



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**TRABAJO DE UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR, PREVIO A LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**TEMA: “SIMULACIÓN DE LA DEFLEXIÓN DEL RODILLO EMPLEADO
EN EL DINAMÓMETRO DE CHASIS MEDIANTE EL USO DE
PROGRAMAS DE DISEÑO”**

**AUTOR: YÁNEZ MOLINA, ALEXANDER SEBASTIÁN
TUTOR: ING. BELTRÁN REYNA, ROBERTO FÉLIX**

LATACUNGA, MARZO 2022

E. S. P. E.



INGENIERIA AUTOMOTRIZ





CONTENIDO

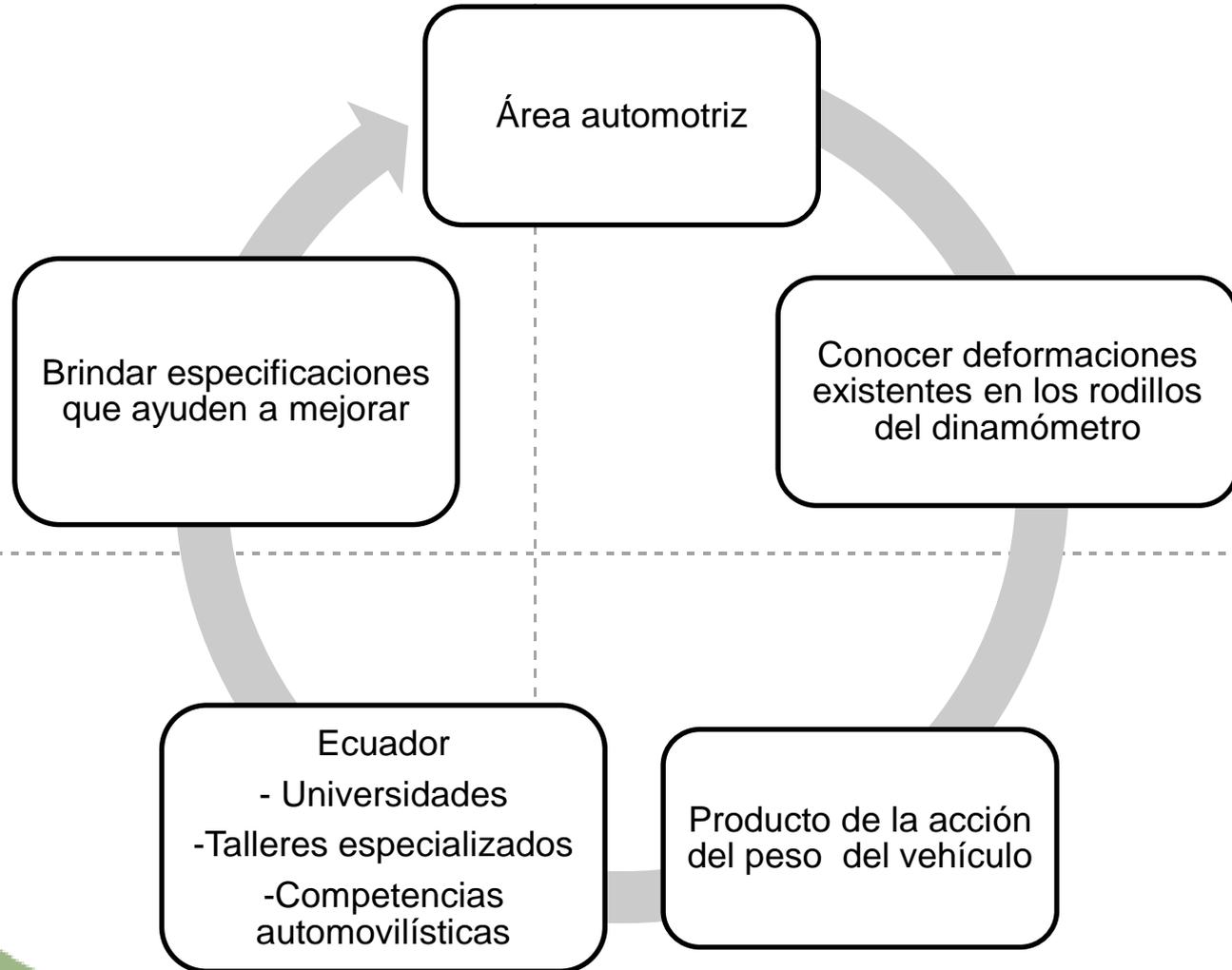
- 1 Introducción
- 2 Justificación
- 3 Objetivos
- 4 Metodología
- 5 Resultados
- 6 Conclusiones
- 7 Recomendaciones



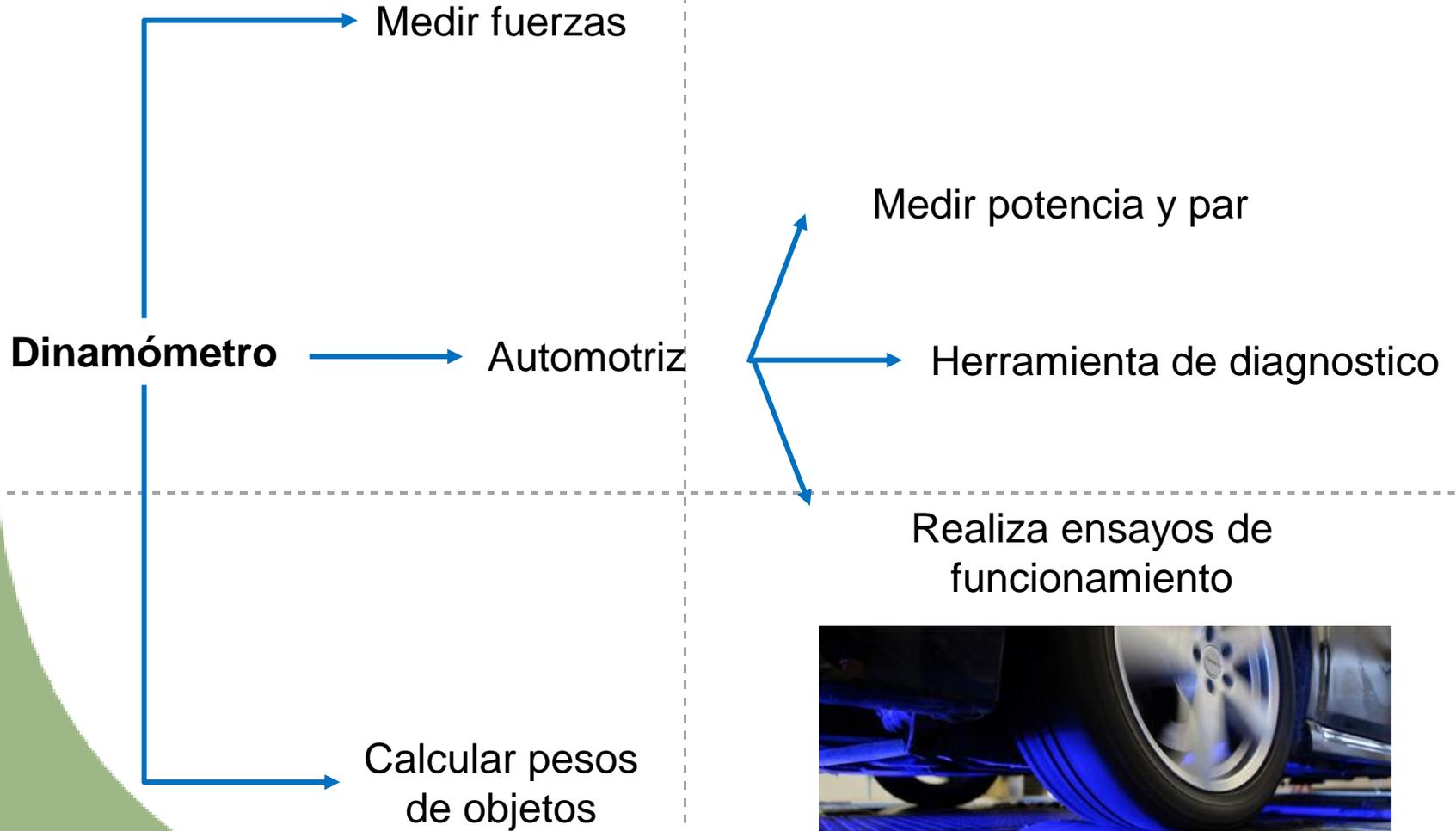
CONTENIDO

- 1 Introducción
- 2 Justificación
- 3 Objetivos
- 4 Metodología
- 5 Resultados
- 6 Conclusiones
- 7 Recomendaciones

INTRODUCCIÓN



INTRODUCCIÓN



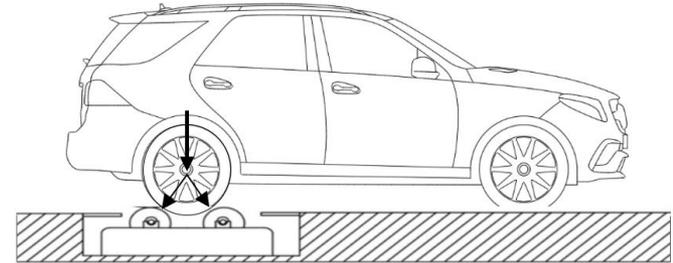
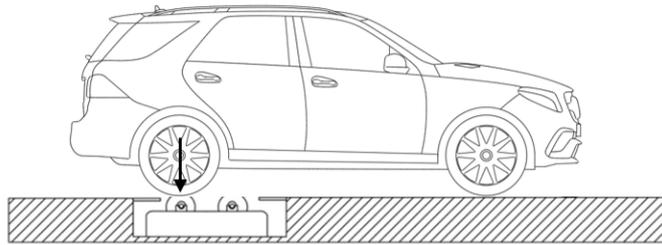


- 1 Introducción
- 2 Justificación
- 3 Objetivos
- 4 Metodología
- 5 Resultados
- 6 Conclusiones
- 7 Recomendaciones

La industria automotriz



- ✓ Evolución constante.
- ✓ Nuevas tecnologías.
- ✓ Normativas vigentes.



Análisis de rodillos



Permite conocer de forma concreta y técnica más sobre esta parte fundamental del dinamómetro.



- 1 Introducción
- 2 Justificación
- 3 **Objetivos**
- 4 Metodología
- 5 Resultados
- 6 Conclusiones
- 7 Recomendaciones



Objetivo General

- Simular la deflexión del rodillo mediante el uso de programas de diseño para estimar la deformación por el peso del vehículo..

Objetivos Específicos

- Emplear programas de diseño para obtener la deflexión y deformación de los rodillos.
- Obtener las deformaciones existentes en los rodillos producidas por el peso del vehículo.
- Analizar los resultados obtenidos del programa de diseño, bajo ciertos criterios de funcionamiento.
- Realizar planos que evidencien el diseño de los rodillos empleados en el dinamómetro de chasis.



CONTENIDO

- 1 Introducción
- 2 Justificación
- 3 Objetivos
- 4 Metodología
- 5 Resultados
- 6 Conclusiones
- 7 Recomendaciones



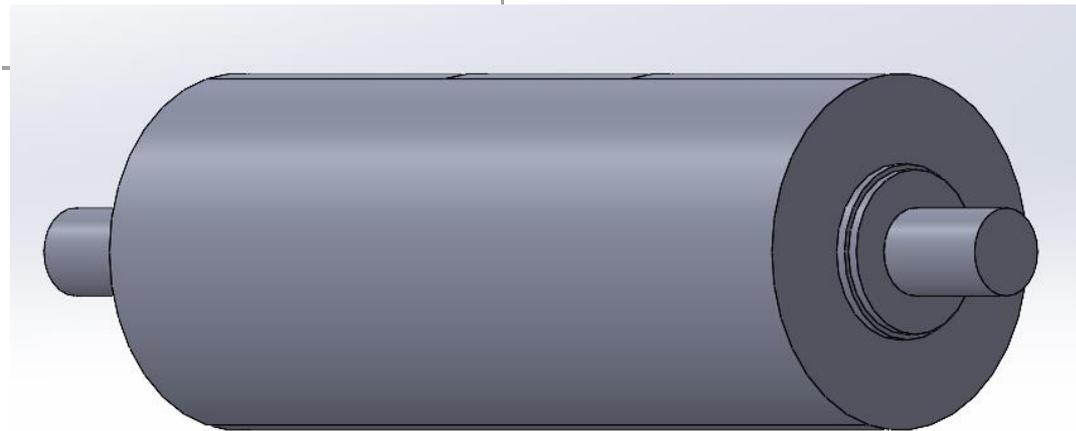
Parámetros de diseño

MATERIAL

Acero SAE – AISI 1010 HR

DISEÑO DE RODILLOS

Dos rodillos dobles



METODOLOGÍA

Relación de transmisión

GREAT WALL H3

Potencia nominal	90 kW	
Velocidad de rotación	5250 RPM	
Relación de velocidad de transmisión	Primera marcha	3.992
	Segunda marcha	2.150
	Tercera marcha	1.334
	Cuarta marcha	1.000
	Quinta marcha	0.857
	Marcha atrás	4.22
Relación de transmisión del conjunto del diferencial	4.22	

METODOLOGÍA

Relación de transmisión

Motor - Caja

$$R_c = \frac{n_{(motor)}}{n_{1(caja)}}$$

$$3.992 = \frac{n_{(motor)}}{n_{1(caja)}}$$

$$n_{1(caja)} = \frac{5250 \text{ RPM}}{3.992}$$

$$n_{1(caja)} = 1315.1303 \text{ RPM}$$

Caja – Diferencial

$$R_c = \frac{n_{(caja)}}{n_{1(diferencial)}}$$

$$4.22 = \frac{n_{(caja)}}{n_{1(diferencial)}}$$

$$n_{1(diferencial)} = \frac{1315.1303 \text{ RPM}}{4.22}$$

$$n_{1(diferencial)} = 311.642 \text{ RPM}$$

METODOLOGÍA

Relación de transmisión

Velocidad angular del neumático.

$$n_{1(\text{difetencial})} = n_{1(\text{neumaticos})}$$

$$W(n_{1(\text{neumaticos})}) = 311.642 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * \frac{2\pi(\text{rad})}{(\text{rev})} * \frac{(\text{min})}{60(\text{s})}$$

$$W(n_{1(\text{neumaticos})}) = 32.635 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Cálculos del neumático

Radio del aro

$$r_{\text{aro}} = \frac{D_{\text{aro}}}{2}$$

$$r_{\text{aro}} = \frac{17''}{2}$$

$$r_{\text{aro}} = 8.5'' = 215.9 \text{ mm}$$

Altura del neumático

$$h = \frac{65 * 235 \text{ (mm)}}{100}$$

$$h = 152.75 \text{ mm}$$

Radio total de la rueda

$$r_{\text{rueda}} = r_{\text{aro}} + h_{\text{altura perfil neumático}}$$

$$r_{\text{rueda}} = 215.9 \text{ mm} + 152.75 \text{ mm}$$

$$r_{\text{rueda}} = 368.65 \text{ mm}$$

METODOLOGÍA

Cálculo neumático – rodillo

Velocidad lineal en contacto entre neumático y el rodillo

$$V_{rueda} = W * r$$

$$V_{rueda} = 32.635 \frac{rad}{s} * 0.36865 (m)$$

$$V_{rueda} = 12.030 \frac{m}{s}$$

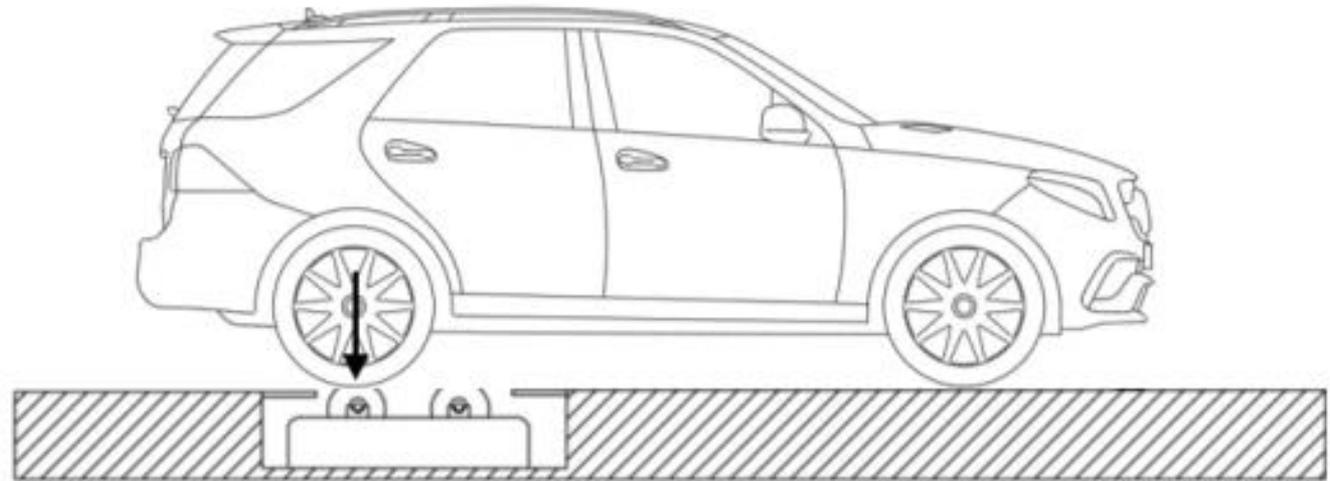
$$V_{rueda} = V_{rodillo}$$

$$V_{rodillo} = 12.030 \frac{m}{s}$$



Cálculos del rodillo

Primer escenario



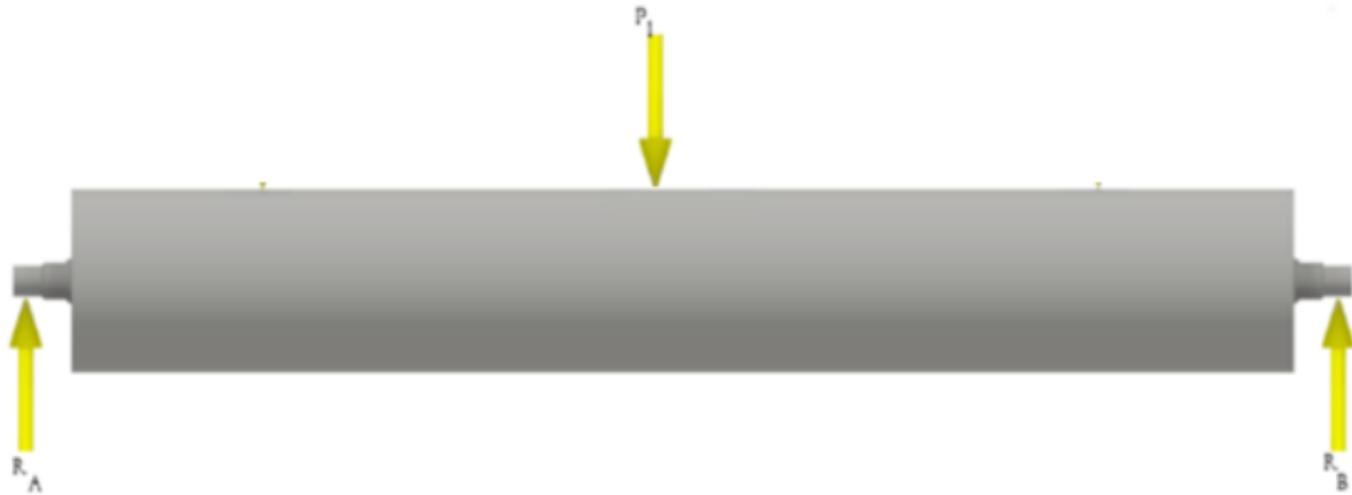
2195 kg,

1097.5 kg

$P1 = 10766.475 N$

Cálculos del rodillo

Reacciones en el rodillo





Cálculos del rodillo

Reacciones en el rodillo

$$F_y = R_A + R_B - P_1$$

$$R_A + R_B - P_1 = 0$$

$$R_A + R_B - 10766.475 \text{ N} = 0$$

$$R_A + R_B = 10766.475 \text{ N}$$

Por simetria $R_A = R_B \approx R$

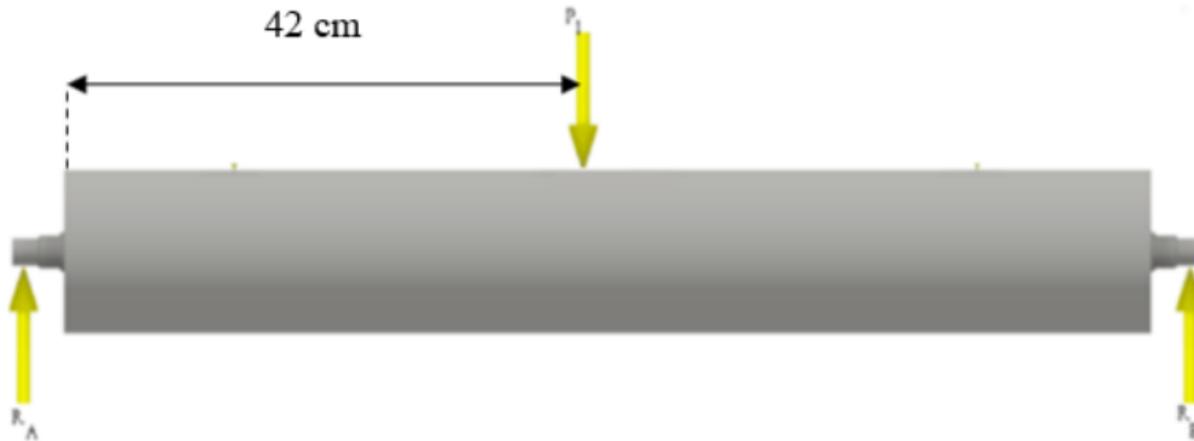
$$2R = 10766.475 \text{ N}$$

$$R = 5383.238 \text{ N}$$

METODOLOGÍA

Cálculos del rodillo

Momento flector



$$M = (P_1 * 0.465 \text{ m})$$

$$M = (10766.475 \text{ N} * 0.465 \text{ m})$$

$$M = 5006.411 \text{ Nm}$$



Cálculos del rodillo

Área de corte del eje

$$A_{corte} = \frac{F * n}{\tau_{corte}}$$

$$A_{corte} = \frac{10766.475 \text{ N} * 3}{180 \text{ MPa}}$$

$$A_{corte} = 1.79 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Diámetro por esfuerzo cortante

$$d = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 * 1.79 \times 10^{-4} \text{ m}^2}{\pi}}$$

$$d = 0.0151 \text{ m} = 15.1 \text{ mm}$$



METODOLOGÍA

Cálculos del rodillo

Cálculo del eje por esfuerzo a la fatiga

$$S_e = K_a * K_b * K_c * K_d * K_e * K_f * S'_e$$

$$d_{ef} = \left(\frac{32 * M * n}{\pi * S_e} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$S_e = 0.7 * 1 * 0.7527 * 1 * 1 * 1 * 160 \text{ MPa}$$

$$S_e = 84.302 \text{ MPa}$$

$$d_{ef} = \left(\frac{32 * 5006.411 \text{ Nm} * 3}{\pi * 84.302 \text{ MPa}} \right)^{\frac{1}{3}}$$

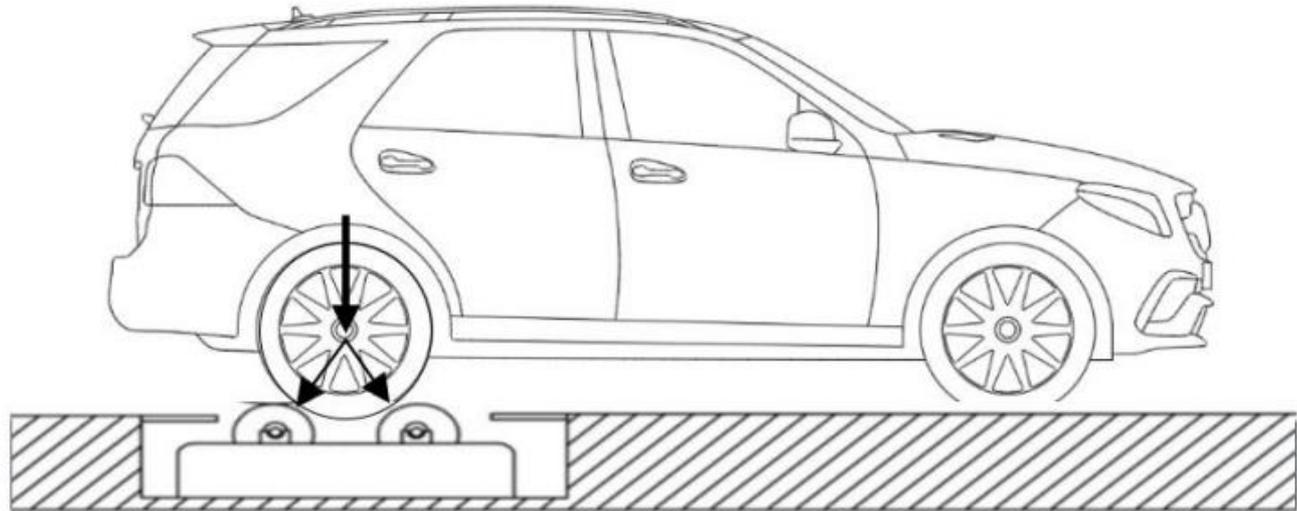
$$d_{ef} = 0.12197 \text{ m} = 121.97 \text{ mm}$$



METODOLOGÍA

Cálculos del rodillo

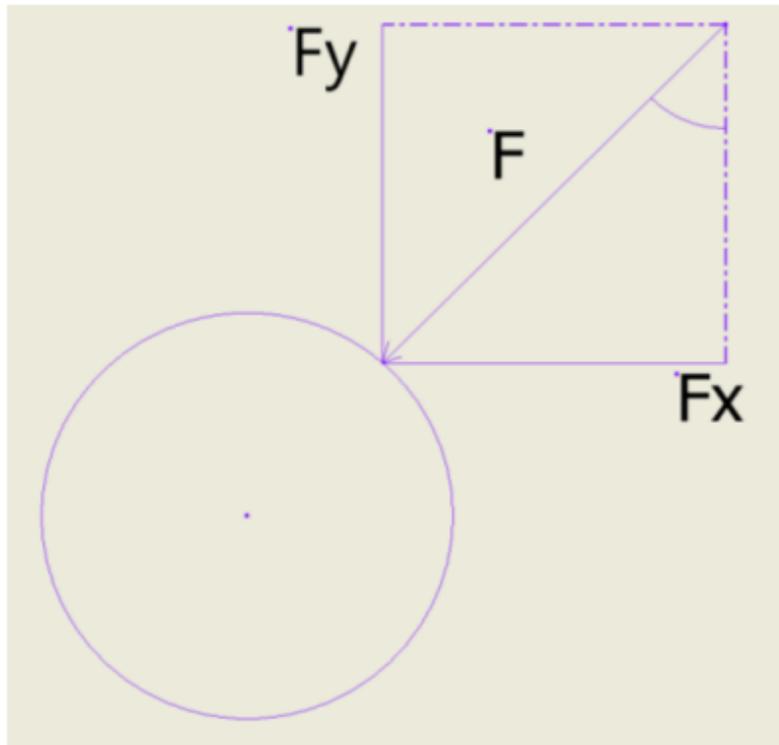
Segundo escenario



$$F_2 = \frac{10766.475}{2} = 5383.2375 \text{ N.}$$

METODOLOGÍA

Cálculos del rodillo Distribución de fuerzas



$$F_x = F_2 * \text{sen}(30^\circ)$$

$$F_x = 5383.2375 \text{ N} * \text{sen}(30^\circ)$$

$$F_x = 2691.619 \text{ N}$$

$$F_y = F_2 * \text{cos}(30^\circ)$$

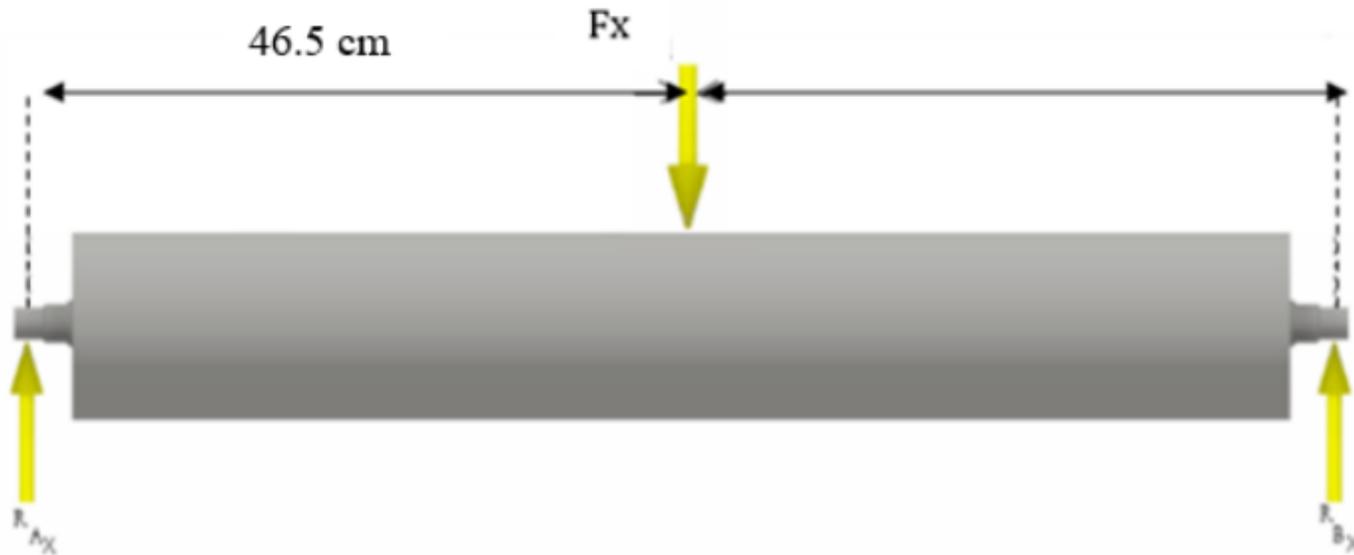
$$F_y = 5383.2375 \text{ N} * \text{cos}(30^\circ)$$

$$F_y = 4662.020 \text{ N}$$

METODOLOGÍA

Cálculos del rodillo

Reacciones en el rodillo eje X





Cálculos del rodillo

Rodillo eje X

$$\Sigma F_x = 0$$

$$R_{Ax} + R_{Bx} - F_x = 0$$

$$R_{Ax} + R_{Bx} = 2691.619 \text{ N}$$

$$\Sigma M_{Ax} = 0$$

$$(R_{Bx} * 0.93 \text{ m}) + (-F_x * 0.465 \text{ m}) = 0$$

$$R_{Bx} = \frac{2691.619 \text{ N} * 0.465 \text{ m}}{0.93 \text{ m}}$$

$$R_{Bx} = 1345.8095 \text{ N}$$



Cálculos del rodillo

Rodillo eje X

$$R_{Ax} + R_{Bx} = 2691.619 \text{ N}$$

$$M1 = (F_x * 0.465 \text{ m})$$

$$R_{Ax} + 1345.8095 \text{ N} = 2691.619 \text{ N}$$

$$M1 = (2691.619 \text{ N} * 0.465 \text{ m})$$

$$R_{Ax} = 1345.8095 \text{ N}$$

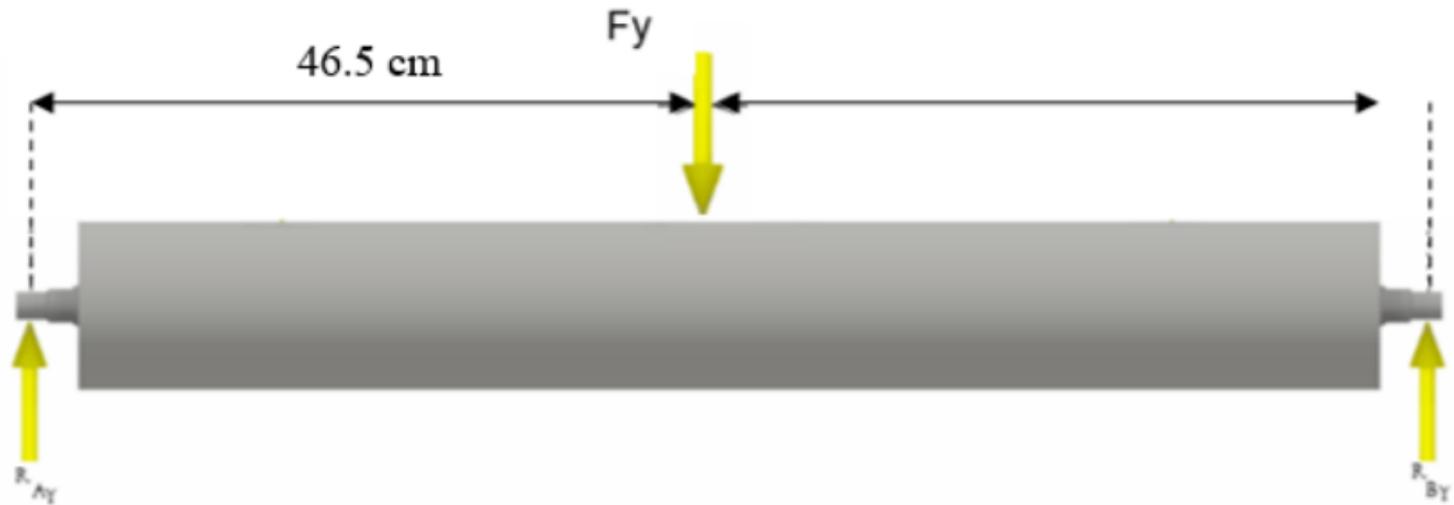
$$M1 = 1251.603 \text{ Nm}$$



METODOLOGÍA

Cálculos del rodillo

Reacciones en el rodillo eje Y





Cálculos del rodillo

Rodillo eje Y

$$\Sigma F_y = 0$$

$$R_{AY} + R_{BY} - F_Y = 0$$

$$R_{AY} + R_{BY} = 4662.020 \text{ N}$$

$$\Sigma M_{AY} = 0$$

$$(R_{BY} * 0.93 \text{ m}) + (-F_Y * 0.465 \text{ m}) = 0$$

$$R_{BY} = \frac{4662.020 \text{ N} * 0.465 \text{ m}}{0.96 \text{ m}}$$

$$R_{BY} = 2331.01 \text{ N}$$

METODOLOGÍA

Cálculos del rodillo

Rodillo eje Y

$$R_{AY} + R_{BY} = 4662.020 \text{ N}$$

$$M2 = (F_Y * 0.465 \text{ m})$$

$$R_{AY} + 2331.01 \text{ N} = 4662.020 \text{ N}$$

$$M2 = (4662.020 \text{ N} * 0.465 \text{ m})$$

$$R_{Ax} = 2331.01 \text{ N}$$

$$M2 = 2167.8393 \text{ Nm}$$

METODOLOGÍA

Cálculos del rodillo

Calculo del diámetro en el eje por análisis estático
Resistencia estática

$$\tau_{max} = 0.5 * S_Y$$

$$S_Y = \frac{\tau_{max}}{0.5}$$

$$S_Y = \frac{180}{0.5}$$

$$S_Y = \frac{360}{2}$$

$$S_Y = 180 \text{ MPa}$$



Cálculos del rodillo

Diámetro en el eje por análisis estático

$$d_{est} = \left\{ \frac{5.1}{T_p} [(C_m * M_{max})^2 + (C_t * T_{max})^2]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}}$$



METODOLOGÍA

Cálculos del rodillo

Diámetro en el eje por análisis estático

$$T_p = 0.30 * S_Y$$

$$F_t = 7481.297 \text{ N}$$

$$T_p = 0.30 * 180 \text{ MPa}$$

$$T_{max} = F_t * r_{est} = \frac{F_t * d_{est}}{2}$$

$$T_p = 54 \text{ MPa}$$



Cálculos del rodillo

Diámetro en el eje por análisis estático

$$d_{est} = \left\{ \frac{5.1}{T_p} [(C_m * M_{max})^2 + (C_t * T_{max})^2]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}}$$

$$d_{est}^6 - 2.808 \times 10^{-7} d_{est}^2 = 1.54 \times 10^{-7}$$

Con $d_{est} = 0.0733 \text{ mm}$

$$0.0733^6 - 2.808 \times 10^{-7} * 0.0733^2 = 1.54 \times 10^{-7}$$

METODOLOGÍA

Cálculos del rodillo

Diámetro en el eje por fatiga

$$d_{ef2} = \left(\frac{32 * M_{max} * n}{\pi * Se} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$T_{max} = F_t * r_{est}$$

$$M_{SE} = \sqrt{M_{max}^2 + T_{max}^2}$$

$$T_{max} = 7481.297 \text{ N} * 0.04 \text{ m}$$

$$M_{SE} = \sqrt{(2167.8393 \text{ Nm})^2 + (299.252 \text{ Nm})^2}$$

$$T_{max} = 299.252 \text{ Nm}$$

$$M_{SE} = 2188.396 \text{ Nm}$$



Cálculos del rodillo

Diámetro en el eje por fatiga

$$S_e = K_a * K_b * K_c * K_d * K_e * K_f * S'_e$$

$$S_e = 0.7 * 1 * 0.7527 * 1 * 1 * 1 * 160 \text{ MPa}$$

$$S_e = 84.302 \text{ MPa}$$

$$d_{ef2} = \left(\frac{32 * M_{max} * n}{\pi * S_e} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$d_{ef2} = \left(\frac{32 * 2167.8393 \text{ Nm} * 3}{\pi * 84.302 \text{ MPa}} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$d_{ef2} = 0.092279 \text{ m} = 92.279 \text{ mm}$$

METODOLOGÍA

Cálculos del rodillo

Cálculo del área de la sección maciza

$$A_{smz} = \frac{\pi * d_{ef}^2}{4}$$

$$A_{smz} = 7853.98 \text{ mm}^2$$

$$A_{smz} = 78.5398 \text{ cm}^2$$

$$A_{smz} = \frac{\pi * 100 \text{ mm}^2}{4}$$

A_{smz}

79,4 cm²

Diametro_{ext}

323,9 mm

METODOLOGÍA

Cálculos del rodillo

Cálculo del área de la sección hueca

$$A_{hueca} = \frac{\pi * (d_{ex}^2 - d_{in}^2)}{4}$$

$$A_{hueca} = \frac{\pi * (d_{ex}^2)}{4} - \frac{\pi * (d_{in}^2)}{4}$$

$$d_{in} = \sqrt{\frac{4}{\pi} (32.39 \text{ cm})^2 - 79.4 \text{ cm}^2}$$

$$d_{in} = 30.79 \text{ cm} = 307.9 \text{ mm}$$



Medidas del rodillo

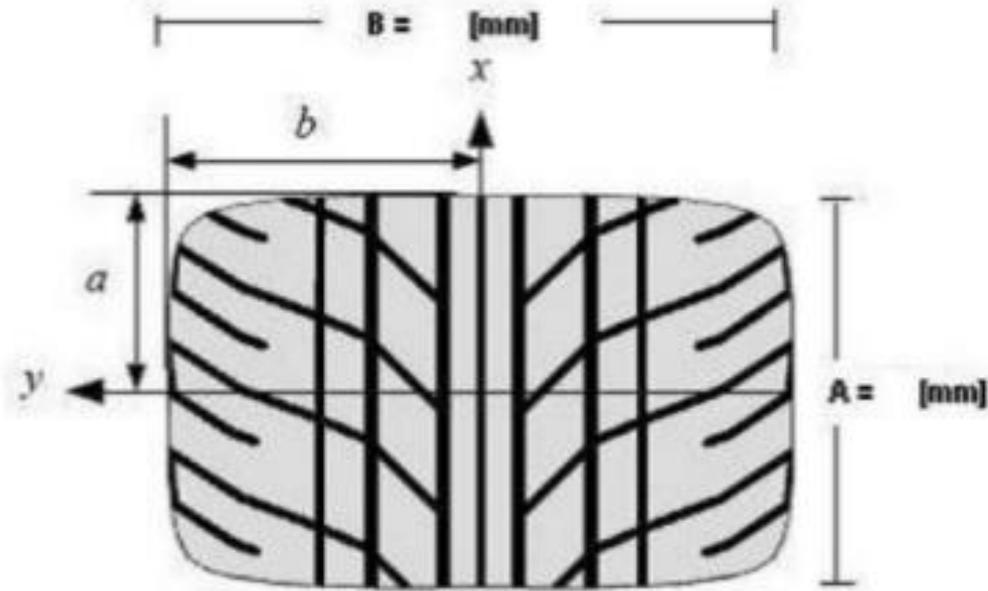
Parámetros de diseño del rodillo

<i>Diametro_{int}</i>	<i>307,9 mm</i>
<i>Diametro_{ext}</i>	<i>323,9 mm</i>
<i>Espesor</i>	<i>8 mm</i>
<i>Longitud del rodillo</i>	<i>840 mm</i>



METODOLOGÍA

Área de contacto neumático – rodillo



METODOLOGÍA

Área de contacto neumático – rodillo

$$P = \frac{F}{A_n}$$

$$A_{n2} = \frac{F}{2 * P}$$

$$A_{n2} = \frac{1720.1625 \text{ kg} * 9.81 \text{ (N)}}{2 * 230000 \text{ Pa}}$$

$$A_{n2} = 0.0367 \text{ m}^2$$



METODOLOGÍA

Área de contacto neumático – rodillo

$$\frac{A_{n2}}{2} = A * B$$

$$A = \frac{A_{n2}}{2 * B}$$

$$A = \frac{36700 \text{ mm}^2}{2 * 235 \text{ mm}}$$

$$A = 78.085 \text{ mm}$$

$$A_n = B * A$$

$$A_n = 235 \text{ mm} * 78.085 \text{ mm}$$

$$A_n = 18349.975 \text{ mm}^2 = 0.01835 \text{ m}^2$$



CONTENIDO

- 1 Introducción
- 2 Justificación
- 3 Objetivos
- 4 Metodología
- 5 Resultados
- 6 Conclusiones
- 7 Recomendaciones

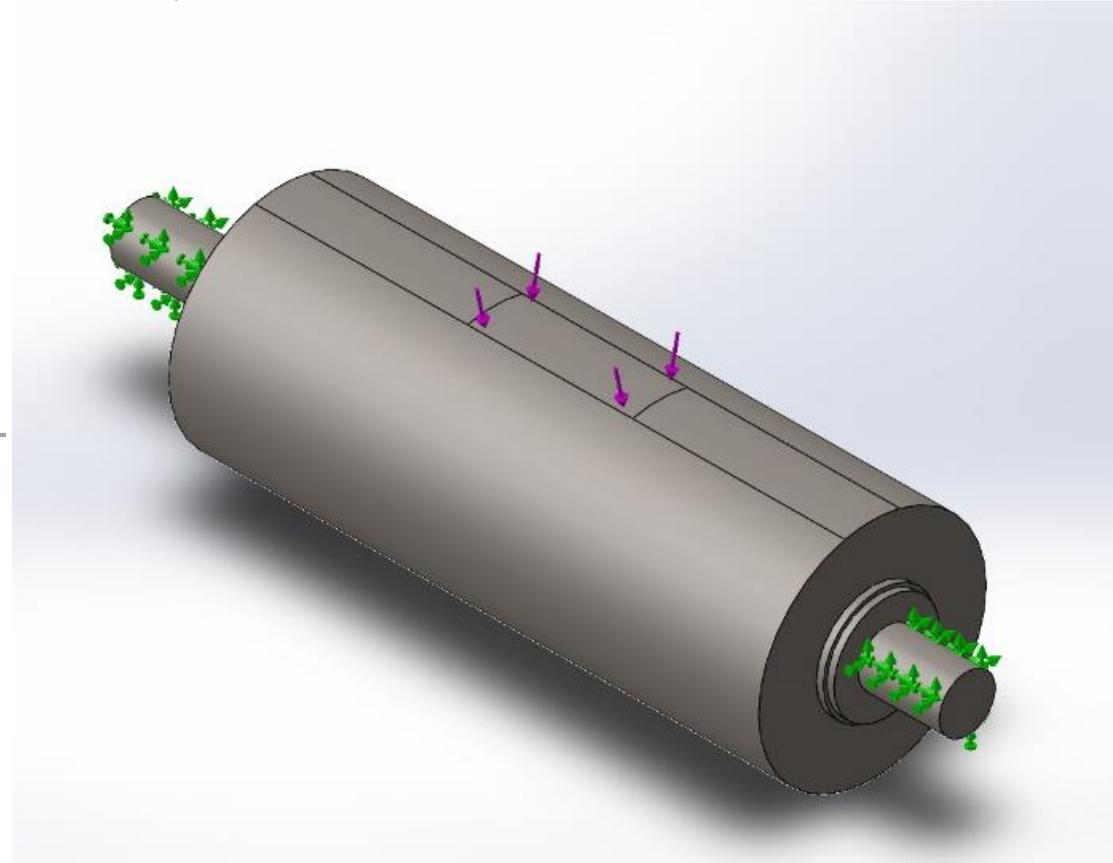


RESULTADOS

Fuerzas ejercidas en el rodillo

Primer escenario

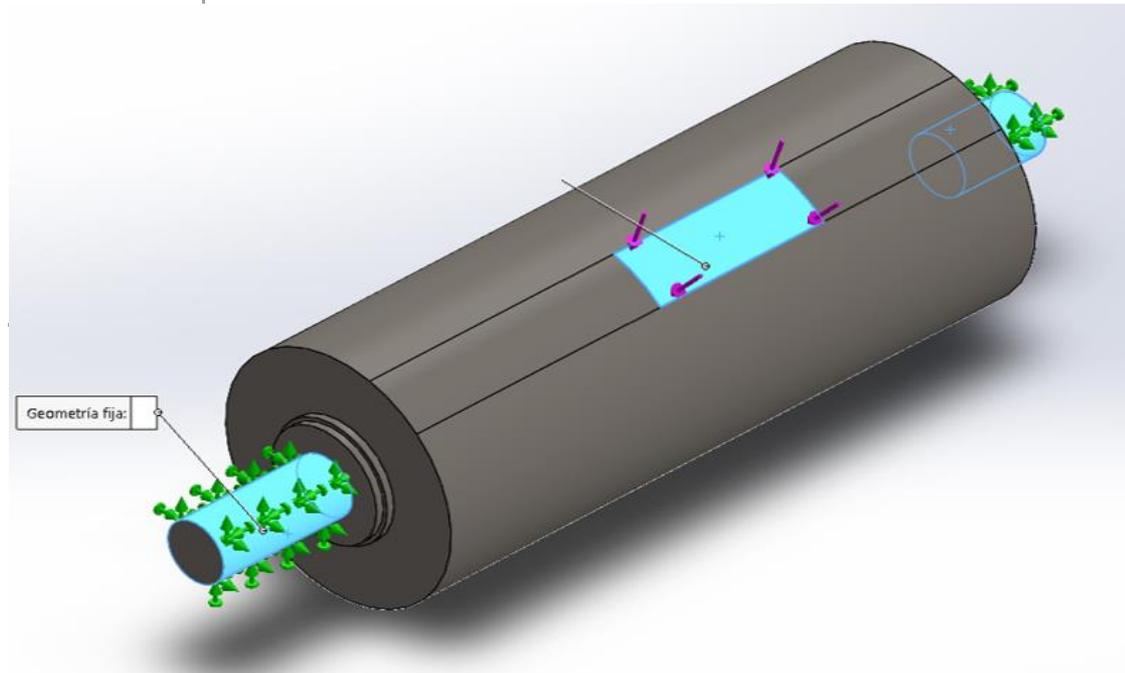
Carga de peso: 10766.475 N



RESULTADOS

Segundo escenario

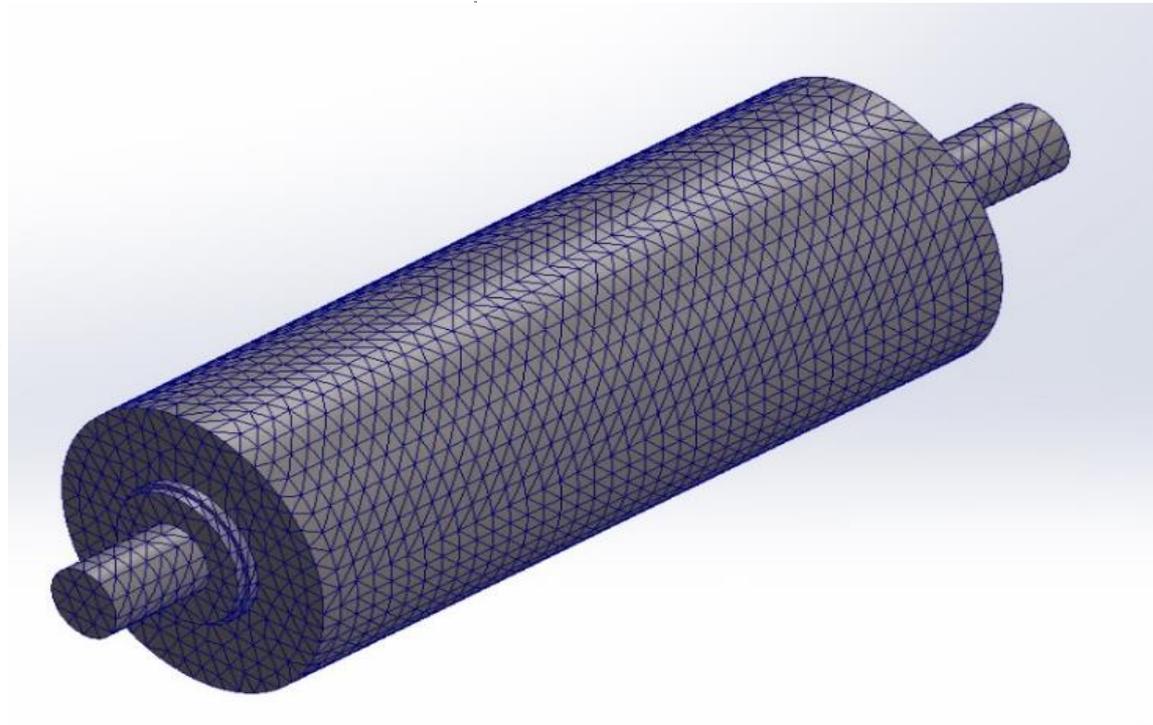
Carga de peso: 5383.2375 N





Mallado de los rodillos

Primer escenario



RESULTADOS

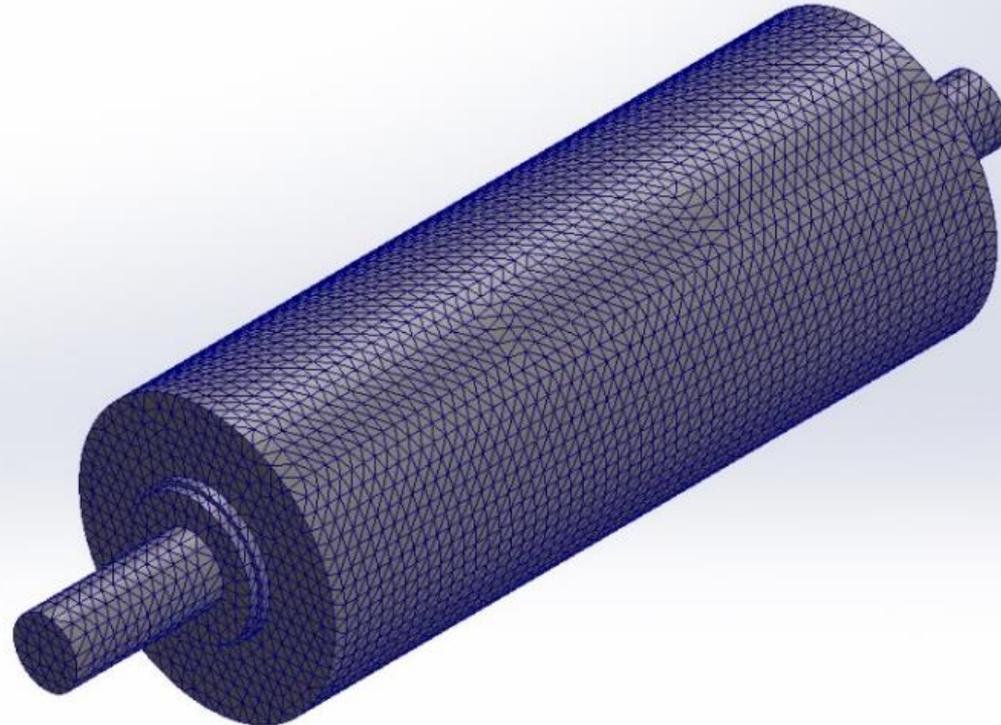
Mallado de los rodillos

PRIMER RODILLO			5%	10%
31	44,03	Mpa	0,66	
29	43,24	Mpa	1,45	
27	40,87	Mpa	3,82	
25	41,85	Mpa	2,84	
23	44,24	Mpa	0,45	
21	44,69	Mpa	2,2345	4,469
19	45,17	Mpa	0,48	
17	44,96	Mpa	0,27	
15	44,98	Mpa	0,29	
13	45,68	Mpa	0,99	
11	45,37	Mpa	0,68	



Mallado de los rodillos

Segundo escenario



RESULTADOS

Mallado de los rodillos

	SEGUNDO RODILLO		5%	10%
25	21,67	Mpa	0,77	
23	21,11	Mpa	1,33	
21	22,83	Mpa	0,39	
19	22,62	Mpa	0,18	
17	22,47	Mpa	0,03	
15	22,44	Mpa	1,12	2,244
13	22,85	Mpa	0,41	
11	22,61	Mpa	0,17	
9	22,75	Mpa	0,31	
7	22,74	Mpa	0,3	
5	22,58	Mpa	0,14	

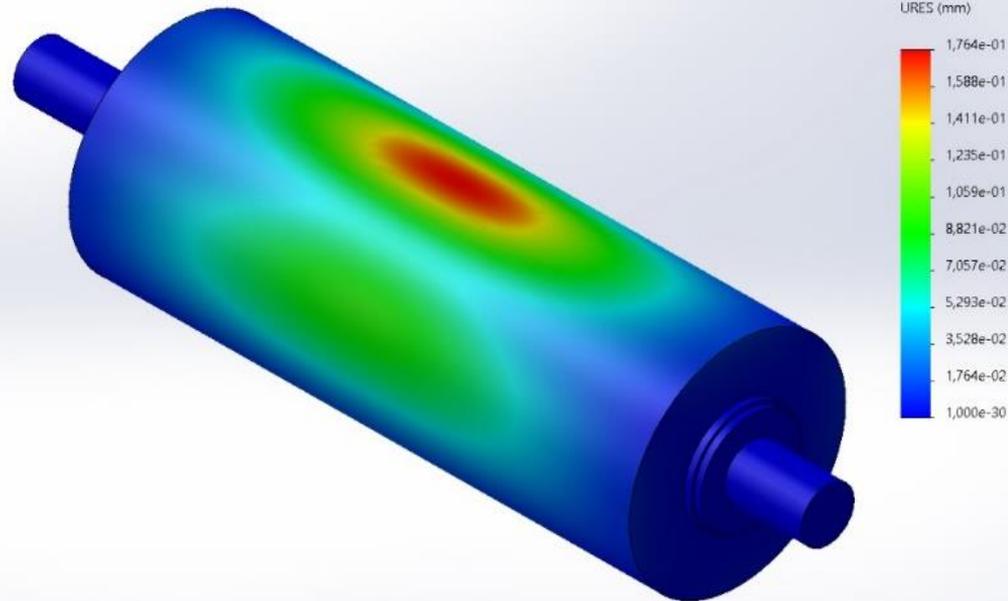


RESULTADOS

Simulación primer escenario

Deflexiones producidas

Nombre del modelo: RODILLO 1
Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1



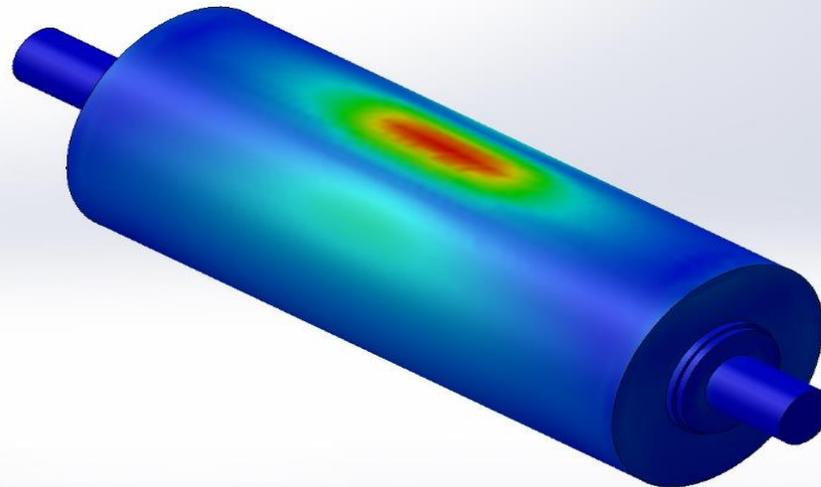


RESULTADOS

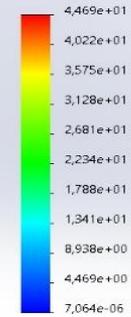
Simulación primer escenario

Tensiones producidas

Nombre del modelo: RODILLO 1
Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 1



von Mises (N/mm² (MPa))



→ Limite elástico: 1,800e+02

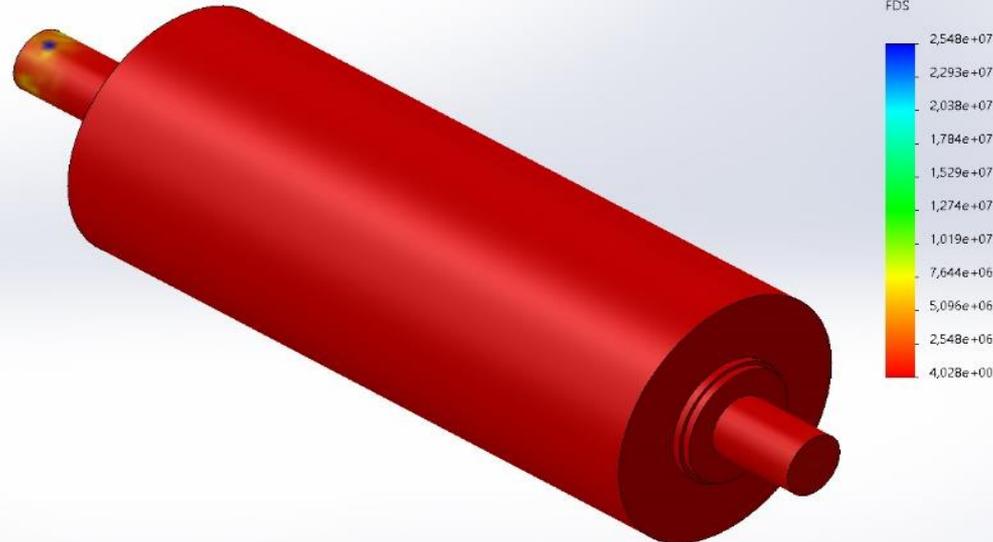


RESULTADOS

Simulación primer escenario

Factor de seguridad

Nombre del modelo: RODILLO 1
Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Tensiones von Mises máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 4





RESULTADOS

Simulación primer escenario

Comparación

Primer rodillo	
Tensión máxima de Von Mises	44.69 Mpa
Limite elástico	180 Mpa

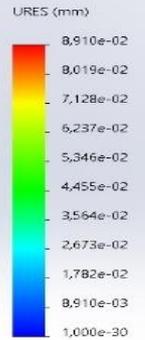
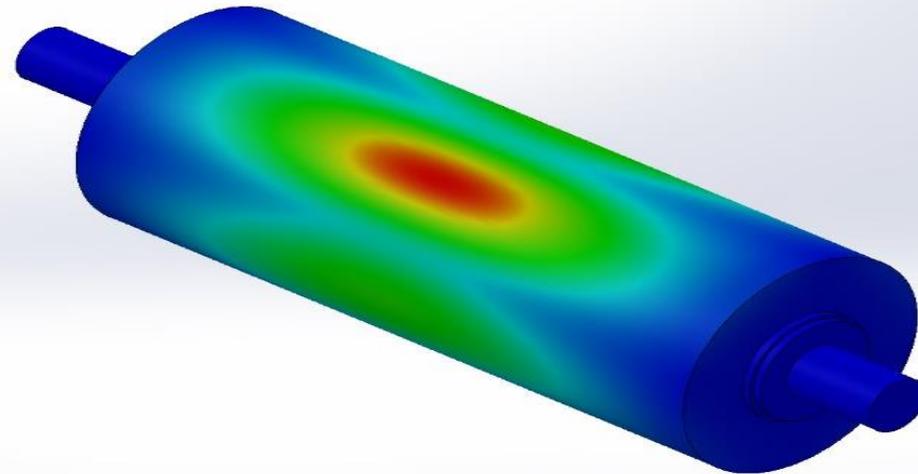


RESULTADOS

Simulación segundo escenario

Deflexiones producidas

Nombre del modelo: RODILLO 2
Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
Escala de deformación: 1



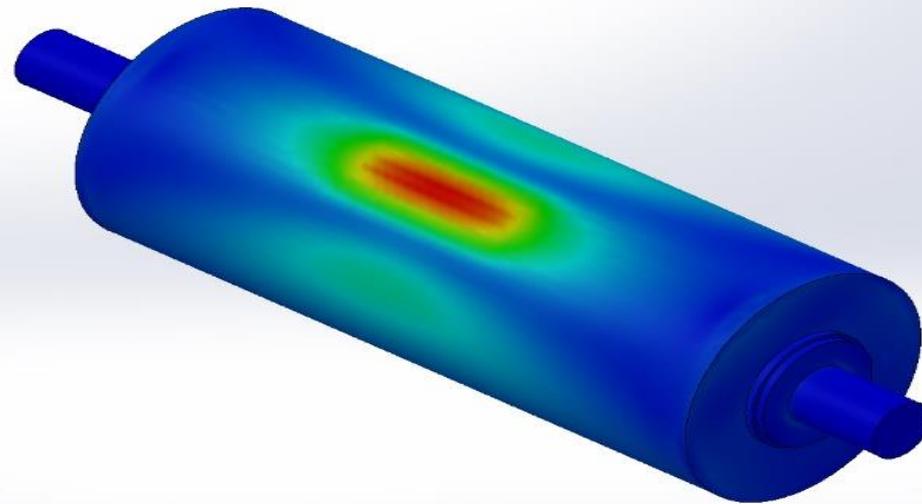


RESULTADOS

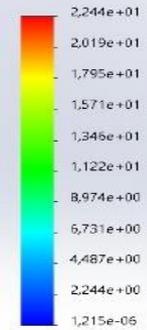
Simulación segundo escenario

Tensiones producidas

Nombre del modelo: RODILLO 2
Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 1



von Mises (N/mm² (MPa))



→ Límite elástico: 1,800e+02

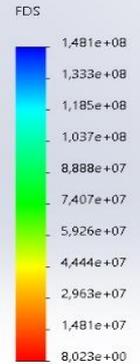
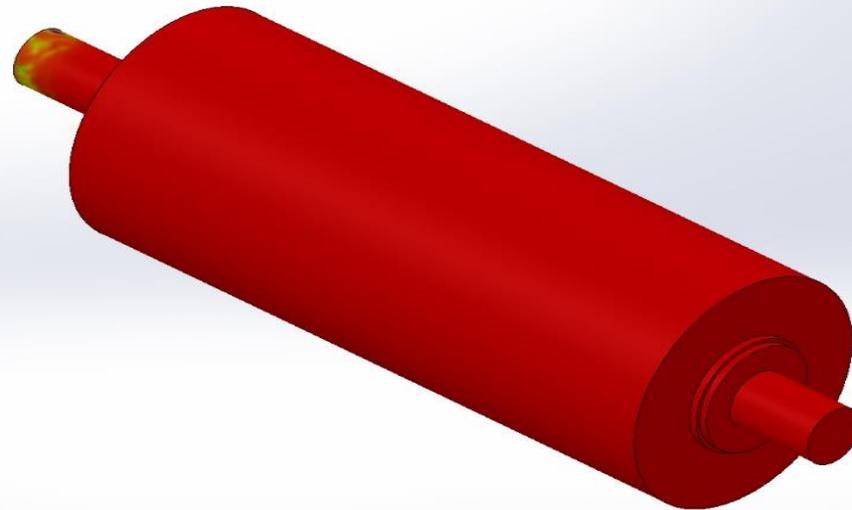


RESULTADOS

Simulación segundo escenario

Factor de seguridad

Nombre del modelo: RODILLO 2
Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Tensiones von Mises máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS min = 8





RESULTADOS

Simulación segundo escenario

Comparación

Segundo rodillo

Tensión máxima de Von Mises

22.44 Mpa

Limite elástico

180 Mpa



CONTENIDO

- 1 Introducción
- 2 Justificación
- 3 Objetivos
- 4 Metodología
- 5 Resultados
- 6 Conclusiones
- 7 Recomendaciones



CONCLUSIONES

Se cumplió con la simulación de la deflexión del rodillo mediante el uso de programas de diseño para estimar las deformaciones producidas por el peso del vehículo

Se determinaron los parámetros adecuados de los rodillos para que estos puedan ser usados en un dinamómetro de chasis que determine la potencia y torque de vehículos livianos en el Ecuador.

Se obtuvo las deformaciones producidas por el peso del vehículo las cuales fueron analizadas bajo ciertos criterios de funcionamiento.

CONCLUSIONES

Se desarrollaron los planos de diseño de los rodillos.

Los resultados y diseños establecidos son satisfactorios y cumplen con normativas establecidas para su funcionamiento.



CONTENIDO

- 1 Introducción
- 2 Justificación
- 3 Objetivos
- 4 Metodología
- 5 Resultados
- 6 Conclusiones
- 7 **Recomendaciones**



RECOMENDACIONES

Es recomendable cumplir con los parámetros de diseño establecidos, para que de esta forma se evite tener problemas en la manufactura del dinamómetro de chasis.

Se recomienda que no se sobrepase el peso de diseño ya que este está establecido para vehículos livianos.

Es importante siempre verificar el estado de los neumáticos y asegurarse que el área de contacto entre el neumático y rodillo sea apropiada para realizar las diferentes pruebas.

Se debe tener en cuenta los factores de seguridad establecidos y las deflexiones producidas en las simulaciones.

Es necesario tener en cuenta los planos de los rodillos para de esta forma conocer a que fin están destinados los mismos.

GRACIAS
POR SU
ATENCIÓN