

Resum

El projecte que es presenta en aquest document recull el disseny i la metodologia de treball d'un software per a l'anàlisi de sistemes de suspensió d'un vehicle, concretament en un vehicle tipus quad, analitzant en detall els sistemes i elements associats emprats en l'eix anterior (sistemes de doble triangle) i l'eix posterior (sistema de basculant).

L'objectiu és elaborar un programa que permeti amb una ràpida inserció de les dades extreure múltiples característiques dels sistemes de suspensions per tal que l'usuari pugui jutjar el funcionament del sistema i provar nous dissenys per tal de millorar el model d'estudi.

Per a cada sistema de suspensió, s'estudiaran cinc blocs temàtics. En el primer d'ells, s'estudiarà la descripció dels elements que intervenen en la suspensió, des d'un sistema de referència per cadascun que permeti una caracterització intuïtiva i una fàcil mesura. Al segon bloc, s'ensamblaran tots els elements descrits al primer bloc en la posició de repòs del vehicle, per després al tercer bloc, establir una metodologia senzilla per caracteritzar el moviment sistema. Al quart bloc, s'exposarà l'anàlisi quasi-estàtic de cada conjunt de suspensions (anàlisi de les forces que intervenen al sistema donada una configuració concreta), i per acabar, a l'últim bloc s'explicarà la metodologia d'obtenció de les cotes característiques dels sistemes de suspensions (com caiguda, convergència, angle d'avanç, etc).

Per últim, es contrasta alguns dels resultats obtinguts amb aquest programa amb els resultats reals d'un model en concret dissenyat amb un programa de disseny en 3D, per tal de verificar el correcte funcionament del programa.





Sumari

RESUM	1
SUMARI	3
ANNEX A: RESOLUCIONS DELS SISTEMES D'EQUACIONS NO LINEALS PLANTEJATS.	5
A.1. Resolució d'un sistema de dues equacions de segon grau i dues incògnites (intersecció de dues circumferències en el pla).....	5
A.2. Resolució d'un sistema de tres equacions, dues d'elles de segon grau i una de primer grau, i tres incògnites (intersecció de dues esferes amb un pla)...	6
A.3. Resolució d'un sistema de tres equacions de segon grau i tres incògnites (intersecció de tres esferes).....	8
ANNEX B: MOVIMENT D'UN PUNT RESPECTE A UN EIX A L'ESPAI.	10
ANNEX C: DESCRIPCIÓ ANALÍTICA DE L'ANÀLISI QUASI-ESTÀTIC DELS SISTEMES.	11
C.1. Geometria davantera.	11
C.1.1. Esquemes de forces de cada element.	11
C.1.2. Situació de repòs.	13
C.1.3. Altres configuracions.	15
C.2. Geometria posterior.	18
C.2.1. Esquemes de forces de cada element.	18
C.2.2. Situació de repòs.	19
C.2.3. Altres configuracions.	21
ANNEX D: RELACIÓ TENSIÓ/DEFORMACIÓ EN UN CILINDRE DE DIMENSIONS CONEGUDES.	24
ANNEX E: TAULES DE VALORS DE LES COTES DE SUSPENSÍO DEL MODEL DE QUAD.	26
E.1. Geometria davantera.	26
E.2. Geometria posterior.	30





ANNEX A: Resolucions dels sistemes d'equacions no lineals plantejats.

A.1. Resolució d'un sistema de dues equacions de segon grau i dues incògnites (intersecció de dues circumferències en el pla).

Es planteja el següent problema: S'ha de trobar el lloc geomètric que compleixi que tal lloc estigui a una distància d_1 del punt de \mathbb{R}^2 , P_1 , a una distància d_2 del punt de \mathbb{R}^2 , P_2 , descrits en coordenades relatives d'algun pla de \mathbb{R}^3 .

El problema es formula de la següent forma:

$$\begin{cases} (x - x_{P_1})^2 + (y - y_{P_1})^2 = d_1^2 \\ (x - x_{P_2})^2 + (y - y_{P_2})^2 = d_2^2 \end{cases}$$

Resolent els parèntesis:
$$\begin{cases} (x^2 - 2x_{P_1}x + x_{P_1}^2) + (y^2 - 2y_{P_1}y + y_{P_1}^2) = d_1^2 \\ (x^2 - 2x_{P_2}x + x_{P_2}^2) + (y^2 - 2y_{P_2}y + y_{P_2}^2) = d_2^2 \end{cases}$$

Definirem, agrupant termes independents coneguts:

$$C_i = d_i^2 - x_{P_i}^2 - y_{P_i}^2 \quad \text{per } i = 1, 2$$

Substituint, i restant a la segona i tercera equació la primera:

$$\begin{cases} x^2 - 2x_{P_1}x + y^2 - 2y_{P_1}y = C_1 \\ 2x(x_{P_1} - x_{P_2}) + 2y(y_{P_1} - y_{P_2}) = C_2 - C_1 \end{cases}$$

De la segona equació obtenim:

$$x = \frac{\frac{1}{2}(C_2 - C_1) - y(y_{P_1} - y_{P_2})}{(x_{P_1} - x_{P_2})} = D + Ey$$

Essent:



$$D = \frac{(C_2 - C_1)}{2(x_{P1} - x_{P2})} \quad E = -\frac{(y_{P1} - y_{P2})}{(x_{P1} - x_{P2})}$$

A la primera equació, substituint x, obtenim:

$$\begin{aligned} D^2 + 2DEy + E^2y^2 - 2x_{P1}D - 2x_{P1}Ey + y^2 - 2y_{P1}y &= C_1 \\ (E^2 + 1)y^2 + (2DE - 2x_{P1}E - 2y_{P1})y + (D^2 - 2x_{P1}F - C_1) &= 0 \\ ay^2 + by + c &= 0 \end{aligned}$$

Obtenint la doble solució:

$$y = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

D'aquestes dues solucions trobades, tenen la característica de ser simètriques respecte l'eix format per el punt P1 i el punt P2.

A.2. Resolució d'un sistema de tres equacions, dues d'elles de segon grau i una de primer grau, i tres incògnites (intersecció de dues esferes amb un pla).

Es planteja el següent problema: S'ha de trobar el lloc geomètric que compleixi que tal lloc estigui a una distància d1 del punt de \mathbb{R}^3 , P1, a una distància d2 del punt de \mathbb{R}^3 , P2, i a una coordenada dz \mathbb{R}^3 , paral·lel al terra π .

El problema es formula de la següent forma:

$$\begin{cases} (x - x_{P1})^2 + (y - y_{P1})^2 + (z - z_{P1})^2 = d1^2 \\ (x - x_{P2})^2 + (y - y_{P2})^2 + (z - z_{P2})^2 = d2^2 \\ z = dz \end{cases}$$

Resolent els parèntesis:
$$\begin{cases} (x^2 - 2x_{P1}x + x_{P1}^2) + (y^2 - 2y_{P1}y + y_{P1}^2) + (dz - z_{P1})^2 = d1^2 \\ (x^2 - 2x_{P2}x + x_{P2}^2) + (y^2 - 2y_{P2}y + y_{P2}^2) + (dz - z_{P2})^2 = d2^2 \\ z = dz \end{cases}$$



Definirem, agrupant termes independents coneguts:

$$C_i = di^2 - x_{P_i}^2 - y_{P_i}^2 - (dz - z_{P_i})^2 \quad \text{per } i = 1, 2, 3$$

Substituint, i restant a la segona i tercera equació la primera:

$$\begin{cases} x^2 - 2x_{P_1}x + y^2 - 2y_{P_1}y = C_1 \\ 2x(x_{P_1} - x_{P_2}) + 2y(y_{P_1} - y_{P_2}) = C_2 - C_1 \\ z = dz \end{cases}$$

De la segona equació obtenim:

$$x = \frac{\frac{1}{2}(C_2 - C_1) - y(y_{P_1} - y_{P_2})}{(x_{P_1} - x_{P_2})} = D + Ey$$

Essent:

$$D = \frac{(C_2 - C_1)}{2(x_{P_1} - x_{P_2})} \quad E = -\frac{(y_{P_1} - y_{P_2})}{(x_{P_1} - x_{P_2})}$$

A la primera equació, substituint x, obtenim:

$$\begin{aligned} D^2 + 2DEy + E^2y^2 - 2x_{P_1}D - 2x_{P_1}Ey + y^2 - 2y_{P_1}y &= C_1 \\ (E^2 + 1)y^2 + (2DE - 2x_{P_1}E - 2y_{P_1})y + (D^2 - 2x_{P_1}D - C_1) &= 0 \\ ay^2 + by + c &= 0 \end{aligned}$$

Obtenint la doble solució:

$$y = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

D'aquestes dues solucions trobades, tenen la característica de ser simètriques respecte el pla normal al pla paral·lel al terra π que conté els punts P1 i P2.



A.3. Resolució d'un sistema de tres equacions de segon grau i tres incògnites (intersecció de tres esferes).

Es planteja el següent problema: S'ha de trobar el lloc geomètric que compleixi que tal lloc estigui a una distància d_1 del punt de \mathbb{R}^3 , P_1 , a una distància d_2 del punt de \mathbb{R}^3 , P_2 , i a una distància d_3 del punt de \mathbb{R}^3 , P_3 .

Per que existeixi aquest lloc geomètric, és necessari però no suficient que la distància entre dos dels punts sigui més petita que la suma de les distàncies associades als dos punts:

$$d(P_i, P_j) \leq d_i + d_j \quad \text{per } i \neq j \text{ i } i, j = 1, 2, 3$$

El problema es formula de la següent forma:

$$\begin{cases} (x - x_{P_1})^2 + (y - y_{P_1})^2 + (z - z_{P_1})^2 = d_1^2 \\ (x - x_{P_2})^2 + (y - y_{P_2})^2 + (z - z_{P_2})^2 = d_2^2 \\ (x - x_{P_3})^2 + (y - y_{P_3})^2 + (z - z_{P_3})^2 = d_3^2 \end{cases}$$

Resolent els parèntesis:

$$\begin{cases} (x^2 - 2x_{P_1}x + x_{P_1}^2) + (y^2 - 2y_{P_1}y + y_{P_1}^2) + (z^2 - 2z_{P_1}z + z_{P_1}^2) = d_1^2 \\ (x^2 - 2x_{P_2}x + x_{P_2}^2) + (y^2 - 2y_{P_2}y + y_{P_2}^2) + (z^2 - 2z_{P_2}z + z_{P_2}^2) = d_2^2 \\ (x^2 - 2x_{P_3}x + x_{P_3}^2) + (y^2 - 2y_{P_3}y + y_{P_3}^2) + (z^2 - 2z_{P_3}z + z_{P_3}^2) = d_3^2 \end{cases}$$

Definirem, agrupant termes independents coneguts:

$$C_i = d_i^2 - x_{P_i}^2 - y_{P_i}^2 - z_{P_i}^2 \quad \text{per } i = 1, 2, 3$$

Substituint, i restant a la segona i tercera equació la primera:

$$\begin{cases} x^2 + 2x_{P_1}x + y^2 + 2y_{P_1}y + z^2 + 2z_{P_1}z = C_1 \\ 2x(x_{P_1} - x_{P_2}) + 2y(y_{P_1} - y_{P_2}) + 2z(z_{P_1} - z_{P_2}) = C_2 - C_1 \\ 2x(x_{P_1} - x_{P_3}) + 2y(y_{P_1} - y_{P_3}) + 2z(z_{P_1} - z_{P_3}) = C_3 - C_1 \end{cases}$$

De la tercera equació obtenim:

$$x = \frac{\frac{1}{2}(C_3 - C_1) - z(z_{P_1} - z_{P_3}) - y(y_{P_1} - y_{P_3})}{(x_{P_1} - x_{P_3})} = D + Ez + Fy$$



Essent:

$$D = \frac{(C_3 - C_1)}{2(x_{P1} - x_{P3})} \quad E = -\frac{(z_{P1} - z_{P3})}{(x_{P1} - x_{P3})} \quad F = -\frac{(y_{P1} - y_{P3})}{(x_{P1} - x_{P3})}$$

De la segona equació, substituint x, obtenim:

$$D(x_{P1} - x_{P2}) + Ez(x_{P1} - x_{P2}) + Fy(x_{P1} - x_{P2}) + y(y_{P1} - y_{P2}) + z(z_{P1} - z_{P2}) = \frac{1}{2}(C_2 - C_1)$$

$$y(Fx_{P1} - Fx_{P2} + y_{P1} - y_{P2}) + z(Ex_{P1} - Ex_{P2} + z_{P1} - z_{P2}) = \frac{1}{2}(C_2 - C_1)$$

$$y = \frac{\frac{1}{2}(C_2 - C_1) - z(Ex_{P1} - Ex_{P2} + z_{P1} - z_{P2})}{(Fx_{P1} - Fx_{P2} + y_{P1} - y_{P2})} = H + Iz$$

Essent:

$$H = \frac{\frac{1}{2}(C_2 - C_1)}{(Fx_{P1} - Fx_{P2} + y_{P1} - y_{P2})} \quad I = \frac{(Ex_{P1} - Ex_{P2} + z_{P1} - z_{P2})}{(Fx_{P1} - Fx_{P2} + y_{P1} - y_{P2})}$$

Rescatant el valor de x obtinguda de la equació 3:

$$X = D + FH + FIz + Ez = (D + FH) + (E + IF)z = J + Kz$$

$$\text{essent } J = D + FH \text{ y } K = E + IF$$

Finalment, substituint a la equació 1:

$$J^2 + 2JKz + K^2z^2 - 2x_{P1}J - 2x_{P1}Kz + H^2 + 2HIz + I^2z^2 - 2y_{P1}H - 2y_{P1}Iz + z^2 - 2z_{P1}z = C_1$$

$$(K^2 + I^2 + 1)z^2 + (2JK - 2x_{P1}K + 2HI - 2y_{P1}I - 2z_{P1})z + (J^2 - 2x_{P1}J + H^2 - 2y_{P1}H - C_1) = 0$$

$$az^2 + bz + c = 0$$

Obtenint la doble solució:

$$z = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Les dues solucions trobades són simètriques respecte el pla format pels punts P1, P2 i P3.



ANNEX B: Moviment d'un punt respecte a un eix a l'espai.

Sigui r un eix amb v_1 el seu vector director de \mathbb{R}^3 . El sentit de gir positiu és aquell que porta un vector qualsevol w perpendicular a v_1 cap a $v \wedge w$ per el camí més curt.

$$F : \mathfrak{R}^3 \longrightarrow \mathfrak{R}^3$$

$$r \equiv \begin{cases} ax + by + cz + d = 0 \\ ex + fy + gz + h = 0 \end{cases} \quad \pi = [r^\perp]$$

F és un gir al voltant de r un angle $\alpha \in (0, 2\pi)$. Es farà un canvi de sistema de referència:

$$\mathfrak{R} = \{0; e_1, e_2, e_3\} \longrightarrow \overline{\mathfrak{R}} = \{p; v_1, v_2, v_3\} \quad (\text{essent } v_1, v_2, v_3 \text{ una base ortonormal})$$

$$\text{Tal que: } \begin{cases} p \in r \Rightarrow p = (p_1, p_2, p_3) \\ v_1 \in r \Rightarrow v_1 = \text{vector director de } r \text{ normalitzat, } f(v_1) = v_1 \\ v_2 \in r \text{ i } v_3 = v_1 \wedge v_2 \end{cases} \longrightarrow \begin{pmatrix} \text{S matriu canvi} \\ \text{de base} \end{pmatrix}$$

Aleshores:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} | & | & | \\ v_1 & v_2 & v_3 \\ | & | & | \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \bar{x} \\ \bar{y} \\ \bar{z} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \end{pmatrix} \Rightarrow \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = S \begin{pmatrix} \bar{x} \\ \bar{y} \\ \bar{z} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \end{pmatrix}$$

A la referència $\overline{\mathfrak{R}}$ definim la matriu de moviment, que defineix l'aplicació lineal:

$$M_v(f) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \begin{matrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{matrix}$$

$$f(v_1) \quad f(v_2) \quad f(v_3)$$

Finalment, desfent el canvi de sistema de referència, obtenim:

$$F \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = S \cdot M_v(f) \cdot S^t \cdot \begin{pmatrix} x - p_1 \\ y - p_2 \\ z - p_3 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \end{pmatrix} \Rightarrow F(q) = p + f(q - p)$$



ANNEX C: Descripció analítica de l'anàlisi quasi-estàtic dels sistemes.

C.1. Geometria davantera.

La nomenclatura que es seguirà a continuació serà:

- Els triangles efectuaran dues forces en el seu pla (components 1 i 2) i una força en sentit normal al pla (component n o 3). Cada component té un vector director que orienta aquesta força. El triangle que conté el grup molla-amortidor serà el triangle k ($k=I$ si és el inferior i $k=S$ si és el superior) i l'altre el triangle j. Les reaccions als punts d'unió dels triangles al xassís segons l'eix x relatiu dels triangles (o bé component 1) s'ajuntaran en una sola variable, ja que el sistema és redundat i no permet diferenciar-les. Les forces desconegudes són marcades en verd, les no conegudes en vermell, i les redundants en taronja.
- El tirant de direcció només pot fer força en sentit normal al tirant de direcció.

C.1.1. Esquemes de forces de cada element.

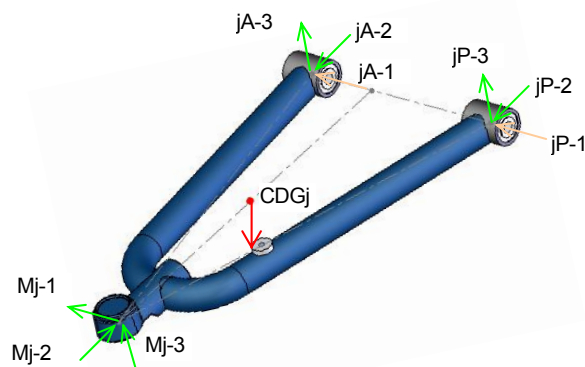


Fig. C.1. Esquema de forces del sistema Triangle j a l'ensamblatge



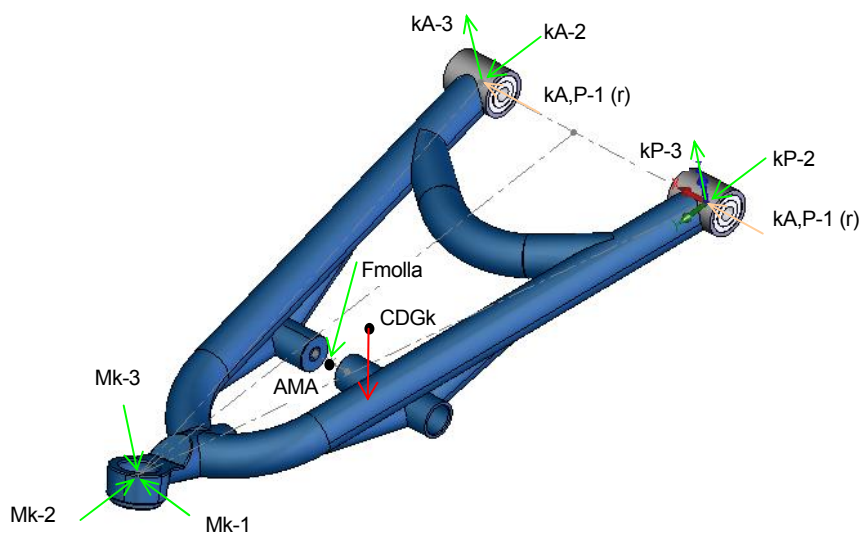


Fig. C.2. Esquema de forces del sistema Triangle k a l'ensamblatge

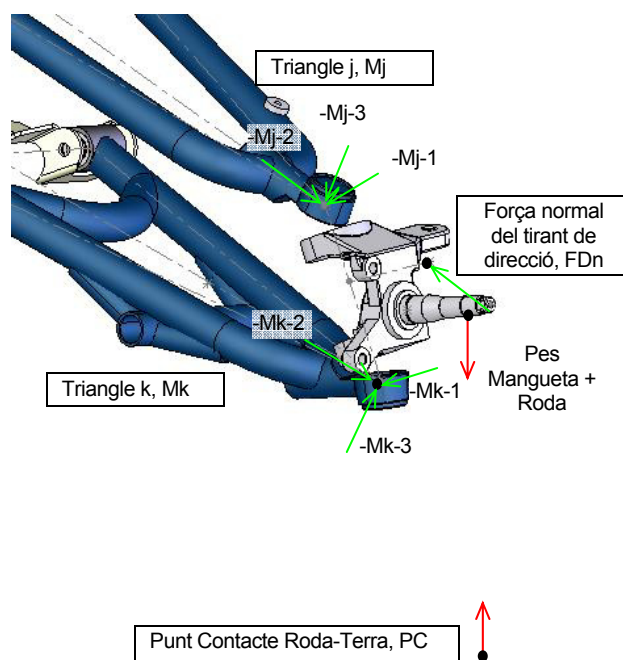


Fig. C.3. Esquema de forces del sistema Mangueta+Roda (oculta) a l'ensamblatge



C.1.2. Situació de repòs.

Per començar, estudiarem el sistema Triangle j:

$$\begin{aligned}
\sum_{i=0}^n \vec{F}_i = 0 &\Rightarrow \vec{F}_{Mj} + \vec{F}_{jA} + \vec{F}_{jP} + \vec{P}_{Tj} = 0 \Rightarrow \vec{F}_{jA} + \vec{F}_{jP} + \vec{F}_{Mj} = -\vec{P}_{Tj} \\
&\Rightarrow \begin{Bmatrix} v_{1xTj} \\ v_{1yTj} \\ v_{1zTj} \end{Bmatrix} (2F_{1jA,P}) + \begin{Bmatrix} v_{2xTj} \\ v_{2yTj} \\ v_{2zTj} \end{Bmatrix} (F_{2jA} + F_{2jP}) + \begin{Bmatrix} n_{xTj} \\ n_{yTj} \\ n_{zTj} \end{Bmatrix} (F_{3jA} + F_{3jP}) + \begin{Bmatrix} v_{1xTj} \\ v_{1yTj} \\ v_{1zTj} \end{Bmatrix} F_{1Mj} + \\
&\quad + \begin{Bmatrix} v_{2xTj} \\ v_{2yTj} \\ v_{2zTj} \end{Bmatrix} F_{2Mj} + \begin{Bmatrix} n_{xTj} \\ n_{yTj} \\ n_{zTj} \end{Bmatrix} F_{nMj} = -m_{Tj} \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ -g \end{Bmatrix} \\
\sum_{i=0}^n \vec{M}_{jP_i} = 0 &\Rightarrow \vec{F}_{Mj} \wedge (\overrightarrow{p_{Mj} - p_{jP}}) + \vec{F}_{jA} \wedge (\overrightarrow{p_{jA} - p_{jP}}) + \vec{P}_{Tj} \wedge (\overrightarrow{p_{CDGj} - p_{jP}}) = 0 \\
&\Rightarrow \left(F_{1jA,P} \begin{Bmatrix} v_{1xTj} \\ v_{1yTj} \\ v_{1zTj} \end{Bmatrix} + F_{2jA} \begin{Bmatrix} v_{2xTj} \\ v_{2yTj} \\ v_{2zTj} \end{Bmatrix} + F_{3jA} \begin{Bmatrix} n_{xTj} \\ n_{yTj} \\ n_{zTj} \end{Bmatrix} \right) \wedge \begin{Bmatrix} x_{jA} - x_{jP} \\ y_{jA} - y_{jP} \\ z_{jA} - z_{jP} \end{Bmatrix} + \\
&\quad + \left(F_{1Mj} \begin{Bmatrix} v_{1xTj} \\ v_{1yTj} \\ v_{1zTj} \end{Bmatrix} + F_{2Mj} \begin{Bmatrix} v_{2xTj} \\ v_{2yTj} \\ v_{2zTj} \end{Bmatrix} + F_{nMj} \begin{Bmatrix} n_{xTj} \\ n_{yTj} \\ n_{zTj} \end{Bmatrix} \right) \wedge \begin{Bmatrix} x_{Mj} - x_{jP} \\ y_{Mj} - y_{jP} \\ z_{Mj} - z_{jP} \end{Bmatrix} = -m_{Tj} \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ -g \end{Bmatrix} \wedge \begin{Bmatrix} x_{CDGj} - x_{jP} \\ y_{CDGj} - y_{jP} \\ z_{CDGj} - z_{jP} \end{Bmatrix}
\end{aligned}$$

Tot seguit, estudiem el sistema Triangle k:

$$\begin{aligned}
\sum_{i=0}^n \vec{F}_i = 0 &\Rightarrow \vec{F}_{Mk} + \vec{F}_{kA} + \vec{F}_{kP} + \vec{F}_{molla} + \vec{P}_{Tk} = 0 \Rightarrow \vec{F}_{kA} + \vec{F}_{kP} + \vec{F}_{molla} + \vec{F}_{Mk} = -\vec{P}_{Tk} \\
&\Rightarrow \begin{Bmatrix} v_{1xTk} \\ v_{1yTk} \\ v_{1zTk} \end{Bmatrix} (2F_{1kA,P}) + \begin{Bmatrix} v_{2xTk} \\ v_{2yTk} \\ v_{2zTk} \end{Bmatrix} (F_{2kA} + F_{2kP}) + \begin{Bmatrix} n_{xTk} \\ n_{yTk} \\ n_{zTk} \end{Bmatrix} (F_{3kA} + F_{3kP}) + \\
&\quad + \begin{Bmatrix} v_{xM} \\ v_{yM} \\ v_{zM} \end{Bmatrix} F_{molla} + \begin{Bmatrix} v_{1xTk} \\ v_{1yTk} \\ v_{1zTk} \end{Bmatrix} F_{1Mk} + \begin{Bmatrix} v_{2xTk} \\ v_{2yTk} \\ v_{2zTk} \end{Bmatrix} F_{2Mk} + \begin{Bmatrix} n_{xTk} \\ n_{yTk} \\ n_{zTk} \end{Bmatrix} F_{nMk} = -m_{Tk} \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ -g \end{Bmatrix}
\end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \sum_{i=0}^n \vec{M}_{kP i} = 0 &\Rightarrow \vec{F}_{Mk} \wedge (\overrightarrow{p_{Mk} - p_{kP}}) + \vec{F}_{kA} \wedge (\overrightarrow{p_{kA} - p_{kP}}) + \vec{F}_{molla} \wedge (\overrightarrow{p_{AMA} - p_{kP}}) + \\ &+ \vec{P}_{Tk} \wedge (\overrightarrow{p_{CDG} - p_{kP}}) = 0 \\ \Rightarrow &\left(F_{1kA,P} \begin{Bmatrix} v_{1xTk} \\ v_{1yTk} \\ v_{1zTk} \end{Bmatrix} + F_{2kA} \begin{Bmatrix} v_{2xTk} \\ v_{2yTk} \\ v_{2zTk} \end{Bmatrix} + F_{3kA} \begin{Bmatrix} v_{3xTk} \\ v_{3yTk} \\ v_{3zTk} \end{Bmatrix} \right) \wedge \begin{Bmatrix} x_{kA} - x_{kP} \\ y_{kA} - y_{kP} \\ z_{kA} - z_{kP} \end{Bmatrix} + F_{molla} \begin{Bmatrix} v_{xM} \\ v_{yM} \\ v_{zM} \end{Bmatrix} \wedge \begin{Bmatrix} x_{AMA} - x_{kP} \\ y_{AMA} - y_{kP} \\ z_{AMA} - z_{kP} \end{Bmatrix} + \\ &+ \left(\begin{Bmatrix} v_{1xTk} \\ v_{1yTk} \\ v_{1zTk} \end{Bmatrix} F_{1Mk} + \begin{Bmatrix} v_{2xTk} \\ v_{2yTk} \\ v_{2zTk} \end{Bmatrix} F_{2Mk} + \begin{Bmatrix} n_{xTk} \\ n_{yTk} \\ n_{zTk} \end{Bmatrix} F_{nMk} \right) \wedge \begin{Bmatrix} x_{Mk} - x_{kP} \\ y_{Mk} - y_{kP} \\ z_{Mk} - z_{kP} \end{Bmatrix} = -m_{Tk} \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ -g \end{Bmatrix} \wedge \begin{Bmatrix} x_{CDGk} - x_{kP} \\ y_{CDGk} - y_{kP} \\ z_{CDGk} - z_{kP} \end{Bmatrix} \end{aligned}$$

Per acabar, s'estudiarà el sistema Roda Davantera Esquerra + Mangueta:

$$\begin{aligned} \sum_{i=0}^n \vec{F}_i = 0 &\Rightarrow \vec{F}_{roda} - \vec{F}_{MS} - \vec{F}_{MI} + \vec{F}_{MD} + \vec{P}_{M+R} = 0 \Rightarrow -\vec{F}_{MS} - \vec{F}_{MI} + \vec{F}_{MD} = -\vec{F}_{roda} - \vec{P}_{M+R} \\ \Rightarrow &-\begin{Bmatrix} v_{1xTk} \\ v_{1yTk} \\ v_{1zTk} \end{Bmatrix} F_{1Mk} - \begin{Bmatrix} v_{2xTk} \\ v_{2yTk} \\ v_{2zTk} \end{Bmatrix} F_{2Mk} - \begin{Bmatrix} n_{xTk} \\ n_{yTk} \\ n_{zTk} \end{Bmatrix} F_{nMk} - \begin{Bmatrix} v_{1xTj} \\ v_{1yTj} \\ v_{1zTj} \end{Bmatrix} F_{1Mj} - \begin{Bmatrix} v_{2xTj} \\ v_{2yTj} \\ v_{2zTj} \end{Bmatrix} F_{2Mj} - \begin{Bmatrix} n_{xTk} \\ n_{yTk} \\ n_{zTk} \end{Bmatrix} F_{nMk} + \\ &+ \begin{Bmatrix} d_{xTD} \\ d_{yTD} \\ d_{zTD} \end{Bmatrix} F_{nMD} = - \begin{Bmatrix} F_{longitudinal} (= 0) \\ F_{lateral} (= 0) \\ F_{normal-roda} \end{Bmatrix} - m_{M+R} \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ -g \end{Bmatrix} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum_{i=0}^n \vec{M}_{Tk i} = 0 &\Rightarrow \vec{M}_{roda} + \vec{F}_{roda} \wedge (\overrightarrow{p_{PC} - p_{Mk}}) - \vec{F}_{Mj} \wedge (\overrightarrow{p_{MI} - p_{Mk}}) + \vec{F}_{MD} \wedge (\overrightarrow{p_{MD} - p_{Mk}}) + \\ &+ \vec{P}_{M+R} \wedge (\overrightarrow{p_{CDG_{M+R}} - p_{Mk}}) = 0 \\ \Rightarrow &\left(F_{1Mj} \begin{Bmatrix} v_{1xTj} \\ v_{1yTj} \\ v_{1zTj} \end{Bmatrix} + F_{2Mj} \begin{Bmatrix} v_{2xTj} \\ v_{2yTj} \\ v_{2zTj} \end{Bmatrix} + F_{nMj} \begin{Bmatrix} n_{xTj} \\ n_{yTj} \\ n_{zTj} \end{Bmatrix} \right) \wedge \begin{Bmatrix} x_{Mj} - x_{Mk} \\ y_{Mj} - y_{Mk} \\ z_{Mj} - z_{Mk} \end{Bmatrix} + F_{nMD} \begin{Bmatrix} d_{xTD} \\ d_{yTD} \\ d_{zTD} \end{Bmatrix} \wedge \begin{Bmatrix} x_{MD} - x_{Mk} \\ y_{MD} - y_{Mk} \\ z_{MD} - z_{Mk} \end{Bmatrix} = \\ &= - \begin{Bmatrix} M_x (= 0) \\ M_y (= 0) \\ M_z (= 0) \end{Bmatrix} - \begin{Bmatrix} F_{longitudinal} (= 0) \\ F_{lateral} (= 0) \\ F_{normal-roda} \end{Bmatrix} \wedge \begin{Bmatrix} x_{PC} - x_{Mk} \\ y_{PC} - y_{Mk} \\ z_{PC} - z_{Mk} \end{Bmatrix} - \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ -g \end{Bmatrix} m_{M+R} \wedge \begin{Bmatrix} x_{CDG_{M+R}} - x_{Mk} \\ y_{CDG_{M+R}} - y_{Mk} \\ z_{CDG_{M+R}} - z_{Mk} \end{Bmatrix} \end{aligned}$$

Amb els tres sistemes, s'obtidran un total de 18 equacions amb 18 incògnites. S'ha de destacar que en posició estàtica s'ha suposat que la única acció que rep el pneumàtic del terra és la normal que ha d'exercir per equilibrar el pes del vehicle. Un cop definides les



característiques del grup molla-amortidor, es poden donar altres valors a les variables de força en el punt de contacte per tal de tornar a veure les reaccions a la resta de punts del sistema.

C.1.3. Altres configuracions.

- Determinació de la força de la estabilitzadora:

Per començar es determinarà l'angle de gir de la barra estabilitzadora. S'ha d'anar amb compte perquè el gir del triangle implica un gir del punt de la barra estabilitzadora i una modificació de l'angle del braç que feia abans l'estabilitzadora i la distància dels punts del braç, pel que l'enllaç de la estabilitzadora al triangle es considerarà una corredora fixa al triangle, per tal de no introduir forces degut a la deformació normal del braç d'acció. S'agafen el vector inicial (indicarà la posició de l'altre roda) i el vector final del braç de l'estabilitzadora:

$$\begin{aligned}\overrightarrow{v}_i^{Est} &= (x_{Est}^i - x_{EsE}, y_{Est}^i - y_{EsE}, z_{Est}^i - z_{EsE})_n \\ \overrightarrow{v}_i^{Est} &= (x_{Est}^f - x_{EsE}, y_{Est}^f - y_{EsE}, z_{Est}^f - z_{EsE})_n\end{aligned}$$

L'angle que ha deformat la estabilitzadora té la següent expressió en funció dels dos vectors anteriors:

$$\alpha_{Est} = \arccos \left(\frac{\overrightarrow{v}_{Est}^i \cdot \overrightarrow{v}_{Est}^f}{\|\overrightarrow{v}_{Est}^i\| \cdot \|\overrightarrow{v}_{Est}^f\|} \right)$$

Coneixent el diàmetre de la estabilitzadora (θ_{Est}) aleshores la força de direcció normal al vector del braç de la estabilitzadora i inscrit al pla normal de l'eix imaginari de la barra estabilitzadora (havent suposat anteriorment que és normal al pla de simetria del vehicle, eix Y), té la següent expressió, trobada a partir de la teoria expressada l'annex D:

$$\begin{aligned}\overrightarrow{M}_{Est} &= \begin{Bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{Bmatrix} \cdot \frac{\pi G (\theta_{Est})^4}{32L} \cdot \alpha_{Est} \\ \overrightarrow{F}_{Est} &= \begin{Bmatrix} v_{Est-z}^f \\ 0 \\ -v_{Est-x}^f \end{Bmatrix}_n \cdot \frac{\left(\frac{\pi G (\theta_{Est})^4}{32L} \cdot \alpha_{Est} \right)}{\sqrt{(x_{Est}^f - x_{EsE})^2 + (x_{Est}^f - x_{EsE})^2}}\end{aligned}$$



S'ha de observar que el divisor de la força estabilitzadora correspon a la distància del punt d'unió de la barra a l'eix de deformació de la estabilitzadora, paral·lel a l'eix y.

- Determinació de la força de la molla: donada una nova longitud l_f de la molla:

$$\text{Molles lineals: } F_{molla} = k(l_f - l_n) = F_{molla-0} + k(l_f - l_0) = F_{molla-0} + k\Delta l_0$$

$$\text{Molles no lineals (Taylor): } F_{molla} = k_1(l_f - l_n) + k_2(l_f - l_n)^2 + \dots = k_1\Delta l_n + k_2\Delta l_n^2 + \dots$$

- Anàlisi quasi-estàtic: Es tracta de trobar, un cop coneguda la força que fa la molla sobre un dels triangles, la força normal que s'ha de fer sobre el punt de contacte de la roda amb el terra per tal de mantenir el vehicle en equilibri. Amb els tres sistemes, s'obtidran un total de 18 equacions lineals amb 18 incògnites.

Per començar, estudiarem el sistema Triangle j:

$$\begin{aligned} \sum_{i=0}^n \vec{F}_i = 0 &\Rightarrow \vec{F}_{Mj} + \vec{F}_{jA} + \vec{F}_{jP} + \vec{P}_{Tj} = 0 \Rightarrow \vec{F}_{jA} + \vec{F}_{jP} + \vec{F}_{Mj} = -\vec{P}_{Tj} \\ &\Rightarrow \begin{Bmatrix} v_{1xTj} \\ v_{1yTj} \\ v_{1zTj} \end{Bmatrix} (2F_{1jA,P}) + \begin{Bmatrix} v_{2xTj} \\ v_{2yTj} \\ v_{2zTj} \end{Bmatrix} (F_{2jA} + F_{2jP}) + \begin{Bmatrix} n_{xTj} \\ n_{yTj} \\ n_{zTj} \end{Bmatrix} (F_{3jA} + F_{3jP}) + \begin{Bmatrix} v_{1xTj} \\ v_{1yTj} \\ v_{1zTj} \end{Bmatrix} F_{1Mj} + \\ &+ \begin{Bmatrix} v_{2xTj} \\ v_{2yTj} \\ v_{2zTj} \end{Bmatrix} F_{2Mj} + \begin{Bmatrix} n_{xTj} \\ n_{yTj} \\ n_{zTj} \end{Bmatrix} F_{nMj} = -m_{Tj} \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ -g \end{Bmatrix} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum_{i=0}^n \vec{M}_{jP_i} = 0 &\Rightarrow \vec{F}_{Mj} \wedge (\overrightarrow{p_{Mj} - p_{jP}}) + \vec{F}_{jA} \wedge (\overrightarrow{p_{jA} - p_{jP}}) + \vec{P}_{Tj} \wedge (\overrightarrow{p_{CDG} - p_{jP}}) = 0 \\ &\Rightarrow \left(F_{1jA,P} \begin{Bmatrix} v_{1xTj} \\ v_{1yTj} \\ v_{1zTj} \end{Bmatrix} + F_{2jA} \begin{Bmatrix} v_{2xTj} \\ v_{2yTj} \\ v_{2zTj} \end{Bmatrix} + F_{3jA} \begin{Bmatrix} n_{xTj} \\ n_{yTj} \\ n_{zTj} \end{Bmatrix} \right) \wedge \begin{Bmatrix} x_{jA} - x_{jP} \\ y_{jA} - y_{jP} \\ z_{jA} - z_{jP} \end{Bmatrix} + \\ &+ \left(F_{1Mj} \begin{Bmatrix} v_{1xTj} \\ v_{1yTj} \\ v_{1zTj} \end{Bmatrix} + F_{2Mj} \begin{Bmatrix} v_{2xTj} \\ v_{2yTj} \\ v_{2zTj} \end{Bmatrix} + F_{nMj} \begin{Bmatrix} n_{xTj} \\ n_{yTj} \\ n_{zTj} \end{Bmatrix} \right) \wedge \begin{Bmatrix} x_{Mj} - x_{jP} \\ y_{Mj} - y_{jP} \\ z_{Mj} - z_{jP} \end{Bmatrix} = -m_{Tj} \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ -g \end{Bmatrix} \wedge \begin{Bmatrix} x_{CDGj} - x_{jP} \\ y_{CDGj} - y_{jP} \\ z_{CDGj} - z_{jP} \end{Bmatrix} \end{aligned}$$



Tot seguit, estudiem el sistema Triangle k:

$$\begin{aligned} \sum_{i=0}^n \vec{F}_i = 0 &\Rightarrow \vec{F}_{Mk} + \vec{F}_{kA} + \vec{F}_{kP} + \vec{F}_{molla} + \vec{P}_{Tk} = 0 \Rightarrow \vec{F}_{kA} + \vec{F}_{kP} + \vec{F}_{Mk} = -\vec{P}_{Tj} - \vec{F}_{molla} \\ &\Rightarrow \begin{Bmatrix} v_{1xTk} \\ v_{1yTk} \\ v_{1zTk} \end{Bmatrix} (2F_{1kA,P}) + \begin{Bmatrix} v_{2xTk} \\ v_{2yTk} \\ v_{2zTk} \end{Bmatrix} (F_{2kA} + F_{2kP}) + \begin{Bmatrix} n_{xTk} \\ n_{yTk} \\ n_{zTk} \end{Bmatrix} (F_{3kA} + F_{3kP}) + \\ &+ \begin{Bmatrix} v_{1xTk} \\ v_{1yTk} \\ v_{1zTk} \end{Bmatrix} F_{1Mk} + \begin{Bmatrix} v_{2xTk} \\ v_{2yTk} \\ v_{2zTk} \end{Bmatrix} F_{2Mk} + \begin{Bmatrix} n_{xTk} \\ n_{yTk} \\ n_{zTk} \end{Bmatrix} F_{nMk} = -m_{Tk} \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ -g \end{Bmatrix} - F_{molla} \begin{Bmatrix} v_{xM} \\ v_{yM} \\ v_{zM} \end{Bmatrix} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum_{i=0}^n \vec{M}_{kP} = 0 &\Rightarrow \vec{F}_{Mk} \wedge (\overrightarrow{p_{Mk} - p_{kP}}) + \vec{F}_{kA} \wedge (\overrightarrow{p_{kA} - p_{kP}}) + \vec{F}_{molla} \wedge (\overrightarrow{p_{AMA} - p_{kP}}) + \\ &+ \vec{P}_{Tk} \wedge (\overrightarrow{p_{CDG} - p_{kP}}) = 0 \\ &\Rightarrow \left(F_{1kA,P} \begin{Bmatrix} v_{1xTk} \\ v_{1yTk} \\ v_{1zTk} \end{Bmatrix} + F_{2kA} \begin{Bmatrix} v_{2xTk} \\ v_{2yTk} \\ v_{2zTk} \end{Bmatrix} + F_{3kA} \begin{Bmatrix} v_{3xTk} \\ v_{3yTk} \\ v_{3zTk} \end{Bmatrix} \right) \wedge \begin{Bmatrix} x_{kA} - x_{kP} \\ y_{kA} - y_{kP} \\ z_{kA} - z_{kP} \end{Bmatrix} + \left(\begin{Bmatrix} v_{1xTk} \\ v_{1yTk} \\ v_{1zTk} \end{Bmatrix} F_{1Mk} + \begin{Bmatrix} v_{2xTk} \\ v_{2yTk} \\ v_{2zTk} \end{Bmatrix} F_{2Mk} + \right. \\ &+ \left. \begin{Bmatrix} n_{xTk} \\ n_{yTk} \\ n_{zTk} \end{Bmatrix} F_{nMk} \right) \wedge \begin{Bmatrix} x_{Mk} - x_{kP} \\ y_{Mk} - y_{kP} \\ z_{Mk} - z_{kP} \end{Bmatrix} = -m_{Tk} \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ -g \end{Bmatrix} \wedge \begin{Bmatrix} x_{CDGk} - x_{kP} \\ y_{CDGk} - y_{kP} \\ z_{CDGk} - z_{kP} \end{Bmatrix} - F_{molla} \begin{Bmatrix} v_{xM} \\ v_{yM} \\ v_{zM} \end{Bmatrix} \wedge \begin{Bmatrix} x_{AMA} - x_{kP} \\ y_{AMA} - y_{kP} \\ z_{AMA} - z_{kP} \end{Bmatrix} \end{aligned}$$

Per acabar, s'estudiarà el sistema Roda Davantera Esquerra + Mangueta:

$$\begin{aligned} \sum_{i=0}^n \vec{F}_i = 0 &\Rightarrow \vec{F}_{roda} - \vec{F}_{MS} - \vec{F}_{MI} + \vec{F}_{MD} + \vec{P}_{M+R} = 0 \Rightarrow -\vec{F}_{MS} - \vec{F}_{MI} + \vec{F}_{MD} + \vec{F}_{roda} = -\vec{P}_{M+R} \\ &\Rightarrow - \begin{Bmatrix} v_{1xTj} \\ v_{1yTj} \\ v_{1zTj} \end{Bmatrix} F_{1Mj} - \begin{Bmatrix} v_{2xTj} \\ v_{2yTj} \\ v_{2zTj} \end{Bmatrix} F_{2Mj} - \begin{Bmatrix} n_{xTj} \\ n_{yTj} \\ n_{zTj} \end{Bmatrix} F_{nMj} + \\ &+ \begin{Bmatrix} d_{xTD} \\ d_{yTD} \\ d_{zTD} \end{Bmatrix} F_{nMD} + \begin{Bmatrix} F_{longitudinal} (=0) \\ F_{lateral} (=0) \\ F_{normal-roda} \end{Bmatrix} = -m_{M+R} \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ -g \end{Bmatrix} \end{aligned}$$



$$\sum_{i=0}^n \vec{M}_{T_k i} = 0 \Rightarrow \vec{F}_{roda} \wedge (\overline{p_{PC} - p_{Mk}}) - \vec{F}_{Mj} \wedge (\overline{p_{MI} - p_{Mk}}) + \vec{F}_{MD} \wedge (\overline{p_{MD} - p_{Mk}}) + \vec{P}_{M+R} \wedge (\overline{p_{CDG_{M+R}} - p_{Mk}}) = 0$$

$$\Rightarrow \left(F_{1Mj} \begin{Bmatrix} v_{1xTj} \\ v_{1yTj} \\ v_{1zTj} \end{Bmatrix} + F_{2Mj} \begin{Bmatrix} v_{2xTj} \\ v_{2yTj} \\ v_{2zTj} \end{Bmatrix} + F_{nMj} \begin{Bmatrix} n_{xTj} \\ n_{yTj} \\ n_{zTj} \end{Bmatrix} \right) \wedge \begin{Bmatrix} x_{Mj} - x_{Mk} \\ y_{Mj} - y_{Mk} \\ z_{Mj} - z_{Mk} \end{Bmatrix} + F_{nMD} \begin{Bmatrix} d_{xTD} \\ d_{yTD} \\ d_{zTD} \end{Bmatrix} \wedge \begin{Bmatrix} x_{MD} - x_{Mk} \\ y_{MD} - y_{Mk} \\ z_{MD} - z_{Mk} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} F_{longitudinal} (= 0) \\ F_{lateral} (= 0) \\ F_{normal-roda} \end{Bmatrix} \wedge \begin{Bmatrix} x_{PC} - x_{Mk} \\ y_{PC} - y_{Mk} \\ z_{PC} - z_{Mk} \end{Bmatrix} = - \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ -g \end{Bmatrix} m_{M+R} \wedge \begin{Bmatrix} x_{CDG_{M+R}} - x_{Mk} \\ y_{CDG_{M+R}} - y_{Mk} \\ z_{CDG_{M+R}} - z_{Mk} \end{Bmatrix}$$

C.2. Geometria posterior.

C.2.1. Esquemes de forces de cada element.

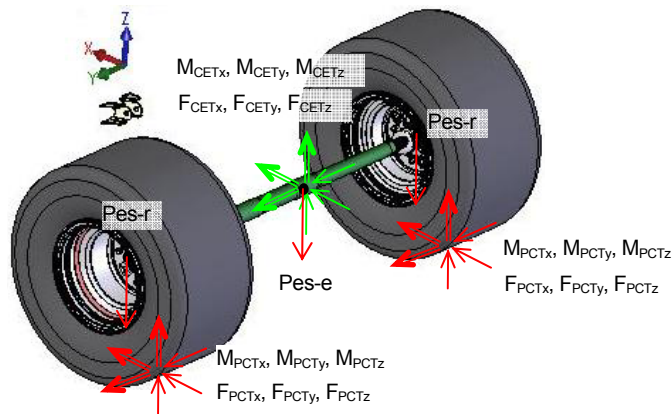


Fig. C.4. Esquema de forces del sistema Eix posterior a l'ensamblatge

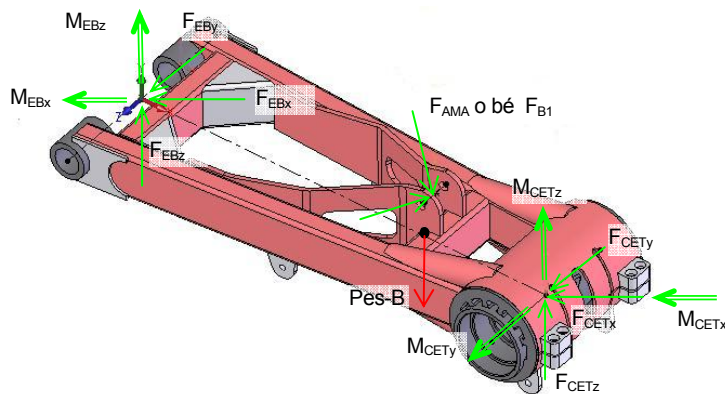


Fig. C.5. Esquema de forces del sistema Basculant a l'ensamblatge



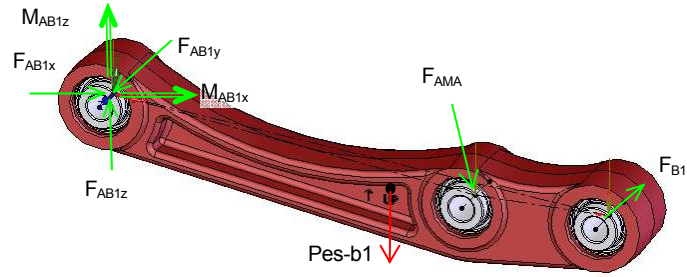


Fig. C.6. Esquema de forces del sistema Bieleta 1 a l'ensamblatge

C.2.2. Situació de repòs.

- Sistema d'unió directe del grup molla-amortidor al basculant.

Per començar, estudiarem el sistema Eix Posterior + Roda Posterior Esquerra + Roda Posterior Dreta. Hem d'anar amb compte que inserirem un enllaç rígid entre l'eix posterior i el basculant, que farà un moment de reacció segons l'eix y al punt CET, que hauria de ser zero si no hi ha cap acció externa que rebi aquesta reacció (per exemple, el parell motor):

$$\sum_{i=0}^n \vec{F}_i = 0 \Rightarrow \vec{F}_{rodaTD} + \vec{F}_{rodaTE} + \vec{F}_{CET} + \vec{P}_{rodaTD} + \vec{P}_{rodaTE} + \vec{P}_{eix} = 0$$

$$\Rightarrow \begin{Bmatrix} F_{CETx} \\ F_{CETy} \\ F_{CETz} \end{Bmatrix} = - \begin{Bmatrix} F_{rodaTDx} \\ F_{rodaTDy} \\ F_{rodaTDz} \end{Bmatrix} - \begin{Bmatrix} F_{rodaTE} \\ F_{rodaTEy} \\ F_{rodaTEz} \end{Bmatrix} - m_{rd} \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ -g \end{Bmatrix} - m_{re} \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ -g \end{Bmatrix} - m_{eix} \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ -g \end{Bmatrix}$$

$$\sum_{i=0}^n \vec{M}_i = 0 \Rightarrow \vec{M}_{rodaTD} + \vec{M}_{rodaTE} + \vec{M}_{CET} + \vec{F}_{rodaTD} \wedge (\overrightarrow{p_{PC_{TD}} - p_{CET}}) + \vec{F}_{rodaTE} \wedge (\overrightarrow{p_{PC_{TE}} - p_{CET}}) + \vec{P}_{rodaTD} \wedge (\overrightarrow{p_{CDG_{rD}} - p_{CET}}) + \vec{P}_{rodaTE} \wedge (\overrightarrow{p_{CDG_{rE}} - p_{CET}}) + \vec{P}_{eix} \wedge (\overrightarrow{p_{CDG_{eix}} - p_{CET}}) = 0$$

$$\Rightarrow \begin{Bmatrix} M_{CETx} \\ M_{CETy} \\ M_{CETz} \end{Bmatrix} = - \begin{Bmatrix} M_{rTDx} \\ M_{rTDy} \\ M_{rTDz} \end{Bmatrix} - \begin{Bmatrix} M_{rTE} \\ M_{rTEy} \\ M_{rTEz} \end{Bmatrix} - \begin{Bmatrix} F_{rTDx} \\ F_{rTDy} \\ F_{rTDz} \end{Bmatrix} \wedge \begin{Bmatrix} x_{PCTD} - x_{CET} \\ y_{PCTD} - y_{CET} \\ z_{PCTD} - z_{CET} \end{Bmatrix} - \begin{Bmatrix} F_{rTE} \\ F_{rTEy} \\ F_{rTEz} \end{Bmatrix} \wedge \begin{Bmatrix} x_{PCTE} - x_{CET} \\ y_{PCTE} - y_{CET} \\ z_{PCTE} - z_{CET} \end{Bmatrix}$$

$$- m_{rD} \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ -g \end{Bmatrix} \wedge \begin{Bmatrix} x_{CDG_{rD}} - x_{CET} \\ y_{CDG_{rD}} - y_{CET} \\ z_{CDG_{rD}} - z_{CET} \end{Bmatrix} - m_{rE} \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ -g \end{Bmatrix} \wedge \begin{Bmatrix} x_{CDG_{rE}} - x_{CET} \\ y_{CDG_{rE}} - y_{CET} \\ z_{CDG_{rE}} - z_{CET} \end{Bmatrix} - m_{eix} \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ -g \end{Bmatrix} \wedge \begin{Bmatrix} x_{CDG_{eix}} - x_{CET} \\ y_{CDG_{eix}} - y_{CET} \\ z_{CDG_{eix}} - z_{CET} \end{Bmatrix}$$

Com en principi el programa només exerceix forces normals d'igual valor als punts de contacte roda terra (normal que han d'exercir per equilibrar el pes del vehicle), no hi haurà moment de reacció en l'eix y al punt CET. Encara així s'han expressat totes les forces per



que l'usuari pot inserir a posteriori forces addicionals en tots els eixos per veure les reaccions en la resta de punts. Tot seguit s'estudiarà el sistema Basculant:

$$\sum_{i=0}^n \vec{F}_i = 0 \Rightarrow \vec{F}_{EB} + \vec{F}_{CET-reaccio} + \vec{F}_{molla} + \vec{P}_{Basc} = 0 \Rightarrow \vec{F}_{EB} + \vec{F}_{molla} - \vec{F}_{CET-accio} = -\vec{P}_{Basc}$$

$$\Rightarrow \begin{Bmatrix} F_{xEB} \\ F_{yEB} \\ F_{zEB} \end{Bmatrix} + F_{molla} \begin{Bmatrix} x_{AMA} - x_{ATT} \\ y_{AMA} - y_{ATT} \\ z_{AMA} - z_{ATT} \end{Bmatrix} - \begin{Bmatrix} F_{xCET} \\ F_{yCET} \\ F_{zCET} \end{Bmatrix} = -m_{Basc} \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ -g \end{Bmatrix}$$

$$\sum_{i=0}^n \vec{M}_{EBi} = 0 \Rightarrow \vec{M}_{EB} + \vec{M}_{CET-reaccio} + \vec{F}_{CET-reaccio} \wedge (\overrightarrow{p_{CET} - p_{EB}}) + \vec{F}_{molla} \wedge (\overrightarrow{p_{AMA} - p_{EB}})$$

$$+ \vec{P}_{Basc} \wedge (\overrightarrow{p_{CDG_{Basc}} - p_{EB}}) = 0$$

$$\Rightarrow \vec{M}_{EB} + \vec{F}_{molla} \wedge (\overrightarrow{p_{AMA} - p_{EB}}) - \vec{M}_{CET-accio} - \vec{F}_{CET-accio} \wedge (\overrightarrow{p_{CET} - p_{EB}}) = -\vec{P}_{Basc} \wedge (\overrightarrow{p_{CDG_{Basc}} - p_{EB}})$$

$$\Rightarrow \begin{Bmatrix} M_{xEB} \\ M_{yEB} \\ M_{zEB} \end{Bmatrix} + F_{molla} \begin{Bmatrix} x_{AMA} - x_{ATT} \\ y_{AMA} - y_{ATT} \\ z_{AMA} - z_{ATT} \end{Bmatrix} \wedge \begin{Bmatrix} x_{AMA} - x_{EB} \\ y_{AMA} - y_{EB} \\ z_{AMA} - z_{EB} \end{Bmatrix} - \begin{Bmatrix} M_{xCET} \\ M_{yCET} \\ M_{zCET} \end{Bmatrix} - \begin{Bmatrix} F_{xCET} \\ F_{yCET} \\ F_{zCET} \end{Bmatrix} \wedge \begin{Bmatrix} x_{CET} - x_{EB} \\ y_{CET} - y_{EB} \\ z_{CET} - z_{EB} \end{Bmatrix} = -m_{Basc} \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ -g \end{Bmatrix} \wedge \begin{Bmatrix} x_{CDG_{Basc}} - x_{EB} \\ y_{CDG_{Basc}} - y_{EB} \\ z_{CDG_{Basc}} - z_{EB} \end{Bmatrix}$$

- Sistema d'unió del grup molla-amortidor al basculant per bieletes.

Per el cas d'esmoreïment per bieletes, el sistema Eix Posterior + Rodes és el mateix, l'únic que s'ha de diferenciar en el sistema basculant és la força de la bieleta 2 sobre el mateix:

$$\sum_{i=0}^n \vec{F}_i = 0 \Rightarrow \vec{F}_{EB} + \vec{F}_{CET-reaccio} + \vec{F}_{bieleta} + \vec{P}_{Basc} = 0 \Rightarrow \vec{F}_{EB} + \vec{F}_{bieleta} - \vec{F}_{CET-accio} = -\vec{P}_{Basc}$$

$$\Rightarrow \begin{Bmatrix} F_{xEB} \\ F_{yEB} \\ F_{zEB} \end{Bmatrix} + F_{bieleta} \begin{Bmatrix} x_{B1} - x_{B2} \\ y_{B1} - y_{B2} \\ z_{B1} - z_{B2} \end{Bmatrix}_n - \begin{Bmatrix} F_{xCET} \\ F_{yCET} \\ F_{zCET} \end{Bmatrix} = -m_{Basc} \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ -g \end{Bmatrix}$$



$$\begin{aligned}
\sum_{i=0}^n \vec{M}_{EB i} = 0 &\Rightarrow \vec{M}_{EB} + \vec{M}_{CET-reaccio} + \vec{F}_{CET-reaccio} \wedge (\overrightarrow{p_{CET} - p_{EB}}) + \vec{F}_{bieleta} \wedge (\overrightarrow{p_{B2} - p_{EB}}) \\
&\quad + \vec{P}_{Basc} \wedge (\overrightarrow{p_{CDG_{Basc}} - p_{EB}}) = 0 \\
\Rightarrow \vec{M}_{EB} + \vec{F}_{bieleta} \wedge (\overrightarrow{p_{AMA} - p_{EB}}) - \vec{M}_{CET} - \vec{F}_{CET} \wedge (\overrightarrow{p_{CET} - p_{EB}}) &= -\vec{P}_{Basc} \wedge (\overrightarrow{p_{CDG_{Basc}} - p_{EB}}) \\
\Rightarrow \begin{Bmatrix} M_{xEB} \\ M_{yEB} \\ M_{zEB} \end{Bmatrix} + F_{bieleta} \begin{Bmatrix} x_{B1} - x_{B2} \\ y_{B1} - y_{B2} \\ z_{B1} - z_{B2} \end{Bmatrix}_n \wedge \begin{Bmatrix} x_{B2} - x_{EB} \\ y_{B2} - y_{EB} \\ z_{B2} - z_{EB} \end{Bmatrix} - \begin{Bmatrix} M_{xCET} \\ M_{yCET} \\ M_{zCET} \end{Bmatrix} - \\
- \begin{Bmatrix} F_{xCET} \\ F_{yCET} \\ F_{zCET} \end{Bmatrix} \wedge \begin{Bmatrix} x_{CET} - x_{EB} \\ y_{CET} - y_{EB} \\ z_{CET} - z_{EB} \end{Bmatrix} &= -m_{Basc} \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ -g \end{Bmatrix} \wedge \begin{Bmatrix} x_{CDG_{Basc}} - x_{EB} \\ y_{CDG_{Basc}} - y_{EB} \\ z_{CDG_{Basc}} - z_{EB} \end{Bmatrix}
\end{aligned}$$

Per acabar, suposant que la massa de la bieleta 2 és menyspreable, pel sistema Bieleta 1:

$$\begin{aligned}
\sum_{i=0}^n \vec{F}_i = 0 &\Rightarrow \vec{F}_{bieleta-reaccio} + \vec{F}_{molla} + \vec{F}_{AB} + \vec{P}_{b1} = 0 \Rightarrow \vec{F}_{AB} + \vec{F}_{molla} - \vec{F}_{bieleta-accio} = -\vec{P}_{b1} \\
\Rightarrow \begin{Bmatrix} F_{xAB} \\ F_{yAB} \\ F_{zAB} \end{Bmatrix} + F_{molla} \begin{Bmatrix} x_{AMA} - x_{ATT} \\ y_{AMA} - y_{ATT} \\ z_{AMA} - z_{ATT} \end{Bmatrix}_n - F_{bieleta} \begin{Bmatrix} x_{B1} - x_{B2} \\ y_{B1} - y_{B2} \\ z_{B1} - z_{B2} \end{Bmatrix}_n &= -m_{b1} \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ -g \end{Bmatrix} \\
\sum_{i=0}^n \vec{M}_{AB i} = 0 &\Rightarrow \vec{M}_{AB} + \vec{F}_{molla} \wedge (\overrightarrow{p_{AMA} - p_{AB}}) - \vec{F}_{bieleta-accio} \wedge (\overrightarrow{p_{B1} - p_{AB}}) + \vec{P}_{b1} \wedge (\overrightarrow{p_{CDG_{b1}} - p_{AB}}) = 0 \\
\Rightarrow \begin{Bmatrix} M_{xAB} \\ 0 \\ M_{zAB} \end{Bmatrix} + F_{molla} \begin{Bmatrix} x_{AMA} - x_{ATT} \\ y_{AMA} - y_{ATT} \\ z_{AMA} - z_{ATT} \end{Bmatrix}_n \wedge \begin{Bmatrix} x_{AMA} - x_{AB} \\ y_{AMA} - y_{AB} \\ z_{AMA} - z_{AB} \end{Bmatrix} - F_{bieleta} \begin{Bmatrix} x_{B1} - x_{B2} \\ y_{B1} - y_{B2} \\ z_{B1} - z_{B2} \end{Bmatrix}_n \wedge \begin{Bmatrix} x_{B1} - x_{AB} \\ y_{B1} - y_{AB} \\ z_{B1} - z_{AB} \end{Bmatrix} &= \\
= -m_{b1} \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ -g \end{Bmatrix}_n \wedge \begin{Bmatrix} x_{CDG_{b1}} - x_{AB} \\ y_{CDG_{b1}} - y_{AB} \\ z_{CDG_{b1}} - z_{AB} \end{Bmatrix}
\end{aligned}$$

Reunint els tres sistemes obtenim 18 equacions amb 18 incògnites. D'aquesta forma es poden treure les reaccions al punt d'unió del basculant i bieleta, i la força que exerceix el grup molla-amortidor per mantenir el vehicle en estàtica.

C.2.3. Altres configuracions.

- Determinació de la força de la molla: donada una nova longitud l_f de la molla:



$$\text{Molles lineals: } F_{molla} = k(l_f - l_n) = F_{molla-0} + k(l_f - l_0) = F_{molla-0} + k\Delta l_0$$

$$\text{Molles no lineals (Taylor): } F_{molla} = k_1(l_f - l_n) + k_2(l_f - l_n)^2 + \dots = k_1\Delta l_n + k_2\Delta l_n^2 + \dots$$

- Anàlisi quasi-estàtic: Es tracta de trobar, un cop coneguda la força que fa la molla sobre el basculant o sobre la bieleta, la força normal que s'ha de fer sobre el punt de contacte de la roda amb el terra per tal de mantenir el vehicle en equilibri.

Es farà el desenvolupament considerant que es fa servir el sistema per bieletes. Donat que fent aquest desenvolupament s'arribarà a una reacció coneguda en el punt B2, l'equivalent per el sistema per unió directe seria substituir aquesta reacció coneguda en el punt B2 per la força que fa el grup molla-amortidor sobre el basculant, i la resta del procediment seria idèntic. Es començarà per estudiar sistema Bieleta 1, tot considerant que el grup molla-amortidor no fa forces respecte l'eix y:

$$\begin{aligned} \sum_{i=0}^n \vec{F}_i = 0 &\Rightarrow \vec{F}_{bieleta} + \vec{F}_{molla} + \vec{F}_{AB} + \vec{P}_{b1} = 0 \Rightarrow \vec{F}_{AB} + \vec{F}_{bieleta} = -\vec{P}_{b1} - \vec{F}_{molla} \\ &\Rightarrow \begin{Bmatrix} F_{xAB} \\ F_{yAB} \\ F_{zAB} \end{Bmatrix} + F_{bieleta} \begin{Bmatrix} x_{B1} - x_{B2} \\ y_{B1} - y_{B2} \\ z_{B1} - z_{B2} \end{Bmatrix}_n = -m_{b1} \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ -g \end{Bmatrix} - F_{molla} \begin{Bmatrix} x_{AMA} - x_{ATT} \\ y_{AMA} - y_{ATT} \\ z_{AMA} - z_{ATT} \end{Bmatrix}_n \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum_{i=0}^n \vec{M}_{ABi} = 0 &\Rightarrow \vec{M}_{AB} + \vec{F}_{molla} \wedge (\overrightarrow{p_{AMA} - p_{AB}}) + \vec{F}_{bieleta} \wedge (\overrightarrow{p_{B1} - p_{AB}}) + \vec{P}_{b1} \wedge (\overrightarrow{p_{CDG_{b1}} - p_{AB}}) = 0 \\ &\Rightarrow \begin{Bmatrix} M_{xAB} \\ 0 \\ M_{zAB} \end{Bmatrix} + F_{bieleta} \begin{Bmatrix} x_{B1} - x_{B2} \\ y_{B1} - y_{B2} \\ z_{B1} - z_{B2} \end{Bmatrix}_n \wedge \begin{Bmatrix} x_{B1} - x_{AB} \\ y_{B1} - y_{AB} \\ z_{B1} - z_{AB} \end{Bmatrix} = \\ &= -m_{b1} \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ -g \end{Bmatrix}_n \wedge \begin{Bmatrix} x_{CDG_{b1}} - x_{AB} \\ y_{CDG_{b1}} - y_{AB} \\ z_{CDG_{b1}} - z_{AB} \end{Bmatrix} - F_{molla} \begin{Bmatrix} x_{AMA} - x_{ATT} \\ y_{AMA} - y_{ATT} \\ z_{AMA} - z_{ATT} \end{Bmatrix}_n \wedge \begin{Bmatrix} x_{AMA} - x_{AB} \\ y_{AMA} - y_{AB} \\ z_{AMA} - z_{AB} \end{Bmatrix} \end{aligned}$$

Agafant el sistema Basculant, sabent que es garanteix l'estàtica, s'ha de complir:

$$\begin{aligned} \sum_{i=0}^n \vec{F}_i = 0 &\Rightarrow \vec{F}_{EB} + \vec{F}_{CET} + \vec{F}_{bieleta-reaccio} + \vec{P}_{Basc} = 0 \Rightarrow \vec{F}_{EB} + \vec{F}_{CET} - \vec{F}_{bieleta} = -\vec{P}_{Basc} \\ &\Rightarrow \begin{Bmatrix} F_{xEb} \\ F_{yEb} \\ F_{zEb} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} F_{xCET} \\ F_{yCET} \\ F_{zCET} \end{Bmatrix} - F_{bieleta} \begin{Bmatrix} x_{B1} - x_{B2} \\ y_{B1} - y_{B2} \\ z_{B1} - z_{B2} \end{Bmatrix}_n = -m_{Basc} \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ -g \end{Bmatrix} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
\sum_{i=0}^n \vec{M}_{EB i} = 0 &\Rightarrow \vec{M}_{EB} + \vec{M}_{CET} + \vec{F}_{CET} \wedge (\overrightarrow{p_{CET} - p_{EB}}) + \vec{F}_{bieleta-reaccio} \wedge (\overrightarrow{p_{B2} - p_{EB}}) \\
&\quad + \vec{P}_{Basc} \wedge (\overrightarrow{p_{CDG_{Basc}} - p_{EB}}) = 0 \\
\Rightarrow \vec{M}_{EB} + \vec{M}_{CET} + \vec{F}_{CET} \wedge (\overrightarrow{p_{CET} - p_{EB}}) - \vec{F}_{bieleta-reaccio} \wedge (\overrightarrow{p_{AMA} - p_{EB}}) &= -\vec{P}_{Basc} \wedge (\overrightarrow{p_{CDG_{Basc}} - p_{EB}}) \\
\Rightarrow \begin{Bmatrix} M_{xEB} \\ M_{yEB} \\ M_{zEB} \end{Bmatrix} - F_{bieleta} \begin{Bmatrix} x_{B1} - x_{B2} \\ y_{B1} - y_{B2} \\ z_{B1} - z_{B2} \end{Bmatrix}_n \wedge \begin{Bmatrix} x_{B2} - x_{EB} \\ y_{B2} - y_{EB} \\ z_{B2} - z_{EB} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} M_{xCET} \\ M_{yCET} \\ M_{zCET} \end{Bmatrix} + \\
+ \begin{Bmatrix} F_{xCET} \\ F_{yCET} \\ F_{zCET} \end{Bmatrix} \wedge \begin{Bmatrix} x_{CET} - x_{EB} \\ y_{CET} - y_{EB} \\ z_{CET} - z_{EB} \end{Bmatrix} = -m_{Basc} \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ -g \end{Bmatrix} \wedge \begin{Bmatrix} x_{CDG_{Basc}} - x_{EB} \\ y_{CDG_{Basc}} - y_{EB} \\ z_{CDG_{Basc}} - z_{EB} \end{Bmatrix}
\end{aligned}$$

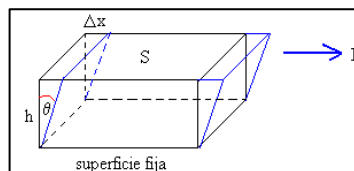
Finalment, amb el sistema Eix Posterior + Roda Posterior Esquerra + Roda Posterior Dreta:

$$\begin{aligned}
\sum_{i=0}^n \vec{F}_i = 0 &\Rightarrow \vec{F}_{rodaTD} + \vec{F}_{rodaTE} + \vec{F}_{CET} + \vec{P}_{rodaTD} + \vec{P}_{rodaTE} + \vec{P}_{eix} = 0 \\
\Rightarrow \begin{Bmatrix} F_{CETx} \\ F_{CETy} \\ F_{CETz} \end{Bmatrix} &= - \begin{Bmatrix} F_{rodaTDx} \\ F_{rodaTDy} \\ F_{rodaTDz} \end{Bmatrix} - \begin{Bmatrix} F_{rodaTEx} \\ F_{rodaTEy} \\ F_{rodaTEz} \end{Bmatrix} - m_{rd} \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ -g \end{Bmatrix} - m_{re} \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ -g \end{Bmatrix} - m_{eix} \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ -g \end{Bmatrix} \\
\sum_{i=0}^n \vec{M}_i = 0 &\Rightarrow \vec{M}_{rodaTD} + \vec{M}_{rodaTE} + \vec{M}_{CET} + \vec{F}_{rodaTD} \wedge (\overrightarrow{p_{PC_{TD}} - p_{CET}}) + \vec{F}_{rodaTE} \wedge (\overrightarrow{p_{PC_{TE}} - p_{CET}}) + \\
&\quad \vec{P}_{rodaTD} \wedge (\overrightarrow{p_{CDG_{rd}} - p_{CET}}) + \vec{P}_{rodaTE} \wedge (\overrightarrow{p_{CDG_{re}} - p_{CET}}) + \vec{P}_{eix} \wedge (\overrightarrow{p_{CDG_{eix}} - p_{CET}}) = 0 \\
\Rightarrow \begin{Bmatrix} M_{CETx} \\ M_{CETy} \\ M_{CETz} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} M_{rTDx} \\ M_{rTDy} \\ M_{rTDz} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} M_{rTEx} \\ M_{rTEy} \\ M_{rTEz} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} F_{rTDx} \\ F_{rTDy} \\ F_{rTDz} \end{Bmatrix} \wedge \begin{Bmatrix} x_{PCTD} - x_{CET} \\ y_{PCTD} - y_{CET} \\ z_{PCTD} - z_{CET} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} F_{rTEx} \\ F_{rTEy} \\ F_{rTEz} \end{Bmatrix} \wedge \begin{Bmatrix} x_{PCTE} - x_{CET} \\ y_{PCTE} - y_{CET} \\ z_{PCTE} - z_{CET} \end{Bmatrix} = \\
= -m_{rd} \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ -g \end{Bmatrix} \wedge \begin{Bmatrix} x_{CDG_{rd}} - x_{CET} \\ y_{CDG_{rd}} - y_{CET} \\ z_{CDG_{rd}} - z_{CET} \end{Bmatrix} - m_{re} \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ -g \end{Bmatrix} \wedge \begin{Bmatrix} x_{CDG_{re}} - x_{CET} \\ y_{CDG_{re}} - y_{CET} \\ z_{CDG_{re}} - z_{CET} \end{Bmatrix} - m_{eix} \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ -g \end{Bmatrix} \wedge \begin{Bmatrix} x_{CDG_{eix}} - x_{CET} \\ y_{CDG_{eix}} - y_{CET} \\ z_{CDG_{eix}} - z_{CET} \end{Bmatrix}
\end{aligned}$$



ANNEX D: Relació tensió/deformació en un cilindre de dimensions conegudes.

Sigui un cos en forma de paral·lelepípede de base S i altura h , quan la força F que actua sobre el cos és paral·lela a una de les cares mentre que l'altra roman fixa, es presenta un altre tipus de deformació anomenada cisallament en el que no hi



ha canvi de volum però sí de forma. Si originalment la secció transversal del cos té forma rectangular, sota un esforç tallant es converteix en un paral·lelogram. Definirem l'esforç com F/S la raó entre la força tangencial al àrea S de la cara sobre la qual s'aplica. La deformació per cisallament, es defineix com la raó $\Delta x/h$ on Δx és la distància horitzontal que es desplaça la cara sobre la qual s'aplica la força i h la alçada del cos, tal i com veiem a la figura. El mòdul de cisallament G és una propietat mecànica de cada material. Si els angles de desplaçament són petits, es pot dir:

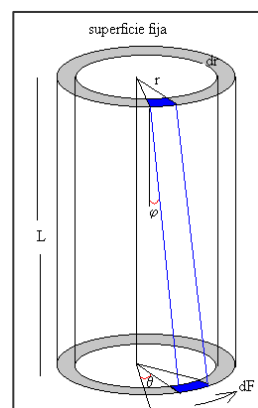
$$\theta \approx \tan \theta = \frac{\Delta x}{h}$$

$$G = \frac{\text{Esforç}}{\text{deformació}} = \frac{F/S}{\Delta x/h} = \frac{F/S}{\theta}$$

Metall	G en 10^9 N/m^2
Coure estirat en fred	48.0
Alumini	25.0-26.0
Acer al carboni	8
Acer aleat	80.0
Zinc laminat	31.0
Llautó estirat en fred	34.0-36.0
Bronze d'alumini	41.0
Titani	44.0
Níquel	79.0

Per el problema que es planteja:

Sigui una barra de material de forma cilíndrica de radi R i longitud L . Un extrem està fix i l'altre extrem lliure se li aplica una força amb la fi de produir un cisallament a la barra cilíndrica. Com veiem a la figura, el rectangle format per l'eix i el radi del cilindre s'ha convertit en un paral·lelogram tal i com indiquen les línies de color blau, on φ és l'angle de deformació.



Una força dF és aplicada paral·lelament a la superfície en forma d'anell (en color gris) de radi r i d'espessor dr , d'àrea $2\pi \cdot r \cdot dr$. El mòdul de cisallament és el quocient entre l'esforç (força dividit per l'àrea del anell) i la deformació angular:



$$G = \frac{dF}{\frac{2\pi \cdot r \cdot dr}{\varphi}}$$

Com podem veure a la figura la relació entre l'angle φ de deformació i l'angle θ de desplaçament angular en el extrem lliure és $L\varphi = r\theta$. El moment de la força aplicada és:

$$M = \int_0^R r \cdot dF = \int_0^R \frac{2\pi \cdot G \cdot \theta}{L} r^3 dr = \frac{\pi \cdot G \cdot R^4}{2L} \theta$$

El moment de la força aplicada M és proporcional al angle de gir θ del extrem lliure, i es pot determinar a partir del mòdul de cisallament G , la longitud L i el radi R de la barra cilíndrica.



ANNEX E: Taules de valors de les cotes de suspensió del model de quad.

E.1. Geometria davantera.

- Caiguda, convergència i avanç en funció de l'alçada del punt de contacte.

Valors del software

Valors mesurats en SolidWorks

Pla de Terra (Z _{PCD})	Caig.	Convergència	Avanç	Pla de Terra (Z _{PCD})	Caig.	Convergència	Avanç
63,267	-1,026	-4,573	8,749	-63,266	1,029	-4,572	8,749
61,167	-1,095	-4,470	8,745	61,165	-1,099	-4,469	8,745
59,065	-1,167	-4,365	8,741	59,064	-1,171	-4,364	8,741
56,961	-1,241	-4,259	8,738	56,959	-1,244	-4,258	8,738
54,855	-1,316	-4,151	8,734	54,853	-1,320	-4,149	8,734
52,747	-1,394	-4,040	8,730	52,745	-1,398	-4,039	8,730
50,639	-1,474	-3,928	8,726	50,638	-1,478	-3,921	8,726
48,529	-1,556	-3,813	8,721	48,528	-1,559	-3,812	8,721
46,417	-1,640	-3,697	8,717	46,415	-1,644	-3,695	8,717
44,305	-1,726	-3,578	8,712	44,303	-1,729	-3,576	8,712
42,192	-1,815	-3,457	8,707	42,191	-1,818	-3,456	8,707
40,077	-1,906	-3,333	8,702	40,075	-1,909	-3,332	8,702
37,962	-2,000	-3,207	8,697	37,963	-2,003	-3,205	8,697
35,847	-2,096	-3,079	8,692	35,846	-2,099	-3,078	8,692
33,731	-2,195	-2,947	8,686	33,729	-2,198	-2,946	8,686
31,615	-2,297	-2,813	8,681	31,614	-2,300	-2,811	8,681
29,499	-2,401	-2,677	8,675	29,498	-2,404	-2,675	8,675
27,383	-2,509	-2,537	8,669	27,381	-2,512	-2,535	8,669
25,268	-2,619	-2,394	8,662	25,266	-2,621	-2,392	8,662
23,153	-2,733	-2,249	8,656	23,152	-2,735	-2,247	8,656
21,038	-2,849	-2,099	8,649	21,036	-2,851	-2,097	8,649
18,925	-2,969	-1,947	8,642	18,924	-2,972	-1,945	8,642
16,813	-3,093	-1,791	8,634	16,812	-3,095	-1,789	8,634
14,703	-3,220	-1,631	8,627	14,699	-3,222	-1,629	8,627
12,594	-3,351	-1,467	8,619	12,593	-3,353	-1,465	8,619



10,488	-3,485	-1,299	8,610	10,487	-3,486	-1,297	8,610
8,384	-3,624	-1,127	8,602	8,383	-3,625	-1,125	8,602
6,283	-3,767	-0,951	8,593	6,282	-3,768	-0,949	8,593
4,185	-3,914	-0,770	8,584	4,184	-3,915	-0,768	8,584
2,090	-4,066	-0,584	8,574	2,090	-4,066	-0,582	8,574
0,000	-4,222	-0,393	8,564	0,000	-4,223	-0,391	8,564
-2,086	-4,383	-0,196	8,553	-2,086	-4,383	-0,196	8,553
-4,167	-4,550	0,006	8,542	-4,167	-4,550	0,006	8,542
-6,243	-4,722	0,214	8,531	-6,244	-4,722	0,214	8,531
-8,312	-4,900	0,429	8,519	-8,312	-4,900	0,428	8,519
-10,375	-5,083	0,650	8,507	-10,376	-5,084	0,648	8,507
-12,431	-5,273	0,878	8,494	-12,437	-5,274	0,875	8,494
-14,478	-5,469	1,114	8,480	-14,479	-5,470	1,110	8,480
-16,517	-5,672	1,358	8,466	-16,518	-5,674	1,352	8,466
-18,546	-5,883	1,611	8,451	-18,547	-5,885	1,602	8,451
-20,564	-6,101	1,872	8,435	-20,565	-6,104	1,862	8,435
-22,571	-6,327	2,144	8,419	-22,573	-6,332	2,131	8,419
-24,564	-6,562	2,426	8,401	-24,566	-6,568	2,410	8,401
-26,544	-6,805	2,719	8,383	-26,546	-6,814	2,700	8,383
-28,508	-7,059	3,025	8,364	-28,510	-7,069	3,002	8,364
-30,455	-7,323	3,343	8,343	-30,458	-7,336	3,317	8,343
-32,383	-7,597	3,677	8,322	-32,386	-7,614	3,645	8,322
-34,291	-7,884	4,026	8,299	-34,294	-7,904	3,988	8,299
-36,175	-8,183	4,392	8,274	-36,178	-8,207	4,347	8,274
-38,034	-8,495	4,776	8,249	-38,037	-8,526	4,724	8,249
-39,865	-8,822	5,182	8,221	-39,869	-8,859	5,121	8,221
-41,665	-9,165	5,611	8,192	-41,669	-9,210	5,539	8,192
-43,430	-9,525	6,065	8,160	-43,435	-9,580	5,982	8,160
-45,155	-9,904	6,549	8,126	-45,159	-9,970	6,451	8,126
-46,836	-10,303	7,065	8,090	-46,841	-10,383	6,950	8,090
-48,467	-10,724	7,619	8,050	-48,472	-10,821	7,484	8,050
-50,041	-11,170	8,215	8,008	-50,046	-11,288	8,056	8,008
-51,550	-11,644	8,861	7,961	-51,556	-11,787	8,674	7,961
-52,984	-12,148	9,566	7,909	-52,990	-12,323	9,345	7,909
-54,329	-12,687	10,341	7,853	-54,335	-12,901	10,078	7,853
-55,569	-13,266	11,200	7,789	-55,576	13,529	10,887	7,789



- Longitud del grup molla-amortidor i ample de via en funció de l'alçada del punt de contacte.

*Valors del software**Valors mesurats en SolidWorks*

Pla de Terra (Z _{PCD})	Long. MA	Ample Via	Pla de Terra (Z _{PCD})	Long. MA	Ample Via
63,267	441,002	1050,806	-63,266	441,002	1050,806
61,167	442,002	1050,354	61,165	442,002	1050,354
59,065	443,002	1049,886	59,064	443,002	1049,886
56,961	444,002	1049,402	56,959	444,002	1049,402
54,855	445,002	1048,902	54,853	445,002	1048,902
52,747	446,002	1048,387	52,745	446,002	1048,387
50,639	447,002	1047,855	50,638	447,002	1047,855
48,529	448,002	1047,308	48,528	448,002	1047,308
46,417	449,002	1046,745	46,415	449,002	1046,745
44,305	450,002	1046,167	44,303	450,002	1046,167
42,192	451,002	1045,574	42,191	451,002	1045,574
40,077	452,002	1044,965	40,075	452,002	1044,965
37,962	453,002	1044,341	37,963	453,002	1044,341
35,847	454,002	1043,702	35,846	454,002	1043,702
33,731	455,002	1043,049	33,729	455,002	1043,049
31,615	456,002	1042,381	31,614	456,002	1042,381
29,499	457,002	1041,699	29,498	457,002	1041,699
27,383	458,002	1041,003	27,381	458,002	1041,003
25,268	459,002	1040,294	25,266	459,002	1040,294
23,153	460,002	1039,570	23,152	460,002	1039,570
21,038	461,002	1038,834	21,036	461,002	1038,834
18,925	462,002	1038,085	18,924	462,002	1038,085
16,813	463,002	1037,324	16,812	463,002	1037,324
14,703	464,002	1036,551	14,699	464,002	1036,551
12,594	465,002	1035,766	12,593	465,002	1035,766
10,488	466,002	1034,971	10,487	466,002	1034,971
8,384	467,002	1034,165	8,383	467,002	1034,165
6,283	468,002	1033,350	6,282	468,002	1033,350



4,185	469,002	1032,525	4,184	469,002	1032,525
2,090	470,002	1031,692	2,090	470,002	1031,692
0,000	471,002	1030,852	0,000	471,002	1030,852
-2,086	472,002	1030,005	-2,086	472,002	1030,005
-4,167	473,002	1029,151	-4,167	473,002	1029,151
-6,243	474,002	1028,294	-6,244	474,002	1028,294
-8,312	475,002	1027,432	-8,312	475,002	1027,432
-10,375	476,002	1026,568	-10,376	476,002	1026,568
-12,431	477,002	1025,703	-12,437	477,002	1025,703
-14,478	478,002	1024,838	-14,479	478,002	1024,838
-16,517	479,002	1023,975	-16,518	479,002	1023,975
-18,546	480,002	1023,116	-18,547	480,002	1023,116
-20,564	481,002	1022,263	-20,565	481,002	1022,263
-22,571	482,002	1021,417	-22,573	482,002	1021,417
-24,564	483,002	1020,581	-24,566	483,002	1020,581
-26,544	484,002	1019,758	-26,546	484,002	1019,758
-28,508	485,002	1018,951	-28,510	485,002	1018,951
-30,455	486,002	1018,162	-30,458	486,002	1018,162
-32,383	487,002	1017,396	-32,386	487,002	1017,396
-34,291	488,002	1016,656	-34,294	488,002	1016,656
-36,175	489,002	1015,947	-36,178	489,002	1015,947
-38,034	490,002	1015,274	-38,037	490,002	1015,274
-39,865	491,002	1014,643	-39,869	491,002	1014,643
-41,665	492,002	1014,060	-41,669	492,002	1014,060
-43,430	493,002	1013,533	-43,435	493,002	1013,533
-45,155	494,002	1013,070	-45,159	494,002	1013,070
-46,836	495,002	1012,681	-46,841	495,002	1012,681
-48,467	496,002	1012,378	-48,472	496,002	1012,377
-50,041	497,002	1012,174	-50,046	497,002	1012,174
-51,550	498,002	1012,085	-51,556	498,002	1012,084
-52,984	499,002	1012,131	-52,990	499,002	1012,130
-54,329	500,002	1012,335	-54,335	500,002	1012,334
-55,570	501,002	1012,727	-55,576	501,002	1012,728



E.2. Geometria posterior.

- Inclinació del basculant, longitud del grup molla-amortidor, caiguda i convergència en funció de l'alçada del punt de contacte.

Valors del software

Valors mesurats en SolidWorks

Pla de Terra (Z _{PCT})	Inclinació Basculant	Long. MA	Caiguda Convergència	Pla de Terra (Z _{PCT})	Inclinació Basculant	Long. MA	Caiguda Convergència
-200	19,269	392,021	0	-200	19,269	392,021	0
-190	18,478	392,269	0	-190	18,478	392,269	0
-180	17,670	392,318	0	-180	17,670	392,318	0
-170	16,844	392,190	0	-170	16,844	392,190	0
-160	16,001	391,903	0	-160	16,001	391,903	0
-150	15,139	391,468	0	-150	15,139	391,468	0
-140	14,259	390,895	0	-140	14,259	390,895	0
-130	13,360	390,189	0	-130	13,360	390,189	0
-120	12,443	389,355	0	-120	12,443	389,355	0
-110	11,507	388,398	0	-110	11,507	388,398	0
-100	10,553	387,319	0	-100	10,553	387,319	0
-90	9,580	386,120	0	-90	9,580	386,120	0
-80	8,588	384,802	0	-80	8,588	384,802	0
-70	7,578	383,367	0	-70	7,578	383,367	0
-60	6,549	381,813	0	-60	6,549	381,813	0
-50	5,501	380,143	0	-50	5,501	380,143	0
-40	4,436	378,354	0	-40	4,436	378,354	0
-30	3,353	376,448	0	-30	3,353	376,448	0
-20	2,252	374,423	0	-20	2,252	374,423	0
-10	1,134	372,280	0	-10	1,134	372,280	0
0	0,000	370,018	0	0	0,000	370,018	0
10	-1,150	367,636	0	10	-1,150	367,636	0
20	-2,316	365,135	0	20	-2,316	365,135	0
30	-3,497	362,514	0	30	-3,497	362,514	0
40	-4,692	359,772	0	40	-4,692	359,772	0



50	-5,900	356,908	0	50	-5,900	356,908	0
60	-7,121	353,924	0	60	-7,121	353,924	0
70	-8,353	350,817	0	70	-8,353	350,817	0
80	-9,595	347,587	0	80	-9,595	347,587	0
90	-10,847	344,234	0	90	-10,847	344,234	0
100	-12,107	340,756	0	100	-12,107	340,756	0
110	-13,375	337,152	0	110	-13,375	337,152	0
120	-14,648	333,419	0	120	-14,648	333,419	0
130	-15,926	329,556	0	130	-15,926	329,556	0
140	-17,208	325,559	0	140	-17,208	325,559	0
150	-18,492	321,425	0	150	-18,492	321,425	0
160	-19,777	317,150	0	160	-19,777	317,150	0
170	-21,061	312,725	0	170	-21,061	312,725	0
180	-22,344	308,145	0	180	-22,344	308,145	0
190	-23,624	303,399	0	190	-23,624	303,399	0
200	-24,900	298,475	0	200	-24,900	298,475	0

