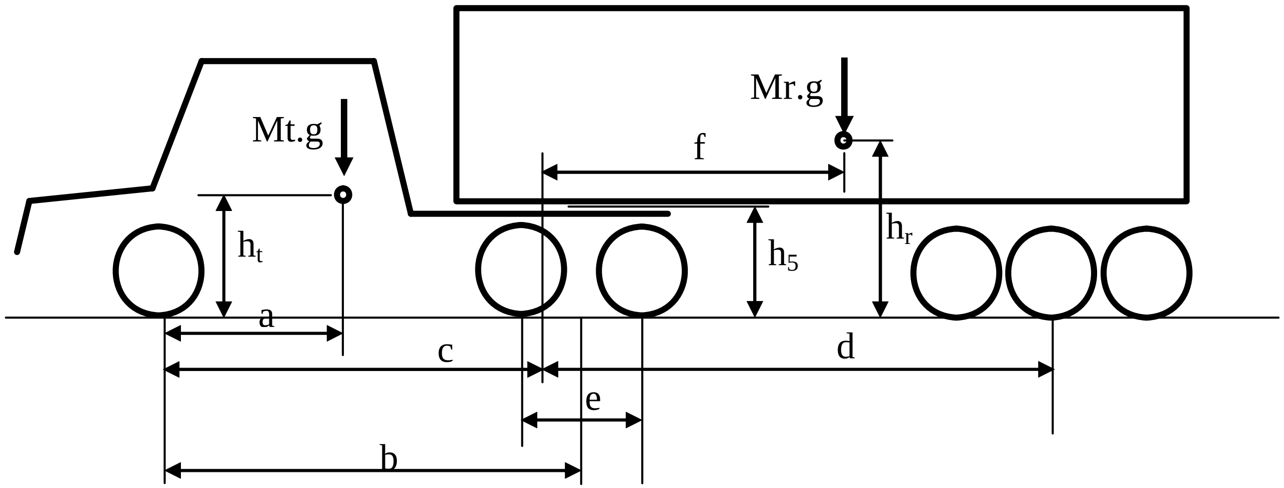
Un conjunto tractor/remolque de camión posee las dimensiones in dicadas en la figura. Dispone de tres circuitos de presión de freno que permiten regular de forma independiente los esfuerzos de freno de:

- el eje delantero
- los dos ejes del bogie del tractor
- los tres ejes del bogie del semirremolque.

1. Dibujar los planos de saturación del esfuerzo de freno en condiciones de carretera seca μ =0,85 y de carretera húmeda μ=0,25.
2. Determinar la curva óptima de reparto de freno en función del coeficiente de la adherencia disponible entre neumáticos y carretera

Nota: se considera que todos los ejes de cada bogie soportan la misma carga

Masa del tractor Mt= 7.510 kg
Masa del remolque Mr= 35.000 Kg
a= 1.487 b=3.175 c=2.950 e=1.350 d=7.700 f=5.200
ht=950 hr=2.300 h5=1.050



Datos:

$Mt := 7510$ $Mr := 35000$

$a := 1.487$ $b := 3.175$ $c := 2.95$ $d := 7.7$ $e := 1.35$ $f := 5.2$ $ht := 0.95$ $hr := 2.3$ $h5 := 1.050$

Cargas en condiciones estáticas:

$g := 9.81$

Carga Vertical sobre la quinta rueda:

$$W5s := \frac{d - f}{d} \cdot Mr \cdot 9.81 \qquad W5s = 1.115 \times 10^{5} \quad \text{kN}$$

Carga vertical sobre el primer eje:

$$W1s := \frac{b - a}{b} \cdot Mt \cdot 9.81 + \frac{b - c}{b} \cdot W5s \qquad \frac{W1s}{1000} = 47.069$$

Carga vertical sobre el bogie del tractor:

$$W2s := \frac{a}{b} \cdot Mt \cdot 9.81 + \frac{c}{b} \cdot W5s \qquad \frac{W2s}{1000} = 138.082$$

$$W1s + W2s - Mt \cdot 9.81 - W5s = 0$$

Carga vertical sobre el bogie del semirremolque:

$$Wrs := \frac{f}{d} \cdot Mr \cdot 9.81 \qquad \frac{Wrs}{1000} = 231.873$$

Comprobación de la precisión del cálculo:

$$W1s + W2s + Wrs - (Mt + Mr) \cdot 9.81 = 0$$

Esfuerzos de frenado en cada eje (adherencia normal):

Carga dinámica sobre el bogie del semirremolque:
Tomando momentos respecto de la 5ª rueda:

$$Mr \cdot Ac \cdot (hr - h5) - Mr \cdot 9.81 \cdot f + Wr \cdot d + Fxr \cdot h5 = 0$$

Despejando Wr

$$Wr = \frac{Mr \cdot 9.81 \cdot f - Mr \cdot Ac \cdot (hr - h5) - Fxr \cdot h5}{d}$$

Carga de frenado en la 5ª rueda:
Del equilibrio de cargas verticales en el remolque:

$$W5 = Mr \cdot 9.81 - Wr$$

Sustituyendo la expresión de Wr

$$W5 = \frac{Mr \cdot 9.81 \cdot (d - f) + Mr \cdot Ac \cdot (hr - h5) + Fxr \cdot h5}{d}$$

Esfuerzo de freno transmitido a través de la 5ª rueda:

$$Fx5 = Mr \cdot Ac - Fxr$$

Carga dinámica en el primer eje:
Tomamos momentos respecto del punto de apoyo del 2º eje y despejamos W1

$$W1 = \frac{b - a}{b} \cdot Mt \cdot 9.81 + \frac{ht}{b} \cdot Mt \cdot Ac + \frac{b - c}{b} \cdot W5 + \frac{h5}{b} \cdot Fx5$$

Carga en el segundo eje:

$$W2 = \frac{a}{b} \cdot Mt \cdot 9.81 - \frac{ht}{b} \cdot Mt \cdot Ac + \frac{c}{b} \cdot W5 - \frac{h5}{b} \cdot Fx5$$

$$Ac = \frac{Fx1 + Fx2 + Fxr}{Mt + Mr}$$

Condición de saturación del eje 1:

$$\mathrm{Fx1} = \mu\cdot \mathrm{W1} = \mu\cdot\frac{(b-a)\cdot \mathrm{Mt}\cdot 9.81 + \mathrm{ht}\cdot\mathrm{Mt}\cdot\mathrm{Ac} + (b-c)\cdot \mathrm{W5} + \mathrm{h5}\cdot\mathrm{Fx5}}{b}$$

$$\mathrm{Fx1} = \mu\cdot\frac{(b-a)\cdot \mathrm{Mt}\cdot 9.81 + \mathrm{ht}\cdot\mathrm{Mt}\cdot\mathrm{Ac} + (b-c)\cdot \mathrm{W5} + \mathrm{h5}\cdot(\mathrm{Mr}\cdot\mathrm{Ac} - \mathrm{Fxr})}{b}$$

$$\mathrm{Fx1} = \mu\cdot\frac{(b-a)\cdot\mathrm{Mt}\cdot g + \mathrm{ht}\cdot\mathrm{Mt}\cdot\frac{\mathrm{Fx1}+\mathrm{Fx2}+\mathrm{Fxr}}{\mathrm{Mt}+\mathrm{Mr}} + (b-c)\cdot\frac{\mathrm{Mr}\cdot g\cdot(d-f) + \mathrm{Mr}\cdot\frac{\mathrm{Fx1}+\mathrm{Fx2}+\mathrm{Fxr}}{\mathrm{Mt}+\mathrm{Mr}}\cdot(\mathrm{hr}-\mathrm{h5}) + \mathrm{Fxr}\cdot\mathrm{h5}}{d} + \mathrm{h5}\cdot\left(\mathrm{Mr}\cdot\frac{\mathrm{Fx1}+\mathrm{Fx2}+\mathrm{Fxr}}{\mathrm{Mt}+\mathrm{Mr}} - \mathrm{Fxr}\right)}{b}$$

$$\mathrm{Fx1m}(\mathrm{Fx2},\mathrm{Fxr},\mu) := -\mu\cdot\frac{-\mathrm{Mr}^2\cdot g\cdot f\cdot b - c\cdot\mathrm{Fxr}\cdot\mathrm{h5}\cdot\mathrm{Mt} + \mathrm{Mt}^2\cdot g\cdot b\cdot d - \mathrm{Mt}^2\cdot g\cdot a\cdot d - c\cdot\mathrm{Mr}^2\cdot g\cdot d - c\cdot\mathrm{Mr}\cdot\mathrm{Fx2}\cdot\mathrm{hr} + \mathrm{Fxr}\cdot\mathrm{h5}\cdot b\cdot\mathrm{Mt} + c\cdot\mathrm{Mr}^2\cdot g\cdot f + \mathrm{Mr}^2\cdot g\cdot b\cdot d + \mathrm{Mr}\cdot\mathrm{Fxr}\cdot\mathrm{hr}\cdot b - \mathrm{Mr}\cdot\mathrm{Fx2}\cdot\mathrm{h5}\cdot b + \mathrm{Mr}\cdot\mathrm{Fx2}\cdot h}{-\mu\cdot c\cdot\mathrm{Mr}\cdot\mathrm{hr} + \mu\cdot c\cdot\mathrm{Mr}\cdot\mathrm{h5} + \mu\cdot\mathrm{ht}\cdot\mathrm{Mt}\cdot d - b\cdot d\cdot}$$

$$\mathrm{Fx2} = \mu\cdot\mathrm{W2} = \mu\cdot\left(\frac{a}{b}\cdot\mathrm{Mt}\cdot 9.81 - \frac{\mathrm{ht}}{b}\cdot\mathrm{Mt}\cdot\mathrm{Ac} + \frac{c}{b}\cdot\mathrm{W5} - \frac{\mathrm{h5}}{b}\cdot\mathrm{Fx5}\right) = \mu\cdot\left[\frac{a}{b}\cdot\mathrm{Mt}\cdot 9.81 - \frac{\mathrm{ht}}{b}\cdot\mathrm{Mt}\cdot\mathrm{Ac} + \frac{c}{b}\cdot\frac{\mathrm{Mr}\cdot 9.81\cdot(d-f) + \mathrm{Mr}\cdot\mathrm{Ac}\cdot(\mathrm{hr}-\mathrm{h5}) + \mathrm{Fxr}\cdot\mathrm{h5}}{d} - \frac{\mathrm{h5}}{b}\cdot(\mathrm{Mr}\cdot\mathrm{Ac} - \mathrm{Fxr})\right]$$

$$\mathrm{Fx2} = \mu\cdot\left[\frac{a}{b}\cdot\mathrm{Mt}\cdot 9.81 - \frac{\mathrm{ht}}{b}\cdot\mathrm{Mt}\cdot\mathrm{Ac} + \frac{c}{b}\cdot\frac{\mathrm{Mr}\cdot 9.81\cdot(d-f) + \mathrm{Mr}\cdot\mathrm{Ac}\cdot(\mathrm{hr}-\mathrm{h5}) + \mathrm{Fxr}\cdot\mathrm{h5}}{d} - \frac{\mathrm{h5}}{b}\cdot(\mathrm{Mr}\cdot\mathrm{Ac} - \mathrm{Fxr})\right]$$

$$\mathrm{Fx2} = \mu\cdot\left(\frac{c}{b}\cdot\mathrm{Mr}\cdot\frac{\mathrm{hr} - 1.\cdot\mathrm{h5}}{d} - \frac{\mathrm{h5}}{b}\cdot\mathrm{Mr} - \frac{\mathrm{ht}}{b}\cdot\mathrm{Mt}\right)\cdot\mathrm{Ac} + \mu\cdot\left[9.81\cdot\frac{a}{b}\cdot\mathrm{Mt} + \frac{c}{b}\cdot\frac{9.81\cdot\mathrm{Mr}\cdot(d-f) + \mathrm{Fxr}\cdot\mathrm{h5}}{d} + \frac{\mathrm{h5}}{b}\cdot\mathrm{Fxr}\right]$$

$$\mathrm{Fx2} = \mu\cdot\left(\frac{c}{b}\cdot\mathrm{Mr}\cdot\frac{\mathrm{hr} - 1.\cdot\mathrm{h5}}{d} - \frac{\mathrm{h5}}{b}\cdot\mathrm{Mr} - \frac{\mathrm{ht}}{b}\cdot\mathrm{Mt}\right)\cdot\frac{\mathrm{Fx1}+\mathrm{Fx2}+\mathrm{Fxr}}{\mathrm{Mt}+\mathrm{Mr}} + \mu\cdot\left[g\cdot\frac{a}{b}\cdot\mathrm{Mt} + \frac{c}{b}\cdot\frac{g\cdot\mathrm{Mr}\cdot(d-f) + \mathrm{Fxr}\cdot\mathrm{h5}}{d} + \frac{\mathrm{h5}}{b}\cdot\mathrm{Fxr}\right]$$

$$Fx2m(Fx1,Fxr,\mu) := -1.\cdot\frac{\frac{\mu}{Mt+Mr}\cdot\frac{ht}{b}\cdot Mt\cdot Fx1+\frac{\mu}{b}\cdot ht\cdot\frac{Mt}{Mt+Mr}\cdot Fxr-1.\cdot\frac{\mu}{Mt+Mr}\cdot\frac{c}{b}\cdot\frac{Mr}{d}\cdot hr\cdot Fx1-1.\cdot\frac{\mu}{b\cdot d}\cdot c\cdot\frac{Mr}{Mt+Mr}\cdot Fxr\cdot hr+\frac{\mu}{Mt+Mr}\cdot\frac{c}{b}\cdot\frac{Mr}{d}\cdot h5\cdot Fx1+\frac{\mu}{b\cdot d}\cdot c\cdot\frac{Mr}{Mt+Mr}\cdot Fxr\cdot h5+\frac{\mu}{Mt+}}{1.+\frac{\mu}{b}\cdot ht\cdot\frac{Mt}{Mt+Mr}-1.\cdot\frac{\mu}{b\cdot d}\cdot c\cdot\frac{Mr}{Mt+Mr}\cdot hr+\frac{\mu}{b\cdot d}\cdot c\cdot\frac{Mr}{Mt+Mr}\cdot}$$

$$Fxr = \mu\cdot\frac{Mr\cdot 9.81\cdot f-Mr\cdot\frac{Fx1+Fx2+Fxr}{Mt+Mr}\cdot(hr-h5)-Fxr\cdot h5}{d}$$

$$Fxrm(Fx1,Fx2,\mu) := Mr\cdot\mu\cdot\frac{g\cdot f\cdot Mt+g\cdot f\cdot Mr-Fx1\cdot hr+Fx1\cdot h5-Fx2\cdot hr+Fx2\cdot h5}{d\cdot Mt+d\cdot Mr+\mu\cdot Mr\cdot hr+\mu\cdot h5\cdot Mt}$$

Representación de los planos de saturación del rozamiento:

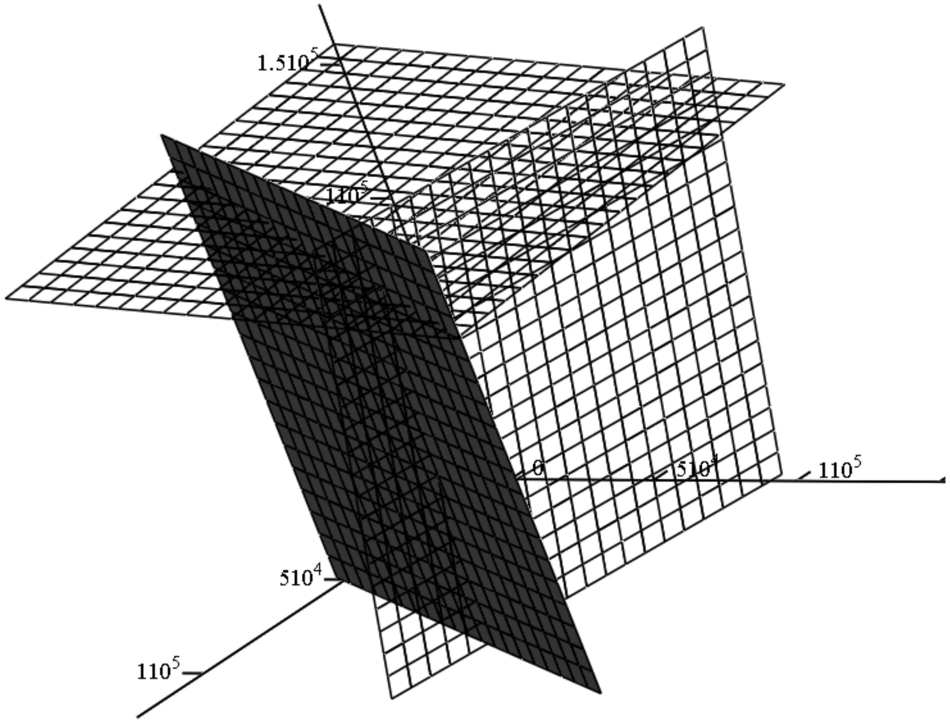
$\mu := 0.85$

$i := 0..20$ $\qquad$ $j := 0..20$

$W1max := 3\cdot W1s$ $\qquad$ $W2max := 1.3\cdot W2s$ $\qquad$ $Wrmax := 0.85\cdot Wrs$

$$\begin{pmatrix}XF1_{i,j}\\ YF1_{i,j}\\ ZF1_{i,j}\end{pmatrix} := \begin{pmatrix}Fx1m\left(\mu\cdot W2max\cdot\frac{i}{20},\mu\cdot Wrmax\cdot\frac{j}{20},\mu\right)\\ \mu\cdot W2max\cdot\frac{i}{20}\\ \mu\cdot Wrmax\cdot\frac{j}{20}\end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix}XF2_{i,j}\\ YF2_{i,j}\\ ZF2_{i,j}\end{pmatrix} := \begin{pmatrix}\mu\cdot W1max\cdot\frac{i}{20}\\ Fx2m\left(\mu\cdot W1max\cdot\frac{i}{20},\mu\cdot Wrmax\cdot\frac{j}{20},\mu\right)\\ \mu\cdot Wrmax\cdot\frac{j}{20}\end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} XFr_{i,j} \\ YFr_{i,j} \\ ZFr_{i,j} \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} \mu \cdot W1max \cdot \frac{i}{20} \\ \mu \cdot W2max \cdot \frac{j}{20} \\ Fxrm\left(\mu \cdot W1max \cdot \frac{i}{20}, \mu \cdot W2max \cdot \frac{j}{20}, \mu\right) \end{pmatrix}$$



(XF1, YF1, ZF1), (XF2, YF2, ZF2), (XFr, YFr, ZFr)

Para representar con más precisión los planos de saturación del rozamiento en los tres grupos de ejes vamos a determinar las rectas de intersección entre ellos, mediante dos puntos de las mismas.

Un punto en todos los casos es la intersección entre los tres planos que corresponde al punto de máxima deceleración. En este caso:

$$Ac = \mu \cdot g$$

$$Fx1 = \mu \cdot W1$$

$$W1 = \frac{b-a}{b} \cdot Mt \cdot 9.81 + \frac{ht}{b} \cdot Mt \cdot Ac + \frac{b-c}{b} \cdot W5 + \frac{h5}{b} \cdot Fx5$$

Carga en el segundo eje:

$$W2 = \frac{a}{b} \cdot Mt \cdot 9.81 - \frac{ht}{b} \cdot Mt \cdot Ac + \frac{c}{b} \cdot W5 - \frac{h5}{b} \cdot Fx5$$

Carga en el bogie del semirremolque:

$$Wr = \frac{Mr \cdot g \cdot f - Mr \cdot Ac \cdot (hr - h5) - Fxr \cdot h5}{d}$$

Teniendo en cuenta que: $Fxr = \mu \cdot Wr$ $\quad Ac = \mu \cdot g$

$$Wr = \frac{Mr \cdot g \cdot f - Mr \cdot \mu \cdot g \cdot (hr - h5) - \mu \cdot Wr \cdot h5}{d}$$

$$Wr = Mr \cdot g \cdot \frac{f - \mu \cdot hr + \mu \cdot h5}{d + \mu \cdot h5} \qquad Fxr(\mu) := \mu \cdot Mr \cdot g \cdot \frac{f - \mu \cdot hr + \mu \cdot h5}{d + \mu \cdot h5}$$

Esfuerzo de freno transmitido a través de la 5ª rueda:

$$Fx5 = Mr \cdot \mu \cdot g - \mu \cdot Mr \cdot g \cdot \frac{f - \mu \cdot hr + \mu \cdot h5}{d + \mu \cdot h5} = \mu \cdot g \cdot Mr \cdot \left(1 - \frac{f - \mu \cdot hr + \mu \cdot h5}{d + \mu \cdot h5}\right) = \mu \cdot g \cdot Mr \cdot \left(\frac{d - f + \mu \cdot hr}{d + \mu \cdot h5}\right)$$

Carga en la 5ª rueda:
Del equilibrio de cargas verticales en el remolque:

$$W5 = \frac{Mr \cdot g \cdot (d - f) + Mr \cdot \mu \cdot g \cdot (hr - h5) + Fxr \cdot h5}{d}$$

Sustituyendo el valor de Fxr:

$$W5 = \frac{Mr \cdot g \cdot (d - f) + Mr \cdot \mu \cdot g \cdot (hr - h5) + \mu \cdot Mr \cdot g \cdot \frac{f - \mu \cdot hr + \mu \cdot h5}{d + \mu \cdot h5} \cdot h5}{d}$$

$$Fx1 = \mu \cdot W1 = \mu \cdot \frac{(b - a) \cdot Mt \cdot g + ht \cdot Mt \cdot \mu \cdot g + (b - c) \cdot W5 + h5 \cdot Fx5}{b}$$

$$Fx1 = \mu \cdot \frac{(b - a) \cdot Mt \cdot g + ht \cdot Mt \cdot \mu \cdot g + (b - c) \cdot \frac{Mr \cdot g \cdot (d - f) + Mr \cdot \mu \cdot g \cdot (hr - h5) + \mu \cdot Mr \cdot g \cdot \frac{f - \mu \cdot hr + \mu \cdot h5}{d + \mu \cdot h5} \cdot h5}{d} + h5 \cdot \left[\mu \cdot g \cdot Mr \cdot \left(\frac{d - f + \mu \cdot hr}{d + \mu \cdot h5}\right)\right]}{b}$$

Simplificando y agrupando términos:

$$Fx1(\mu) := \left[\mu \cdot Mr \cdot g \cdot \frac{h5 \cdot \mu^2 \cdot hr + (b - c) \cdot (d - f) + b \cdot \mu \cdot hr - c \cdot \mu \cdot hr + h5 \cdot \mu \cdot (d - f)}{(d + \mu \cdot h5) \cdot b} + \mu \cdot Mt \cdot g \cdot \frac{ht \cdot \mu^2 \cdot h5 - a \cdot d + ht \cdot \mu \cdot d - a \cdot \mu \cdot h5 + b \cdot d + b \cdot \mu \cdot h5}{(d + \mu \cdot h5) \cdot b}\right]$$

Repitiendo el proceso para Fx2:

$$Fx2 = \mu \cdot \left(\frac{a}{b} \cdot Mt \cdot g - \frac{ht}{b} \cdot Mt \cdot Ac + \frac{c}{b} \cdot W5 - \frac{h5}{b} \cdot Fx5\right)$$

$$Fx2 = \mu \cdot \left[\frac{a}{b} \cdot Mt \cdot g - \frac{ht}{b} \cdot Mt \cdot \mu \cdot g + \frac{c}{b} \cdot \frac{Mr \cdot g \cdot (d - f) + Mr \cdot \mu \cdot g \cdot (hr - h5) + \mu \cdot Mr \cdot g \cdot \frac{f - \mu \cdot hr + \mu \cdot h5}{d + \mu \cdot h5} \cdot h5}{d} - \frac{h5}{b} \cdot \left[\mu \cdot g \cdot Mr \cdot \left(\frac{d - f + \mu \cdot hr}{d + \mu \cdot h5}\right)\right]\right]$$

$$Fx2(\mu) := \mu\cdot Mt\cdot g\cdot\left(\frac{a}{b} - \mu\cdot\frac{ht}{b}\right) + \mu\cdot Mr\cdot g\cdot\left[\frac{c}{b}\cdot\frac{(d-f) + \mu\cdot(hr - h5) + \mu\cdot\frac{f - \mu\cdot hr + \mu\cdot h5}{d + \mu\cdot h5}\cdot h5}{d} - \mu\cdot\frac{h5}{b}\cdot\left(\frac{d - f + \mu\cdot hr}{d + \mu\cdot h5}\right)\right]$$

Para: $\mu = 0.85$

$Fx1(\mu) = 1.025\times 10^{5}$ $\quad Fx2(\mu) = 1.115\times 10^{5}$ $\quad Fxr(\mu) = 1.405\times 10^{5}$

Punto O: punto óptimo $\quad Fx1O(\mu) := Fx1(\mu)$ $\quad Fx2O(\mu) := Fx2(\mu)$ $\quad FxrO(\mu) := Fxr(\mu)$

Punto A: Intersección del plano de saturación Fr con el eje Fxr (Fx1=0, Fx2=0):

$Fxrm(0,0,\mu) = 1.603\times 10^{5}$

$Fx1A := 0$ $\quad Fx2A := 0$ $\quad FxrA(\mu) := Fxrm(0,0,\mu)$

Punto B: Intersección del plano Fx2=0 con la arista definida por los planos Fx1m, Fxrm:

$Fx1B := 0$ $\quad FxrB := 0$

Given

$Fx1m(0, FxrB, \mu) - Fx1B = 0$

$Fxrm(Fx1B, 0, \mu) - FxrB = 0$

$FxB(\mu) := \mathrm{Find}(Fx1B, FxrB)$

$Fx1B(\mu) := FxB(\mu)_0$ $\quad FxrB(\mu) := FxB(\mu)_1$ $\quad Fx1B(\mu) = 5.841\times 10^{4}$ $\quad FxrB(\mu) = 1.549\times 10^{5}$ $\quad Fx2B := 0$

Punto C: Intersección del plano Fx1=0 con la arista definida por los planos Fx2m, Fxrm:

$Fx2C := 0$ $\quad FxrC := 0$

Given

$Fx2m(0, FxrC, \mu) - Fx2C = 0$

$\mathrm{Fxrm}(0,\mathrm{Fx2C},\mu) - \mathrm{FxrC} = 0$

$\mathrm{FxC}(\mu) := \mathrm{Find}(\mathrm{Fx2C},\mathrm{FxrC})$

$\mathrm{Fx2C}(\mu) := \mathrm{FxC}(\mu)_0$ $\mathrm{FxrC}(\mu) := \mathrm{FxC}(\mu)_1$ $\mathrm{Fx1C} := 0$ $\mathrm{Fx2C}(\mu) = 1.279 \times 10^5$ $\mathrm{FxrC}(\mu) = 1.485 \times 10^5$

Punto D: Intersección del plano de saturación Fx1m con el eje Fx1 (Fx2=0, Fxr=0):

$\mathrm{Fx1m}(0,0,\mu) = 5.591 \times 10^4$

$\mathrm{Fx1D}(\mu) := \mathrm{Fx1m}(0,0,\mu)$ $\mathrm{Fx2D} := 0$ $\mathrm{FxrD} := 0$

Punto E: Intersección del plano Fxr=0 con la arista definida por los planos Fx1m, Fx2m:

$\mathrm{Fx1E} := 0$ $\mathrm{Fx2E} := 0$

Given

$\mathrm{Fx1m}(\mathrm{Fx2E},0,\mu) - \mathrm{Fx1E} = 0$

$\mathrm{Fx2m}(\mathrm{Fx1E},0,\mu) - \mathrm{Fx2E} = 0$

$\mathrm{FxE}(\mu) := \mathrm{Find}(\mathrm{Fx1E},\mathrm{Fx2E})$

$\mathrm{Fx1E}(\mu) := \mathrm{FxE}(\mu)_0$ $\mathrm{Fx2E}(\mu) := \mathrm{FxE}(\mu)_1$ $\mathrm{FxrE} := 0$ $\mathrm{Fx1E}(\mu) = 9.051 \times 10^4$ $\mathrm{Fx2E}(\mu) = 8.704 \times 10^4$

Punto F: Intersección del plano de saturación Fx2m con el eje Fx2 (Fx1=0, Fxr=0):

$\mathrm{Fx2m}(0,0,\mu) = 1.002 \times 10^5$

$\mathrm{Fx1F} := 0$ $\mathrm{Fx2F}(\mu) := \mathrm{Fx2m}(0,0,\mu)$ $\mathrm{FxrF} := 0$

$$Vx1a(\mu) := \begin{pmatrix} Fx1A \\ Fx1B(\mu) \\ Fx1O(\mu) \\ Fx1C \\ Fx1A \end{pmatrix} \quad Vx2a(\mu) := \begin{pmatrix} Fx2A \\ Fx2B \\ Fx2O(\mu) \\ Fx2C(\mu) \\ Fx2A \end{pmatrix} \quad Vxra(\mu) := \begin{pmatrix} FxrA(\mu) \\ FxrB(\mu) \\ FxrO(\mu) \\ FxrC(\mu) \\ FxrA(\mu) \end{pmatrix} \quad Vx1b(\mu) := \begin{pmatrix} Fx1B(\mu) \\ Fx1D(\mu) \\ Fx1E(\mu) \\ Fx1O(\mu) \end{pmatrix} \quad Vx2b(\mu) := \begin{pmatrix} Fx2B \\ Fx2D \\ Fx2E(\mu) \\ Fx2O(\mu) \end{pmatrix} \quad Vxrb(\mu) := \begin{pmatrix} FxrB(\mu) \\ FxrD \\ FxrE \\ FxrO(\mu) \end{pmatrix}$$

$$Vx1c(\mu) := \begin{pmatrix} Fx1E(\mu) \\ Fx1F \\ Fx1C \end{pmatrix} \quad Vx2c(\mu) := \begin{pmatrix} Fx2E(\mu) \\ Fx2F(\mu) \\ Fx2C(\mu) \end{pmatrix} \quad Vxrc(\mu) := \begin{pmatrix} FxrE \\ FxrF \\ FxrC(\mu) \end{pmatrix}$$

$$Vx1(\mu) := stack(Vx1a(\mu), stack(Vx1b(\mu), Vx1c(\mu))) \quad Vx2(\mu) := stack(Vx2a(\mu), stack(Vx2b(\mu), Vx2c(\mu)))$$

$$Vxr(\mu) := stack(Vxra(\mu), stack(Vxrb(\mu), Vxrc(\mu)))$$

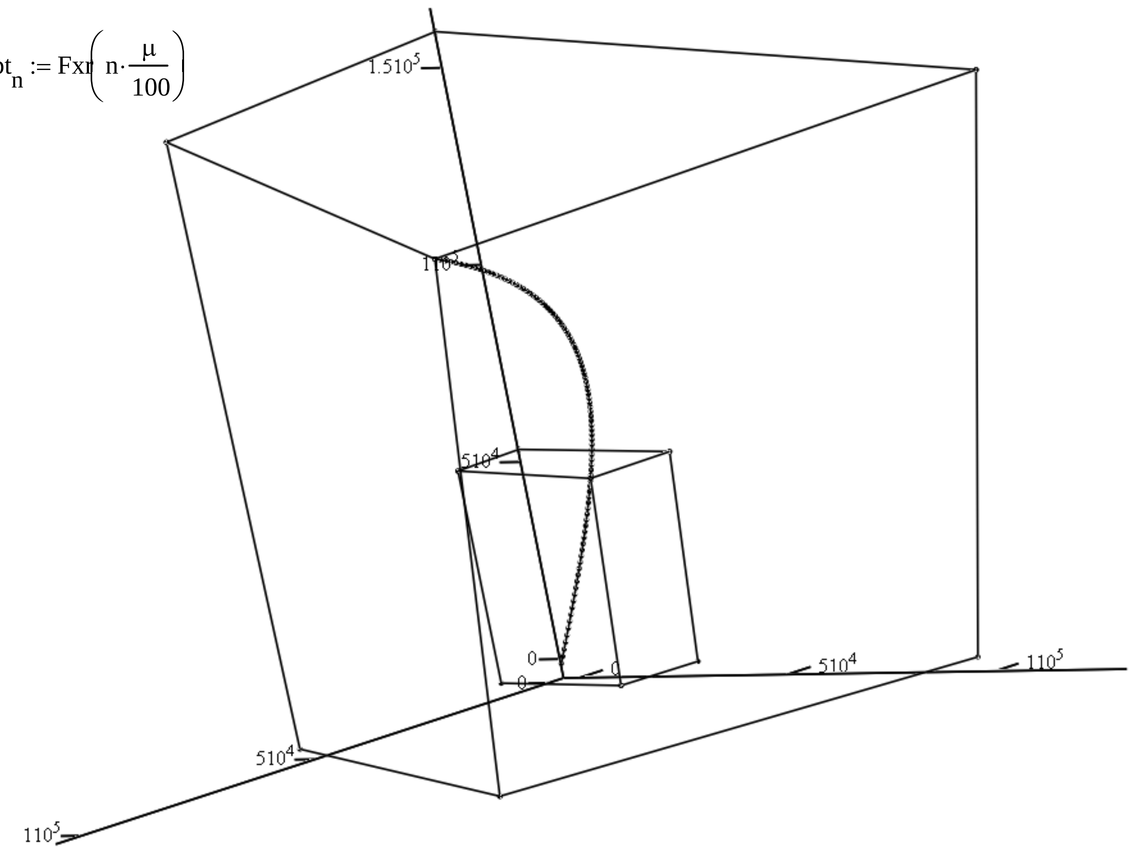
$n := 0 .. 100$ $\qquad$ $\mu h := 0.25$ $\qquad$ $\mu s := 0.85$

$$Fx1\_opt_n := Fx1\left(n \cdot \frac{\mu}{100}\right) \qquad Fx2\_opt_n := Fx2\left(n \cdot \frac{\mu}{100}\right) \qquad Fxr\_opt_n := Fxr\left(n \cdot \frac{\mu}{100}\right)$$

$$Fx1\_opt_n := Fx1\left(n\cdot\frac{\mu}{100}\right)$$

$$Fx2\_opt_n := Fx2\left(n\cdot\frac{\mu}{100}\right)$$

$$Fxr\_opt_n := Fxr\left(n\cdot\frac{\mu}{100}\right)$$



$(Vx1a(\mu h), Vx2a(\mu h), Vxra(\mu h)), (Vx1b(\mu h), Vx2b(\mu h), Vxrb(\mu h)), (Vx1c(\mu h), Vx2c(\mu h), Vxrc(\mu h)), (Fx1\_opt, Fx2\_opt, Fxr\_opt), (Vx1a(\mu s), Vx2a(\mu s), Vxra(\mu s)), (Vx1b(\mu s), Vx2b$

$$\frac{5\cdot d - c\cdot Mr\cdot Fxr\cdot hr - Fxr\cdot h5\cdot d\cdot Mt + c\cdot Mr\cdot Fx2\cdot h5 + Mr\cdot Fx2\cdot hr\cdot b + ht\cdot Mt\cdot Fxr\cdot d + ht\cdot Mt\cdot Fx2\cdot d + 2\cdot Mr\cdot g\cdot b\cdot d\cdot Mt - Mr\cdot g\cdot f\cdot b\cdot Mt - c\cdot Mr\cdot g\cdot d\cdot Mt + c\cdot Mr\cdot g\cdot f\cdot Mt - Mt\cdot g\cdot a\cdot d\cdot Mr}{Mt - b\cdot d\cdot Mr - \mu\cdot Mr\cdot h5\cdot b + \mu\cdot Mr\cdot hr\cdot b + \mu\cdot Mr\cdot h5\cdot d}$$

$$\frac{\frac{\cdots}{\cdots\,Mr}\cdot\frac{h5}{b}\cdot Mr\cdot Fx1+\frac{\mu}{b}\cdot\frac{Mr}{Mt+Mr}\cdot Fxr\cdot h5-1.\cdot\frac{\mu}{b}\cdot Mt\cdot g\cdot a-1.\cdot\frac{\mu}{b}\cdot c\cdot Mr\cdot g+\frac{\mu}{b\cdot d}\cdot c\cdot Mr\cdot g\cdot f-1.\cdot\frac{\mu}{b\cdot d}\cdot c\cdot Fxr\cdot h5-1.\cdot\frac{\mu}{b}\cdot Fxr\cdot h5}{h5+\frac{\mu}{b}\cdot\frac{Mr}{Mt+Mr}\cdot h5}$$

$(\mu s), Vxrb(\mu s)), (Vx1c(\mu s), Vx2c(\mu s), Vxrc(\mu s))$