	1,68	644,38	62,03	622,19	0,00	-501,67	-620,19
160,00	1,70	642,80	65,79	622,84	0,00	-502,20	-620,84
160,50	2,36	641,23	69,60	623,49	0,00	-502,72	-621,48
161,00	2,38	639,66	73,47	624,13	0,00	-503,24	-622,12
161,50	2,41	638,11	77,38	624,77	0,00	-503,75	-622,76
162,00	2,43	636,56	81,34	625,40	0,00	-504,27	-623,40
162,50	2,46	635,02	85,35	626,03	0,00	-504,78	-624,03
163,00	2,48	633,49	89,41	626,66	0,00	-505,29	-624,66
163,50	2,51	631,96	93,52	627,29	0,00	-505,79	-625,29
164,00	2,54	630,44	97,69	627,91	0,00	-506,30	-625,91
164,50	2,56	628,93	101,91	628,53	0,00	-506,80	-626,53
165,00	2,59	627,43	106,27	629,15	0,00	-507,30	-627,15
165,50	3,28	625,93	111,49	629,77	0,00	-507,80	-627,76
166,00	3,34	624,43	116,79	630,38	0,00	-508,29	-628,38
166,50	3,39	622,95	122,19	630,99	0,00	-508,79	-628,99
167,00	3,45	621,46	127,69	631,60	0,00	-509,28	-629,59

167,50	3,50	619,99	133,28	632,20	0,00	-509,77	-630,20
168,00	3,56	618,52	138,97	632,81	0,00	-510,26	-630,80
168,50	3,62	617,05	144,77	633,41	0,00	-510,74	-631,41
169,00	3,68	615,59	150,67	634,01	0,00	-511,23	-632,00
169,50	3,74	614,13	156,68	634,61	0,00	-511,71	-632,60
170,00	3,81	612,68	162,81	635,20	0,00	-512,19	-633,20
170,50	4,52	611,23	169,06	635,80	0,00	-512,68	-633,79
171,00	4,59	609,78	175,43	636,39	0,00	-513,16	-634,39
171,50	4,66	608,34	181,92	636,98	0,00	-513,63	-634,98
172,00	4,74	606,90	188,55	637,57	0,00	-514,11	-635,57
172,50	4,82	605,47	195,31	638,16	0,00	-514,59	-636,16
173,00	4,90	604,04	202,21	638,75	0,00	-515,06	-636,75
173,50	4,98	602,61	209,26	639,34	0,00	-515,54	-637,33
174,00	5,06	601,18	216,46	639,92	0,00	-516,01	-637,92
174,50	5,15	599,76	223,81	640,51	0,00	-516,49	-638,50
175,00	5,24	598,33	231,33	641,09	0,00	-516,96	-639,09
175,50	5,97	596,91	239,02	641,67	0,00	-517,43	-639,67
176,00	6,07	595,49	246,88	642,26	0,00	-517,90	-640,25
176,50	6,17	594,07	254,93	642,84	0,00	-518,37	-640,84
177,00	6,28	592,66	263,17	643,42	0,00	-518,84	-641,42
177,50	6,39	591,24	271,61	644,00	0,00	-519,31	-642,00
178,00	6,50	589,83	280,26	644,58	0,00	-519,78	-642,58
178,50	6,61	588,41	289,13	645,16	0,00	-520,25	-643,16
179,00	6,73	587,00	298,23	645,74	0,00	-520,72	-643,74
179,50	6,85	585,58	307,57	646,32	0,00	-521,19	-644,32
180,00	6,98	584,17	317,17	646,90	0,00	-521,66	-644,90
180,50	7,75	582,76	327,02	647,48	0,00	-522,13	-645,48
181,00	7,89	581,34	337,16	648,06	0,00	-522,60	-646,06
181,50	8,04	579,93	347,60	648,64	0,00	-523,07	-646,64
182,00	8,19	578,51	358,35	649,22	0,00	-523,54	-647,22
182,50	8,34	577,10	369,42	649,80	0,00	-524,01	-647,80
183,00	8,50	575,68	380,85	650,39	0,00	-524,48	-648,38
183,50	8,67	574,27	392,64	650,97	0,00	-524,95	-648,96
184,00	8,84	572,85	404,83	651,55	0,00	-525,42	-649,55
184,50	9,02	571,43	417,44	652,13	0,00	-525,89	-650,13
185,00	9,21	570,01	430,49	652,71	0,00	-526,36	-650,71
185,50	10,05	568,59	444,03	653,30	0,00	-526,83	-651,29
183,32	11,15	0,00	467,68	1947,29	1908,14	10857,82	12249,14
179,15	11,25	0,00	472,96	1947,29	1908,14	10857,82	12249,14

174,98	11,35	0,00	478,15	1947,29	1908,14	10857,82	12249,14
170,81	11,45	0,00	483,26	1947,29	1908,14	10857,82	12249,14
166,64	11,55	0,00	488,29	1947,29	1908,14	10857,82	12249,14
162,47	11,65	0,00	493,22	1947,29	1908,14	10857,82	12249,14
158,30	11,75	0,00	498,06	1947,29	1908,14	10857,82	12249,14
154,13	11,85	0,00	502,81	1947,29	1908,14	10857,82	12249,14
149,96	11,95	0,00	507,46	1947,29	1908,14	10857,82	12249,14
145,79	12,05	0,00	512,02	1947,29	1908,14	10857,82	12249,14
141,62	12,15	0,00	516,48	1947,29	1908,14	10857,82	12249,14
137,45	12,25	0,00	520,83	1947,29	1908,14	10857,82	12249,14
133,28	12,35	0,00	525,09	1947,29	1908,14	10857,82	12249,14
129,11	12,45	0,00	529,24	1947,29	1908,14	10857,82	12249,14
124,94	12,55	0,00	533,28	1947,29	1908,14	10857,82	12249,14
120,77	12,65	0,00	537,21	1947,29	1908,14	10857,82	12249,14
116,60	12,75	0,00	541,04	1947,29	1908,14	10857,82	12249,14
112,43	12,84	0,00	544,75	1947,29	1908,14	10857,82	12249,14
108,26	12,94	0,00	548,35	1947,29	1908,14	10857,82	12249,14
104,09	13,04	0,00	551,83	1947,29	1908,14	10857,82	12249,14
99,92	13,14	0,00	555,20	927,09	0,00	-748,30	-925,09

Dades i valors carreges transitòries en la recta de meta de Motorland.

V (km/h)	Temps (s)	S (N)	dist. (m)	Nf (N)	Ff (N)	F1 (N)	F2 (N)
150,00	0,00	717,47	0,00	592,20	0,00	-477,41	-590,19
150,50	0,65	715,06	2,80	593,18	0,00	-478,21	-591,18
151,00	0,65	712,65	5,63	594,17	0,00	-479,01	-592,17
151,50	0,66	710,23	8,49	595,17	0,00	-479,81	-593,16
152,00	0,66	707,81	11,40	596,16	0,00	-480,61	-594,16
152,50	0,67	705,39	14,33	597,15	0,00	-481,42	-595,15
153,00	0,67	702,96	17,31	598,15	0,00	-482,22	-596,15
153,50	0,68	700,53	20,32	599,15	0,00	-483,03	-597,14
154,00	0,86	662,40	23,50	614,80	0,00	-495,69	-612,79
154,50	0,87	660,71	26,79	615,49	0,00	-496,25	-613,49
155,00	0,88	659,03	30,13	616,18	0,00	-496,81	-614,18
155,50	1,54	657,36	33,50	616,86	0,00	-497,36	-614,86
156,00	1,55	655,71	36,92	617,54	0,00	-497,91	-615,54
156,50	1,57	654,06	40,38	618,22	0,00	-498,46	-616,22
157,00	1,59	652,42	43,88	618,89	0,00	-499,00	-616,89
157,50	1,61	650,79	47,42	619,56	0,00	-499,54	-617,56
158,00	1,62	649,18	51,00	620,22	0,00	-500,08	-618,22
158,50	1,64	647,57	54,63	620,88	0,00	-500,61	-618,88
159,00	1,66	645,97	58,31	621,54	0,00	-501,14	-619,54
159,50	1,68	644,38	62,03	622,19	0,00	-501,67	-620,19
160,00	1,70	642,80	65,79	622,84	0,00	-502,20	-620,84
160,50	2,36	641,23	69,60	623,49	0,00	-502,72	-621,48
161,00	2,38	639,66	73,47	624,13	0,00	-503,24	-622,12
161,50	2,41	638,11	77,38	624,77	0,00	-503,75	-622,76
162,00	2,43	636,56	81,34	625,40	0,00	-504,27	-623,40
162,50	2,46	635,02	85,35	626,03	0,00	-504,78	-624,03
163,00	2,48	633,49	89,41	626,66	0,00	-505,29	-624,66
163,50	2,51	631,96	93,52	627,29	0,00	-505,79	-625,29
164,00	2,54	630,44	97,69	627,91	0,00	-506,30	-625,91
164,50	2,56	628,93	101,91	628,53	0,00	-506,80	-626,53
165,00	2,59	627,43	106,27	629,15	0,00	-507,30	-627,15
165,50	3,28	625,93	111,49	629,77	0,00	-507,80	-627,76

166,00	3,34	624,43	116,79	630,38	0,00	-508,29	-628,38
166,50	3,39	622,95	122,19	630,99	0,00	-508,79	-628,99
167,00	3,45	621,46	127,69	631,60	0,00	-509,28	-629,59
167,50	3,50	619,99	133,28	632,20	0,00	-509,77	-630,20
168,00	3,56	618,52	138,97	632,81	0,00	-510,26	-630,80
168,50	3,62	617,05	144,77	633,41	0,00	-510,74	-631,41
169,00	3,68	615,59	150,67	634,01	0,00	-511,23	-632,00
169,50	3,74	614,13	156,68	634,61	0,00	-511,71	-632,60
170,00	3,81	612,68	162,81	635,20	0,00	-512,19	-633,20
170,50	4,52	611,23	169,06	635,80	0,00	-512,68	-633,79
171,00	4,59	609,78	175,43	636,39	0,00	-513,16	-634,39
171,50	4,66	608,34	181,92	636,98	0,00	-513,63	-634,98
172,00	4,74	606,90	188,55	637,57	0,00	-514,11	-635,57
172,50	4,82	605,47	195,31	638,16	0,00	-514,59	-636,16
173,00	4,90	604,04	202,21	638,75	0,00	-515,06	-636,75
173,50	4,98	602,61	209,26	639,34	0,00	-515,54	-637,33
174,00	5,06	601,18	216,46	639,92	0,00	-516,01	-637,92
174,50	5,15	599,76	223,81	640,51	0,00	-516,49	-638,50
175,00	5,24	598,33	231,33	641,09	0,00	-516,96	-639,09
175,50	5,97	596,91	239,02	641,67	0,00	-517,43	-639,67
176,00	6,07	595,49	246,88	642,26	0,00	-517,90	-640,25
176,50	6,17	594,07	254,93	642,84	0,00	-518,37	-640,84
177,00	6,28	592,66	263,17	643,42	0,00	-518,84	-641,42
177,50	6,39	591,24	271,61	644,00	0,00	-519,31	-642,00
178,00	6,50	589,83	280,26	644,58	0,00	-519,78	-642,58
178,50	6,61	588,41	289,13	645,16	0,00	-520,25	-643,16
179,00	6,73	587,00	298,23	645,74	0,00	-520,72	-643,74
179,50	6,85	585,58	307,57	646,32	0,00	-521,19	-644,32
180,00	6,98	584,17	317,17	646,90	0,00	-521,66	-644,90
180,50	7,75	582,76	327,02	647,48	0,00	-522,13	-645,48
181,00	7,89	581,34	337,16	648,06	0,00	-522,60	-646,06
181,50	8,04	579,93	347,60	648,64	0,00	-523,07	-646,64
182,00	8,19	578,51	358,35	649,22	0,00	-523,54	-647,22
182,50	8,34	577,10	369,42	649,80	0,00	-524,01	-647,80
183,00	8,50	575,68	380,85	650,39	0,00	-524,48	-648,38
183,50	8,67	574,27	392,64	650,97	0,00	-524,95	-648,96
184,00	8,84	572,85	404,83	651,55	0,00	-525,42	-649,55
184,50	9,02	571,43	417,44	652,13	0,00	-525,89	-650,13
185,00	9,21	570,01	430,49	652,71	0,00	-526,36	-650,71
185,50	10,05	568,59	444,03	653,30	0,00	-526,83	-651,29

183,32	11,15	0,00	467,68	1947,29	1908,14	10857,82	12249,14
179,15	11,25	0,00	472,96	1947,29	1908,14	10857,82	12249,14
174,98	11,35	0,00	478,15	1947,29	1908,14	10857,82	12249,14
170,81	11,45	0,00	483,26	1947,29	1908,14	10857,82	12249,14
166,64	11,55	0,00	488,29	1947,29	1908,14	10857,82	12249,14
162,47	11,65	0,00	493,22	1947,29	1908,14	10857,82	12249,14
158,30	11,75	0,00	498,06	1947,29	1908,14	10857,82	12249,14
154,13	11,85	0,00	502,81	1947,29	1908,14	10857,82	12249,14
149,96	11,95	0,00	507,46	1947,29	1908,14	10857,82	12249,14
145,79	12,05	0,00	512,02	1947,29	1908,14	10857,82	12249,14
141,62	12,15	0,00	516,48	1947,29	1908,14	10857,82	12249,14
137,45	12,25	0,00	520,83	1947,29	1908,14	10857,82	12249,14
133,28	12,35	0,00	525,09	1947,29	1908,14	10857,82	12249,14
129,11	12,45	0,00	529,24	1947,29	1908,14	10857,82	12249,14
124,94	12,55	0,00	533,28	1947,29	1908,14	10857,82	12249,14
120,77	12,65	0,00	537,21	1947,29	1908,14	10857,82	12249,14
116,60	12,75	0,00	541,04	1947,29	1908,14	10857,82	12249,14
112,43	12,84	0,00	544,75	1947,29	1908,14	10857,82	12249,14
108,26	12,94	0,00	548,35	1947,29	1908,14	10857,82	12249,14
104,09	13,04	0,00	551,83	1947,29	1908,14	10857,82	12249,14
99,92	13,14	0,00	555,20	927,09	0,00	-748,30	-925,09

A9. Dades anàlisi dinàmic

Tram recta principal

Graph Title: Displacement - Nodal (At Node 873263)

Abscissa Label:Time

Abscissa Unit: seconds

Ordinate Label:Displacement - Nodal

Ordinate Unit: mm

Data Format: Real Only

Record Name: At Node 873263

	X Value	Y Value
1.	0.000000E+000	0.000000E+000
2.	1.412900E-001	3.652773E-002
3.	2.825800E-001	3.655970E-002
4.	4.238700E-001	3.658436E-002
5.	5.651600E-001	3.656779E-002
6.	7.064500E-001	3.710368E-002
7.	8.477400E-001	3.787771E-002
8.	9.890300E-001	3.800683E-002
9.	1.130320E+000	3.803497E-002
10.	1.271610E+000	3.805562E-002
11.	1.412900E+000	3.803587E-002
12.	1.554190E+000	3.811040E-002
13.	1.695480E+000	3.843198E-002



14. 1.836770E+000 3.841955E-002
15. 1.978060E+000 3.844652E-002
16. 2.119350E+000 3.846576E-002
17. 2.260640E+000 3.844506E-002
18. 2.401930E+000 3.854042E-002
19. 2.543220E+000 3.876083E-002
20. 2.684510E+000 3.880848E-002
21. 2.825800E+000 3.883471E-002
22. 2.967090E+000 3.885310E-002
23. 3.108380E+000 3.883181E-002
24. 3.249670E+000 3.885801E-002
25. 3.390960E+000 3.894676E-002
26. 3.532250E+000 3.901340E-002
27. 3.673540E+000 3.911569E-002
28. 3.814830E+000 3.920650E-002
29. 3.956120E+000 3.918509E-002
30. 4.097410E+000 3.921105E-002
31. 4.238700E+000 3.922915E-002
32. 4.379990E+000 3.920776E-002
33. 4.521280E+000 3.923432E-002
34. 4.662570E+000 3.931574E-002
35. 4.803860E+000 3.935387E-002
36. 4.945150E+000 3.943517E-002
37. 5.086440E+000 3.950814E-002
38. 5.227730E+000 3.953885E-002
39. 5.369020E+000 3.956813E-002
40. 5.510310E+000 3.958490E-002
41. 5.651600E+000 3.956234E-002
42. 5.792890E+000 3.958696E-002
43. 5.934180E+000 3.960373E-002

- 44. 6.075470E+000 3.961642E-002
- 45. 6.216760E+000 3.968275E-002
- 46. 6.358050E+000 3.973882E-002
- 47. 6.499340E+000 3.975877E-002
- 48. 6.640630E+000 3.982307E-002
- 49. 6.781920E+000 3.987284E-002
- 50. 6.923210E+000 3.988697E-002
- 51. 7.064500E+000 3.992539E-002
- 52. 7.205790E+000 3.994182E-002
- 53. 7.347080E+000 3.991904E-002
- 54. 7.488370E+000 3.994324E-002
- 55. 7.629660E+000 3.995967E-002
- 56. 7.770950E+000 3.994172E-002
- 57. 7.912240E+000 3.999756E-002
- 58. 8.053530E+000 4.004179E-002
- 59. 8.194820E+000 4.004387E-002
- 60. 8.336110E+000 4.009779E-002
- 61. 8.477400E+000 4.014182E-002
- 62. 8.618690E+000 4.014505E-002
- 63. 8.759980E+000 4.019183E-002
- 64. 8.901270E+000 4.022988E-002
- 65. 9.042560E+000 4.022968E-002
- 66. 9.183850E+000 4.027602E-002
- 67. 9.325140E+000 4.029614E-002
- 68. 9.466430E+000 4.027306E-002
- 69. 9.607720E+000 4.029660E-002
- 70. 9.749010E+000 4.031250E-002
- 71. 9.890300E+000 4.028945E-002
- 72. 1.003159E+001 4.031297E-002
- 73. 1.017288E+001 5.468533E-002



74. 1.031417E+001 1.639951E-001
75. 1.045546E+001 2.732968E-001
76. 1.059675E+001 3.825329E-001
77. 1.073804E+001 4.918447E-001
78. 1.087933E+001 6.011468E-001
79. 1.102062E+001 7.103831E-001
80. 1.116191E+001 8.104870E-001
81. 1.130320E+001 8.105494E-001
82. 1.144449E+001 8.104922E-001
83. 1.158578E+001 8.104870E-001
84. 1.172707E+001 8.105494E-001
85. 1.186836E+001 8.104923E-001
86. 1.200965E+001 8.104871E-001
87. 1.215094E+001 8.105493E-001
88. 1.229223E+001 8.104923E-001
89. 1.243352E+001 8.104871E-001
90. 1.257481E+001 8.105493E-001
91. 1.271610E+001 8.104923E-001
92. 1.285739E+001 8.104871E-001
93. 1.299868E+001 8.105492E-001
94. 1.313997E+001 5.663211E-002

Graph Title: Stress - Elemental (At Element 339828)

Abscissa Label:Time

Abscissa Unit: seconds

Ordinate Label:Stress - Elemental

Ordinate Unit: N/mm²(MPa)

Data Format: Real Only

Record Name: At Element 339828

	X Value	Y Value
1.	0.000000E+000	0.000000E+000
2.	1.412900E-001	1.139155E+001
3.	2.825800E-001	1.140035E+001
4.	4.238700E-001	1.140928E+001
5.	5.651600E-001	1.140414E+001
6.	7.064500E-001	1.156961E+001
7.	8.477400E-001	1.181217E+001
8.	9.890300E-001	1.185289E+001
9.	1.130320E+000	1.186037E+001
10.	1.271610E+000	1.186786E+001
11.	1.412900E+000	1.186157E+001
12.	1.554190E+000	1.188316E+001
13.	1.695480E+000	1.198458E+001
14.	1.836770E+000	1.198086E+001
15.	1.978060E+000	1.198836E+001
16.	2.119350E+000	1.199578E+001
17.	2.260640E+000	1.198955E+001
18.	2.401930E+000	1.201763E+001
19.	2.543220E+000	1.208746E+001
20.	2.684510E+000	1.210320E+001
21.	2.825800E+000	1.211018E+001
22.	2.967090E+000	1.211703E+001
23.	3.108380E+000	1.211031E+001
24.	3.249670E+000	1.211729E+001
25.	3.390960E+000	1.214561E+001
26.	3.532250E+000	1.216574E+001
27.	3.673540E+000	1.219762E+001

28. 3.814830E+000 1.222657E+001
29. 3.956120E+000 1.221982E+001
30. 4.097410E+000 1.222672E+001
31. 4.238700E+000 1.223348E+001
32. 4.379990E+000 1.222674E+001
33. 4.521280E+000 1.223383E+001
34. 4.662570E+000 1.226159E+001
35. 4.803860E+000 1.227301E+001
36. 4.945150E+000 1.229697E+001
37. 5.086440E+000 1.232059E+001
38. 5.227730E+000 1.232974E+001
39. 5.369020E+000 1.233797E+001
40. 5.510310E+000 1.234464E+001
41. 5.651600E+000 1.233786E+001
42. 5.792890E+000 1.234470E+001
43. 5.934180E+000 1.235136E+001
44. 6.075470E+000 1.235502E+001
45. 6.216760E+000 1.237366E+001
46. 6.358050E+000 1.239295E+001
47. 6.499340E+000 1.239883E+001
48. 6.640630E+000 1.241752E+001
49. 6.781920E+000 1.243413E+001
50. 6.923210E+000 1.243823E+001
51. 7.064500E+000 1.244915E+001
52. 7.205790E+000 1.245568E+001
53. 7.347080E+000 1.244882E+001
54. 7.488370E+000 1.245552E+001
55. 7.629660E+000 1.246205E+001
56. 7.770950E+000 1.245662E+001
57. 7.912240E+000 1.247247E+001

- 58. 8.053530E+000 1.248612E+001
- 59. 8.194820E+000 1.248808E+001
- 60. 8.336110E+000 1.250355E+001
- 61. 8.477400E+000 1.251818E+001
- 62. 8.618690E+000 1.251896E+001
- 63. 8.759980E+000 1.253314E+001
- 64. 8.901270E+000 1.254626E+001
- 65. 9.042560E+000 1.254507E+001
- 66. 9.183850E+000 1.255823E+001
- 67. 9.325140E+000 1.256579E+001
- 68. 9.466430E+000 1.255882E+001
- 69. 9.607720E+000 1.256531E+001
- 70. 9.749010E+000 1.257163E+001
- 71. 9.890300E+000 1.256467E+001
- 72. 1.003159E+001 1.257115E+001
- 73. 1.017288E+001 1.522342E+001
- 74. 1.031417E+001 4.720767E+001
- 75. 1.045546E+001 7.919172E+001
- 76. 1.059675E+001 1.111549E+002
- 77. 1.073804E+001 1.431391E+002
- 78. 1.087933E+001 1.751232E+002
- 79. 1.102062E+001 2.070863E+002
- 80. 1.116191E+001 2.363761E+002
- 81. 1.130320E+001 2.363950E+002
- 82. 1.144449E+001 2.363800E+002
- 83. 1.158578E+001 2.363762E+002
- 84. 1.172707E+001 2.363950E+002
- 85. 1.186836E+001 2.363801E+002
- 86. 1.200965E+001 2.363762E+002
- 87. 1.215094E+001 2.363950E+002

88. 1.229223E+001 2.363801E+002
89. 1.243352E+001 2.363762E+002
90. 1.257481E+001 2.363950E+002
91. 1.271610E+001 2.363801E+002
92. 1.285739E+001 2.363762E+002
93. 1.299868E+001 2.363949E+002
94. 1.313997E+001 1.767991E+001

Graph Title: Acceleration - Nodal (At Node 873263)

Abscissa Label:Time

Abscissa Unit: seconds

Ordinate Label:Acceleration - Nodal

Ordinate Unit: mm/sec^2

Data Format: Real Only

Record Name: At Node 873263

X Value Y Value

1. 0.000000E+000 1.829784E+000
2. 1.412900E-001 1.828182E+000
3. 2.825800E-001 3.699172E-004
4. 4.238700E-001 2.065622E-003
5. 5.651600E-001 2.767449E-002
6. 7.064500E-001 1.192914E-002
7. 8.477400E-001 3.230579E-002
8. 9.890300E-001 5.058094E-003
9. 1.130320E+000 3.782891E-004
10. 1.271610E+000 2.024590E-003

11. 1.412900E+000 4.723240E-003
12. 1.554190E+000 1.237543E-002
13. 1.695480E+000 1.673166E-002
14. 1.836770E+000 1.973843E-003
15. 1.978060E+000 3.903452E-004
16. 2.119350E+000 2.001061E-003
17. 2.260640E+000 5.814195E-003
18. 2.401930E+000 6.263861E-003
19. 2.543220E+000 8.654334E-003
20. 2.684510E+000 1.072861E-003
21. 2.825800E+000 3.959536E-004
22. 2.967090E+000 1.987894E-003
23. 3.108380E+000 2.379335E-003
24. 3.249670E+000 3.133510E-003
25. 3.390960E+000 1.107093E-003
26. 3.532250E+000 1.787996E-003
27. 3.673540E+000 5.862329E-004
28. 3.814830E+000 5.621996E-003
29. 3.956120E+000 2.373305E-003
30. 4.097410E+000 3.970196E-004
31. 4.238700E+000 1.977661E-003
32. 4.379990E+000 2.401555E-003
33. 4.521280E+000 2.748273E-003
34. 4.662570E+000 2.169316E-003
35. 4.803860E+000 2.163519E-003
36. 4.945150E+000 4.209486E-004
37. 5.086440E+000 2.116757E-003
38. 5.227730E+000 8.605656E-005
39. 5.369020E+000 6.286363E-004
40. 5.510310E+000 1.970308E-003



41. 5.651600E+000 2.363935E-003
42. 5.792890E+000 3.970934E-004
43. 5.934180E+000 2.037029E-004
44. 6.075470E+000 2.687054E-003
45. 6.216760E+000 5.147689E-004
46. 6.358050E+000 1.809005E-003
47. 6.499340E+000 2.221934E-003
48. 6.640630E+000 7.293868E-004
49. 6.781920E+000 1.784730E-003
50. 6.923210E+000 1.216428E-003
51. 7.064500E+000 1.101670E-003
52. 7.205790E+000 1.964401E-003
53. 7.347080E+000 2.353244E-003
54. 7.488370E+000 3.923032E-004
55. 7.629660E+000 1.722148E-003
56. 7.770950E+000 3.696386E-003
57. 7.912240E+000 5.868883E-004
58. 8.053530E+000 2.115064E-003
59. 8.194820E+000 2.596768E-003
60. 8.336110E+000 4.975297E-004
61. 8.477400E+000 2.043739E-003
62. 8.618690E+000 2.181860E-003
63. 8.759980E+000 4.427276E-004
64. 8.901270E+000 1.916029E-003
65. 9.042560E+000 2.332013E-003
66. 9.183850E+000 1.313747E-003
67. 9.325140E+000 2.164969E-003
68. 9.466430E+000 2.336450E-003
69. 9.607720E+000 3.860125E-004
70. 9.749010E+000 1.951743E-003

- 71. 9.890300E+000 2.333434E-003
- 72. 1.003159E+001 4.759544E+000
- 73. 1.017288E+001 7.173988E-001
- 74. 1.031417E+001 5.058630E-004
- 75. 1.045546E+001 3.297628E-003
- 76. 1.059675E+001 3.787582E-003
- 77. 1.073804E+001 5.045241E-004
- 78. 1.087933E+001 3.294025E-003
- 79. 1.102062E+001 4.574713E-001
- 80. 1.116191E+001 5.011383E+000
- 81. 1.130320E+001 5.988298E-003
- 82. 1.144449E+001 2.606852E-003
- 83. 1.158578E+001 3.384686E-003
- 84. 1.172707E+001 5.980902E-003
- 85. 1.186836E+001 2.602720E-003
- 86. 1.200965E+001 3.381402E-003
- 87. 1.215094E+001 5.973508E-003
- 88. 1.229223E+001 2.598588E-003
- 89. 1.243352E+001 3.378123E-003
- 90. 1.257481E+001 5.966121E-003
- 91. 1.271610E+001 2.594462E-003
- 92. 1.285739E+001 3.374845E-003
- 93. 1.299868E+001 4.344251E+001
- 94. 1.313997E+001 4.340395E+001

Tram corba 1

Graph Title: Displacement - Nodal (At Node 858183)

Abscissa Label:Time

Abscissa Unit: seconds

Ordinate Label:Displacement - Nodal

Ordinate Unit: mm

Data Format: Real Only

Record Name: At Node 858183

	X Value	Y Value
1.	0.000000E+000	0.000000E+000
2.	3.590000E-002	1.345235E-002
3.	7.180000E-002	2.750637E-002
4.	1.077000E-001	4.190955E-002
5.	1.436000E-001	5.671418E-002
6.	1.795000E-001	7.212038E-002
7.	2.154000E-001	8.786520E-002
8.	2.513000E-001	1.040105E-001
9.	2.872000E-001	1.207450E-001
10.	3.231000E-001	1.377960E-001
11.	3.590000E-001	1.552907E-001
12.	3.949000E-001	1.734010E-001
13.	4.308000E-001	1.917695E-001
14.	4.667000E-001	2.106000E-001
15.	5.026000E-001	2.299464E-001

16. 5.385000E-001 2.497251E-001
17. 5.744000E-001 2.698580E-001
18. 6.103000E-001 2.906232E-001
19. 6.462000E-001 3.117660E-001
20. 6.821000E-001 3.333242E-001
21. 7.180000E-001 3.554022E-001
22. 7.539000E-001 3.779279E-001
23. 7.898000E-001 4.008635E-001
24. 8.257000E-001 4.244469E-001
25. 8.616000E-001 4.483712E-001
26. 8.975000E-001 4.727683E-001
27. 9.334000E-001 4.978223E-001
28. 9.693000E-001 5.232840E-001
29. 1.005200E+000 5.491723E-001
30. 1.041100E+000 5.757811E-001
31. 1.077000E+000 6.028786E-001
32. 1.112900E+000 6.304126E-001
33. 1.148800E+000 6.586809E-001
34. 1.184700E+000 6.874523E-001
35. 1.220600E+000 7.167381E-001
36. 1.256500E+000 7.468289E-001
37. 1.292400E+000 7.774033E-001
38. 1.328300E+000 8.086129E-001
39. 1.364200E+000 8.406052E-001
40. 1.400100E+000 8.732694E-001
41. 1.436000E+000 9.065512E-001
42. 1.471900E+000 9.408106E-001
43. 1.507800E+000 9.756781E-001
44. 1.543700E+000 1.011360E+000
45. 1.579600E+000 1.048013E+000

46. 1.615500E+000 1.085541E+000
47. 1.651400E+000 1.123828E+000
48. 1.687300E+000 1.163354E+000
49. 1.723200E+000 1.203833E+000
50. 1.759100E+000 1.245182E+000
51. 1.795000E+000 1.288242E+000
52. 1.830900E+000 1.331902E+000
53. 1.866800E+000 1.377563E+000
54. 1.902700E+000 1.424063E+000
55. 1.938600E+000 1.472570E+000
56. 1.974500E+000 1.428913E+000
57. 2.010400E+000 1.381829E+000
58. 2.046300E+000 1.336086E+000
59. 2.082200E+000 1.292693E+000
60. 2.118100E+000 1.249087E+000
61. 2.154000E+000 1.207649E+000
62. 2.189900E+000 1.167483E+000
63. 2.225800E+000 1.127423E+000
64. 2.261700E+000 1.089062E+000
65. 2.297600E+000 1.051865E+000
66. 2.333500E+000 1.014699E+000
67. 2.369400E+000 9.789419E-001
68. 2.405300E+000 9.444172E-001
69. 2.441200E+000 9.096681E-001
70. 2.477100E+000 8.763064E-001
71. 2.513000E+000 8.439988E-001
72. 2.548900E+000 8.115262E-001
73. 2.584800E+000 7.802362E-001
74. 2.620700E+000 7.500282E-001
75. 2.656600E+000 7.194772E-001

- 76. 2.692500E+000 6.901000E-001
- 77. 2.728400E+000 6.617057E-001
- 78. 2.764300E+000 6.329870E-001
- 79. 2.800200E+000 6.053556E-001
- 80. 2.836100E+000 5.786464E-001
- 81. 2.872000E+000 5.515961E-001
- 82. 2.907900E+000 5.255982E-001
- 83. 2.943800E+000 5.005319E-001
- 84. 2.979700E+000 4.750527E-001
- 85. 3.015600E+000 4.505377E-001
- 86. 3.051500E+000 4.270097E-001
- 87. 3.087400E+000 4.030144E-001
- 88. 3.123300E+000 3.799515E-001
- 89. 3.159200E+000 3.578278E-001
- 90. 3.195100E+000 3.353412E-001
- 91. 3.231000E+000 3.136533E-001
- 92. 3.266900E+000 2.929160E-001
- 93. 3.302800E+000 2.717552E-001
- 94. 3.338700E+000 2.514727E-001
- 95. 3.374600E+000 2.321070E-001
- 96. 3.410500E+000 2.123704E-001
- 97. 3.446400E+000 1.933867E-001
- 98. 3.482300E+000 1.754266E-001
- 99. 3.518200E+000 1.569494E-001
- 100. 3.554100E+000 1.392825E-001
- 101. 3.590000E+000 1.226419E-001
- 102. 3.625900E+000 1.055450E-001
- 103. 3.661800E+000 8.921918E-002
- 104. 3.697700E+000 7.388987E-002
- 105. 3.733600E+000 5.812951E-002



106. 3.769500E+000 4.313172E-002
107. 3.805400E+000 2.914480E-002
108. 3.841300E+000 1.474592E-002
109. 3.877200E+000 1.329058E-002

Information listing created by jferr

Date 03-May-2018 00:56:42

Current work part D:\c1\004110_estructura_triangularada_20180319_sim1.sim

Node name desktop-e08u0bk

Graph Title: Stress - Elemental (At Element 299528)

Abscissa Label:Time

Abscissa Unit: seconds

Ordinate Label:Stress - Elemental

Ordinate Unit: N/mm²(MPa)

Data Format: Real Only

Record Name: At Element 299528

X Value Y Value

1. 0.000000E+000 0.000000E+000
2. 3.590000E-002 2.439474E+000
3. 7.180000E-002 4.980957E+000
4. 1.077000E-001 7.592456E+000
5. 1.436000E-001 1.027701E+001
6. 1.795000E-001 1.306309E+001
7. 2.154000E-001 1.591777E+001
8. 2.513000E-001 1.884496E+001
9. 2.872000E-001 2.187204E+001

10. 3.231000E-001 2.496483E+001
11. 3.590000E-001 2.813527E+001
12. 3.949000E-001 3.140882E+001
13. 4.308000E-001 3.474176E+001
14. 4.667000E-001 3.815378E+001
15. 5.026000E-001 4.165753E+001
16. 5.385000E-001 4.524091E+001
17. 5.744000E-001 4.889206E+001
18. 6.103000E-001 5.264901E+001
19. 6.462000E-001 5.647891E+001
20. 6.821000E-001 6.038490E+001
21. 7.180000E-001 6.438389E+001
22. 7.539000E-001 6.846609E+001
23. 7.898000E-001 7.262285E+001
24. 8.257000E-001 7.688974E+001
25. 8.616000E-001 8.122779E+001
26. 8.975000E-001 8.564975E+001
27. 9.334000E-001 9.018382E+001
28. 9.693000E-001 9.479798E+001
29. 1.005200E+000 9.949294E+001
30. 1.041100E+000 1.043086E+002
31. 1.077000E+000 1.092168E+002
32. 1.112900E+000 1.142087E+002
33. 1.148800E+000 1.193255E+002
34. 1.184700E+000 1.245382E+002
35. 1.220600E+000 1.298475E+002
36. 1.256500E+000 1.352921E+002
37. 1.292400E+000 1.408352E+002
38. 1.328300E+000 1.464914E+002
39. 1.364200E+000 1.522851E+002

40. 1.400100E+000 1.582020E+002
41. 1.436000E+000 1.642357E+002
42. 1.471900E+000 1.704341E+002
43. 1.507800E+000 1.767547E+002
44. 1.543700E+000 1.832210E+002
45. 1.579600E+000 1.898581E+002
46. 1.615500E+000 1.966548E+002
47. 1.651400E+000 2.035991E+002
48. 1.687300E+000 2.107534E+002
49. 1.723200E+000 2.180870E+002
50. 1.759100E+000 2.255901E+002
51. 1.795000E+000 2.333715E+002
52. 1.830900E+000 2.413013E+002
53. 1.866800E+000 2.495497E+002
54. 1.902700E+000 2.579861E+002
55. 1.938600E+000 2.667550E+002
56. 1.974500E+000 2.588512E+002
57. 2.010400E+000 2.503343E+002
58. 2.046300E+000 2.420600E+002
59. 2.082200E+000 2.341649E+002
60. 2.118100E+000 2.263088E+002
61. 2.154000E+000 2.187803E+002
62. 2.189900E+000 2.114881E+002
63. 2.225800E+000 2.042617E+002
64. 2.261700E+000 1.972950E+002
65. 2.297600E+000 1.905425E+002
66. 2.333500E+000 1.838367E+002
67. 2.369400E+000 1.773484E+002
68. 2.405300E+000 1.710744E+002
69. 2.441200E+000 1.648107E+002

- 70. 2.477100E+000 1.587550E+002
- 71. 2.513000E+000 1.528867E+002
- 72. 2.548900E+000 1.470293E+002
- 73. 2.584800E+000 1.413517E+002
- 74. 2.620700E+000 1.358587E+002
- 75. 2.656600E+000 1.303533E+002
- 76. 2.692500E+000 1.250214E+002
- 77. 2.728400E+000 1.198604E+002
- 78. 2.764300E+000 1.146843E+002
- 79. 2.800200E+000 1.096694E+002
- 80. 2.836100E+000 1.048146E+002
- 81. 2.872000E+000 9.994086E+001
- 82. 2.907900E+000 9.522163E+001
- 83. 2.943800E+000 9.066181E+001
- 84. 2.979700E+000 8.607190E+001
- 85. 3.015600E+000 8.162486E+001
- 86. 3.051500E+000 7.734137E+001
- 87. 3.087400E+000 7.302034E+001
- 88. 3.123300E+000 6.883749E+001
- 89. 3.159200E+000 6.481068E+001
- 90. 3.195100E+000 6.075812E+001
- 91. 3.231000E+000 5.682584E+001
- 92. 3.266900E+000 5.305160E+001
- 93. 3.302800E+000 4.924286E+001
- 94. 3.338700E+000 4.556310E+001
- 95. 3.374600E+000 4.203638E+001
- 96. 3.410500E+000 3.848149E+001
- 97. 3.446400E+000 3.504041E+001
- 98. 3.482300E+000 3.176370E+001
- 99. 3.518200E+000 2.844178E+001

100. 3.554100E+000 2.524009E+001
101. 3.590000E+000 2.220364E+001
102. 3.625900E+000 1.912881E+001
103. 3.661800E+000 1.616941E+001
104. 3.697700E+000 1.337163E+001
105. 3.733600E+000 1.053882E+001
106. 3.769500E+000 7.820500E+000
107. 3.805400E+000 5.265899E+000
108. 3.841300E+000 2.678843E+000
109. 3.877200E+000 2.416818E+000

Graph Title: Acceleration - Nodal (At Node 858183)

Abscissa Label:Time

Abscissa Unit: seconds

Ordinate Label:Acceleration - Nodal

Ordinate Unit: mm/sec^2

Data Format: Real Only

Record Name: At Node 858183

X Value Y Value

1. 0.000000E+000 1.043781E+001
2. 3.590000E-002 4.671189E-001
3. 7.180000E-002 2.713774E-001
4. 1.077000E-001 3.114921E-001
5. 1.436000E-001 4.670731E-001
6. 1.795000E-001 2.632751E-001
7. 2.154000E-001 3.107540E-001
8. 2.513000E-001 4.574231E-001

9. 2.872000E-001 2.462805E-001
10. 3.231000E-001 3.442768E-001
11. 3.590000E-001 4.780264E-001
12. 3.949000E-001 2.021631E-001
13. 4.308000E-001 3.584886E-001
14. 4.667000E-001 4.003639E-001
15. 5.026000E-001 3.354813E-001
16. 5.385000E-001 2.748953E-001
17. 5.744000E-001 4.910080E-001
18. 6.103000E-001 2.931781E-001
19. 6.462000E-001 3.223801E-001
20. 6.821000E-001 4.032779E-001
21. 7.180000E-001 3.475257E-001
22. 7.539000E-001 3.179901E-001
23. 7.898000E-001 5.029669E-001
24. 8.257000E-001 2.651703E-001
25. 8.616000E-001 3.669939E-001
26. 8.975000E-001 5.098221E-001
27. 9.334000E-001 3.167706E-001
28. 9.693000E-001 3.310640E-001
29. 1.005200E+000 5.593717E-001
30. 1.041100E+000 3.793556E-001
31. 1.077000E+000 3.388568E-001
32. 1.112900E+000 5.699653E-001
33. 1.148800E+000 3.906767E-001
34. 1.184700E+000 3.990898E-001
35. 1.220600E+000 6.250280E-001
36. 1.256500E+000 3.758934E-001
37. 1.292400E+000 4.929448E-001
38. 1.328300E+000 6.073680E-001



39. 1.364200E+000 5.213439E-001
40. 1.400100E+000 4.793464E-001
41. 1.436000E+000 7.588747E-001
42. 1.471900E+000 4.726304E-001
43. 1.507800E+000 6.318423E-001
44. 1.543700E+000 7.538258E-001
45. 1.579600E+000 6.784715E-001
46. 1.615500E+000 5.894278E-001
47. 1.651400E+000 9.618695E-001
48. 1.687300E+000 7.399396E-001
49. 1.723200E+000 6.745056E-001
50. 1.759100E+000 1.330270E+000
51. 1.795000E+000 4.707246E-001
52. 1.830900E+000 1.555004E+000
53. 1.866800E+000 6.547129E-001
54. 1.902700E+000 1.557645E+000
55. 1.938600E+000 7.151132E+001
56. 1.974500E+000 2.658592E+000
57. 2.010400E+000 1.040175E+000
58. 2.046300E+000 1.825768E+000
59. 2.082200E+000 2.327439E-001
60. 2.118100E+000 1.688221E+000
61. 2.154000E+000 9.867175E-001
62. 2.189900E+000 1.343441E-001
63. 2.225800E+000 1.323282E+000
64. 2.261700E+000 9.022110E-001
65. 2.297600E+000 9.885120E-002
66. 2.333500E+000 1.097387E+000
67. 2.369400E+000 9.559492E-001
68. 2.405300E+000 2.083268E-001

- 69. 2.441200E+000 1.080891E+000
- 70. 2.477100E+000 8.179941E-001
- 71. 2.513000E+000 1.597404E-001
- 72. 2.548900E+000 9.212266E-001
- 73. 2.584800E+000 8.398017E-001
- 74. 2.620700E+000 2.885711E-001
- 75. 2.656600E+000 9.150294E-001
- 76. 2.692500E+000 7.628466E-001
- 77. 2.728400E+000 2.711003E-001
- 78. 2.764300E+000 8.477799E-001
- 79. 2.800200E+000 7.155863E-001
- 80. 2.836100E+000 2.824790E-001
- 81. 2.872000E+000 8.206437E-001
- 82. 2.907900E+000 7.232508E-001
- 83. 2.943800E+000 3.365152E-001
- 84. 2.979700E+000 7.520056E-001
- 85. 3.015600E+000 7.663786E-001
- 86. 3.051500E+000 3.779773E-001
- 87. 3.087400E+000 7.270685E-001
- 88. 3.123300E+000 7.294248E-001
- 89. 3.159200E+000 2.967755E-001
- 90. 3.195100E+000 6.226107E-001
- 91. 3.231000E+000 7.381887E-001
- 92. 3.266900E+000 3.427284E-001
- 93. 3.302800E+000 6.850582E-001
- 94. 3.338700E+000 7.120097E-001
- 95. 3.374600E+000 3.020067E-001
- 96. 3.410500E+000 5.867801E-001
- 97. 3.446400E+000 7.955347E-001
- 98. 3.482300E+000 4.158572E-001



99. 3.518200E+000 6.318776E-001
100. 3.554100E+000 7.975514E-001
101. 3.590000E+000 3.681830E-001
102. 3.625900E+000 6.011023E-001
103. 3.661800E+000 7.742687E-001
104. 3.697700E+000 3.487057E-001
105. 3.733600E+000 5.943708E-001
106. 3.769500E+000 7.854611E-001
107. 3.805400E+000 3.339667E-001
108. 3.841300E+000 1.004311E+001
109. 3.877200E+000 1.563302E+000

A10. Característiques motor Motenergy MS1718

V INTERNATIONAL COMPETITION MOTOSTUDENT 2017-2018

ME-MS1718 OFFICIAL ELECTRIC MOTOR TEST

TEST CONDITIONS

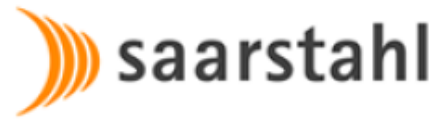
The test was carried out under the following conditions:

- Battery Pack Rated Voltage: 104 VDC
- Battery Pack Capacity: 31,2 Ah
- Battery Pack Current: Limited by BMS to 320 A
- Voltage Drop in battery pack: 20 VDC at 300 A
- Torque values calculated by controller
- Sevcon Gen4 Size 6 Motor Controller

TEST RESULTS

Motor Speed (RPM)	Peak Torque (N.m)	Mechanical Peak Power (kW)
0	120,00	-
1800	120,00	22,62
2000	116,00	24,29
2500	102,00	26,70
3000	86,00	27,02
4000	67,00	28,06
5000	56,00	29,32
6000	49,00	30,79
7000	43,00	31,52
8000	38,00	31,83

A11. Característiques Acer 25CrMo4



Material specification sheet

Saarstahl - 25CrMo4

Material No:	Former brand name:	International steel grades:	
1.7218	Mo 25	BS:	708A25
		AFNOR:	25CD4, 25CrMo4
		SAE:	4130

Material group: Steel for quenching and tempering according to DIN EN 10083

Chemical composition: (Typical analysis in %)	C	Si	Mn	Cr	Mo	other
	0,25	0,25	0,70	1,05	0,25	(Pb)

Application: Alloyed heat treatable steel with a typical tensile strength of 700 - 950 N/mm² and a good weldability. For automotive and aircraft components with high toughness as axles, axle journals, turbine parts, turbine rotors.

Hot forming and heat treatment:	Forging or hot rolling:	1100 - 850°C
	Normalising:	860 - 890°C/air
	Soft annealing:	680 - 720°C/furnace
	Hardening:	840 - 880°C/water, oil
	Tempering:	540 - 680°C/air

Mechanical Properties: Treated for cold shearability +S: max. 255 HB
Soft annealed +A: max. 212 HB

Quenched and tempered, +QT:

Diameter d [mm]	< 16	>16 - 40	>40 - 100	>100 - 160	>160 - 250
Thickness t [mm]	< 8	8<t<20	20<t<60	60<t<100	100<t<160
0,2% proof stress R_{p0,2} [N/mm²]	min. 700	min. 600	min. 450	min. 400	-
Tensile strength R_m [N/mm²]	900 - 1100	800 - 950	700 - 850	650 - 800	-
Fracture elongation A₅ [%]	min. 12	min. 14	min. 15	min. 16	-
Reduction of area Z [%]	min. 50	min. 55	min. 60	min. 60	-
Notch impact energy ISO-V [J]	min. 45	min. 50	min. 50	min. 45	-