



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: “ANÁLISIS DE MOVIMIENTO DEL DINAMÓMETRO DE
RODILLOS”**

AUTOR: OCHOA GUAMAN, CARLOS VINICIO

TUTOR: ING. BELTRAN REYNA, ROBERTO FELIX

LATACUNGA, MARZO 2022

E. S. P. E.



INGENIERIA AUTOMOTRIZ





CONTENIDO

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



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

INTRODUCCIÓN

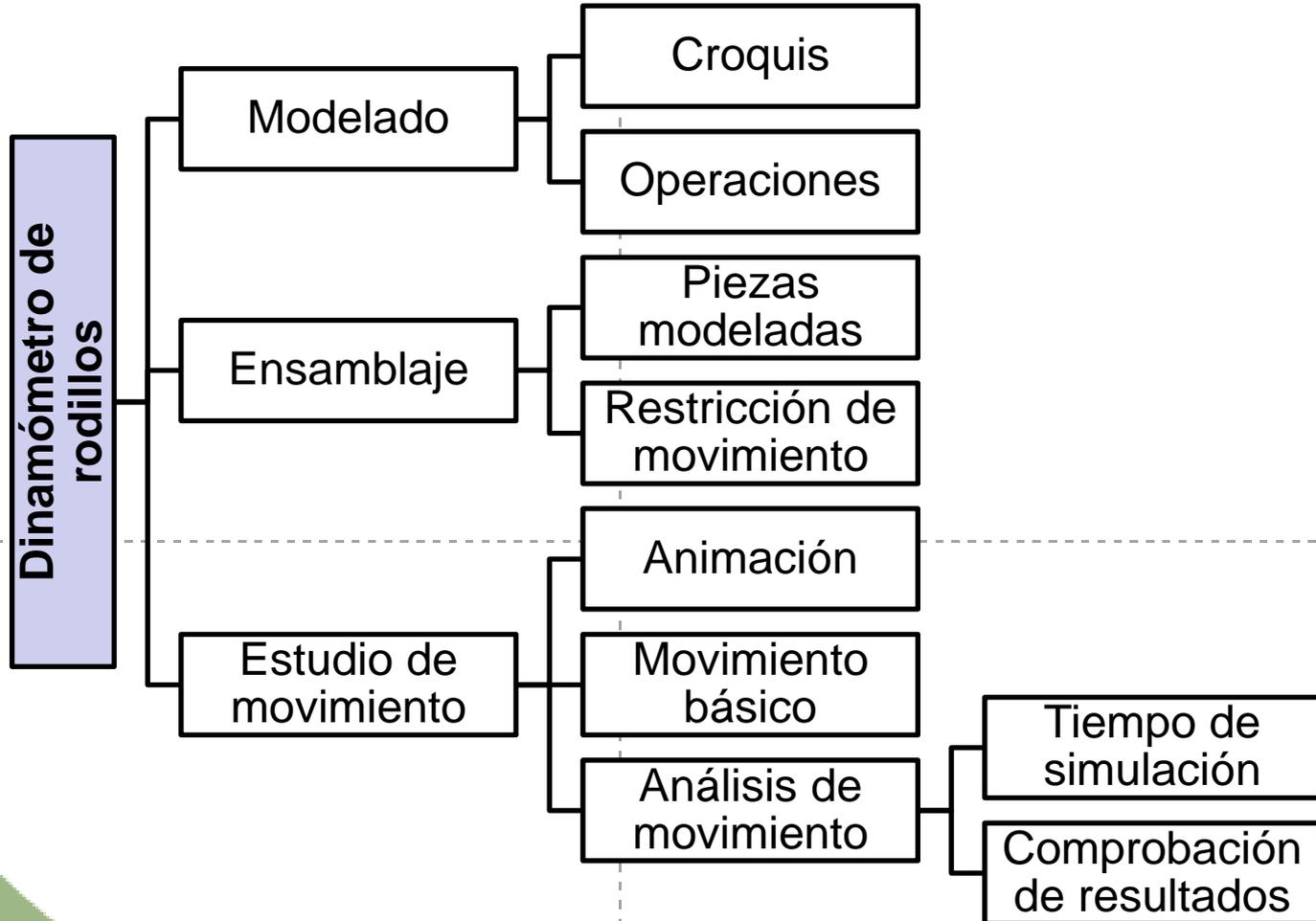
Dinamómetro de rodillos

Determinar problemas relacionados con el torque y potencia

La mayoría de talleres no constan con este equipo debido al alto coste de su implementación

es necesario un diseño que sirva de referencia para una posterior manufactura

INTRODUCCIÓN



INTRODUCCIÓN

Aplicaciones del dinamómetro

- Investigación y desarrollo de motores de combustión interna y vehículos

- Ensayos de investigación y desarrollo
- Ensayos de producción

- Mantenimiento y verificación



INTRODUCCIÓN

Componentes del dinamómetro

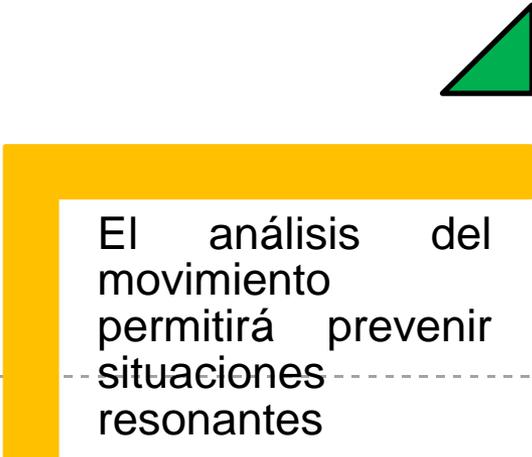
- Estructura
- Rodillos
- Unidad de absorción de potencia
- Ventiladores
- Extractor de gases
- Interfaz de datos



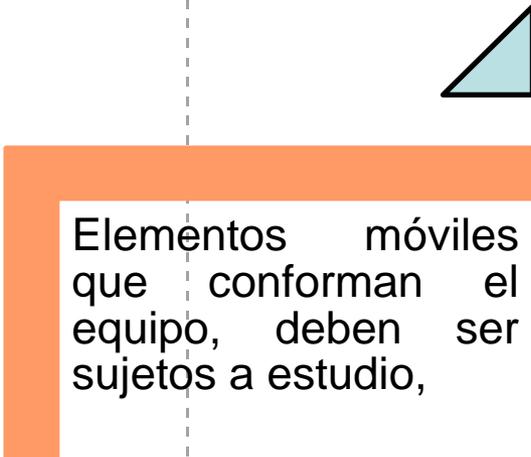


- 1 Introducción
- 2 Justificación
- 3 Objetivos
- 4 Metodología
- 5 Resultados
- 6 Conclusiones
- 7 Recomendaciones

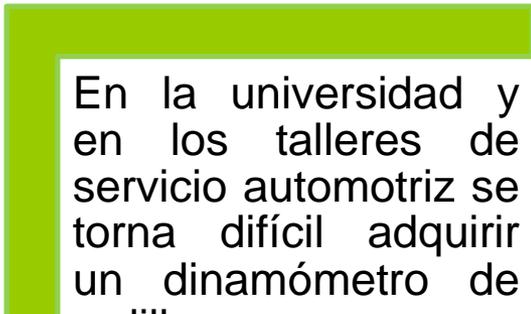
JUSTIFICACIÓN



El análisis del movimiento permitirá prevenir situaciones resonantes



Elementos móviles que conforman el equipo, deben ser sujetos a estudio,



En la universidad y en los talleres de servicio automotriz se torna difícil adquirir un dinamómetro de rodillos por su elevado costo,



CONTENIDO

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



Objetivo General

- Diseñar y simular un dinamómetro de rodillos para determinar potencia y torque de vehículos livianos en el Ecuador

Objetivos Específicos

- Realizar el prototipo virtual del dinamómetro de rodillos mediante el uso de software de diseño CAD.
- Calcular la velocidad crítica de los rodillos que producirán oscilaciones de gran amplitud.
- Determinar las condiciones de movimiento del dinamómetro de rodillos para cumplir con su destino de servicio.
- Realizar el análisis de movimiento del dinamómetro de rodillos mediante el uso de software de diseño CAD.



CONTENIDO

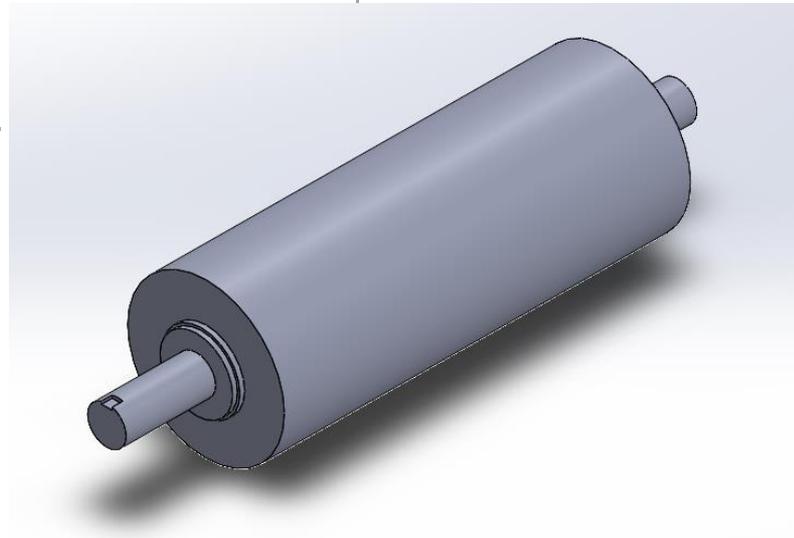
- 1 Introducción
- 2 Justificación
- 3 Objetivos
- 4 Metodología
- 5 Resultados
- 6 Conclusiones
- 7 Recomendaciones



Diseño de la geometría

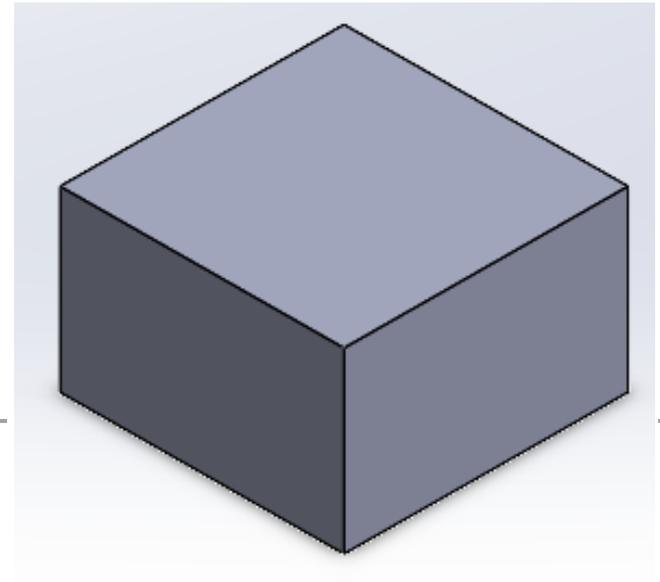
Diseño de los rodillos

Diámetro	0.3239 m
Longitud	0.84 m



Chaveta

Dimensiones	
Ancho (w)	0,22 m
Altura (h)	0,14 m
Longitud (l)	0,22 m





METODOLOGÍA

Cálculo del chavetero y chaveta para el eje del rodillo

Cálculo del esfuerzo cortante de la chaveta:

$$t_d = \frac{0.5S_y}{n_s}$$

$$t_d = \frac{0.5 * 180 \text{ MPa}}{3}$$

$$t_d = 30 \text{ MPa}$$

Cálculo del esfuerzo de aplastamiento de la chaveta:

$$S_d = \frac{4T}{d * a * l}$$

$$S_d = \frac{4(299.252 \text{ N.m})}{0.08\text{m} * 0.014\text{m} * 0.022\text{m}}$$

$$S_d = 37.216 \text{ MPa}$$

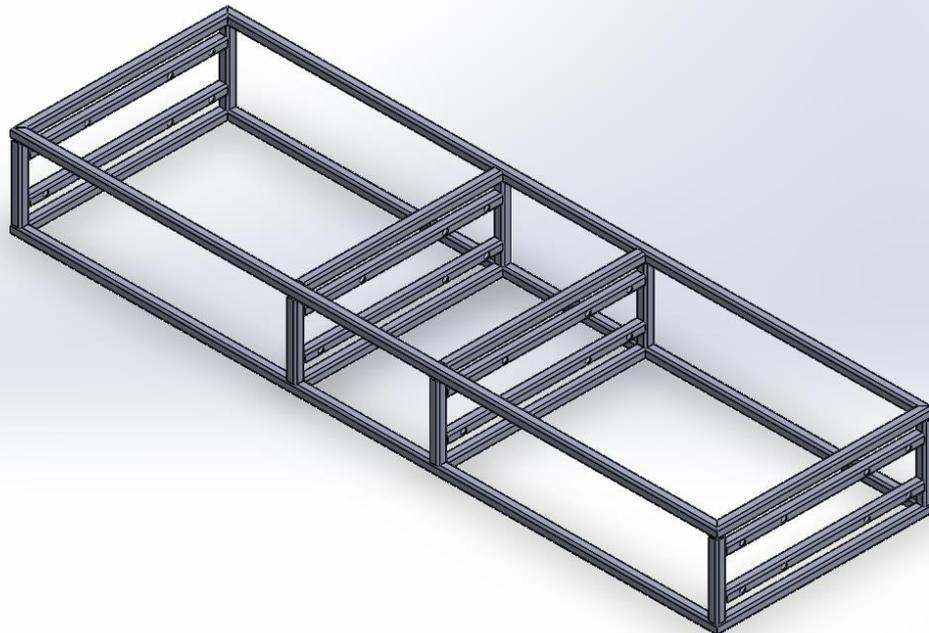
Estructura del dinamómetro

Normativa NOM-047-SEMARNAT-2014

$$\text{Distancia entre ejes} = (61.913 + D) * \sin 31.62^\circ$$

$$\text{Distancia entre ejes} = (61.913 + 32.39 \text{ cm}) * \sin 31.62^\circ$$

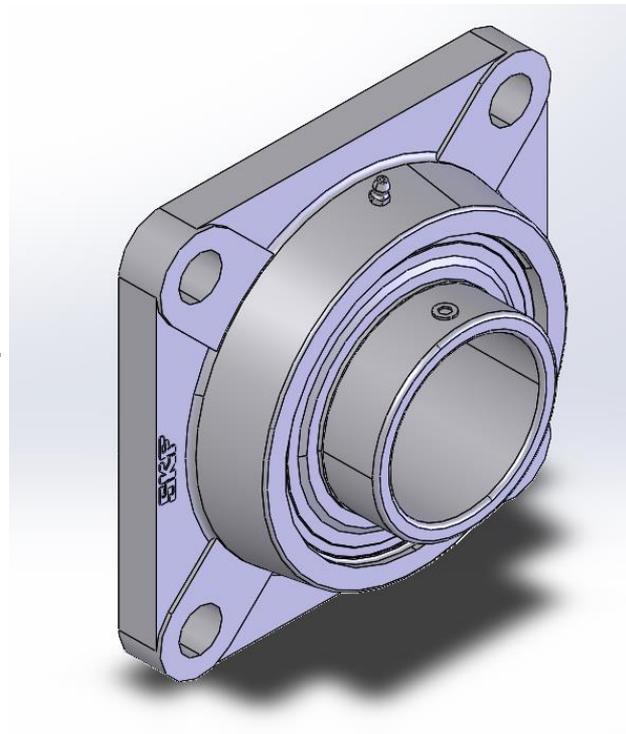
$$\text{Distancia entre ejes} = 49.441 \text{ cm}$$





Chumacera y rodamiento del rodillo

El diámetro interior del rodamiento será igual al diámetro exterior del eje del rodillo que es 0.08 m



METODOLOGÍA

Determinación de la fuerza radial equivalente del rodamiento

$$F_e = XV F_r + Y F_a$$

$$F_a = \frac{0.47 F_r}{K}$$

$$F_a = \frac{0.47(5383.238 \text{ N})}{1.5}$$

$$F_a = 1686.748 \text{ N}$$

- Los factores de carga radial equivalente para contacto radial es $X=0.5$, $Y=1.4$
- Factor de rotación $V = 1$ cuando el anillo interior gira.

Reemplazando:

$$F_e = 0.5 * 1 * 5383.238 \text{ N} + 1.4 * 1686.748 \text{ N}$$

$$F_e = 2691.619 \text{ N} + 2361.447$$

$$F_e = 5053.066 \text{ N}$$

Unidad de absorción de potencia

Norma NOM-047-SEMARNAT-2014	
Capacidad de absorber	19 kW
Velocidad mínima	22 km/h → 6,111 m/s

Velocidad angular:

$$\omega = \frac{V_{rod}}{r}$$

$$\omega = \frac{6.111 \text{ m/s}}{0.16195 \text{ m}}$$

$$\omega = 37.734 \text{ rad/s}$$

$$\omega = 360.333 \text{ rpm}$$

Par de torsión:

$$T = \frac{P}{\omega}$$

$$T = \frac{19000 \text{ w}}{37.734 \text{ rad/s}}$$

$$T = 503.525 \text{ Nm}$$



METODOLOGÍA

Carga de camino

$$P_r = \left(C_R M_v g + \frac{1}{2} \rho_a C_D A_v S_v^2 \right) S_v$$

Parámetros	
Masa del vehículo	2195 kg
Área frontal del vehículo	2,5 m ²
Coeficiente de arrastre	0,30 – 0,35
velocidad de desplazamiento	80 km/h → 22,22 m/s
Densidad del aire	1.205 Kg/m ³

METODOLOGÍA

Resistencia al rodamiento

$$C_R = 0.007 + 0.45 \times 10^{-6} V^2$$

$$C_R = 0.007 + 0.45 \times 10^{-6} (80)^2$$

$$C_R = 9.88 \times 10^{-3}$$

Reemplazamos:

$$P_r = \left(0.00988 * 2195 \text{ kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} + \frac{1}{2} * 1.205 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0.35 * 2.5 \text{ m}^2 * \left(22.22 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 \right) * 22.22 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$P_r = 10510.79 \text{ w}$$

$$P_r = 10.51 \text{ kw}$$

METODOLOGÍA

Una vez obtenido el valor de la carga de camino se determina el par que debe proporcionar el freno del dinamómetro

$$T_f = \frac{P_r}{\omega}$$

$$T_f = \frac{10510.79 \text{ w}}{137.20 \text{ rad/s}}$$

$$\omega = \frac{22.22 \text{ m/s}}{0.16195 \text{ m}}$$

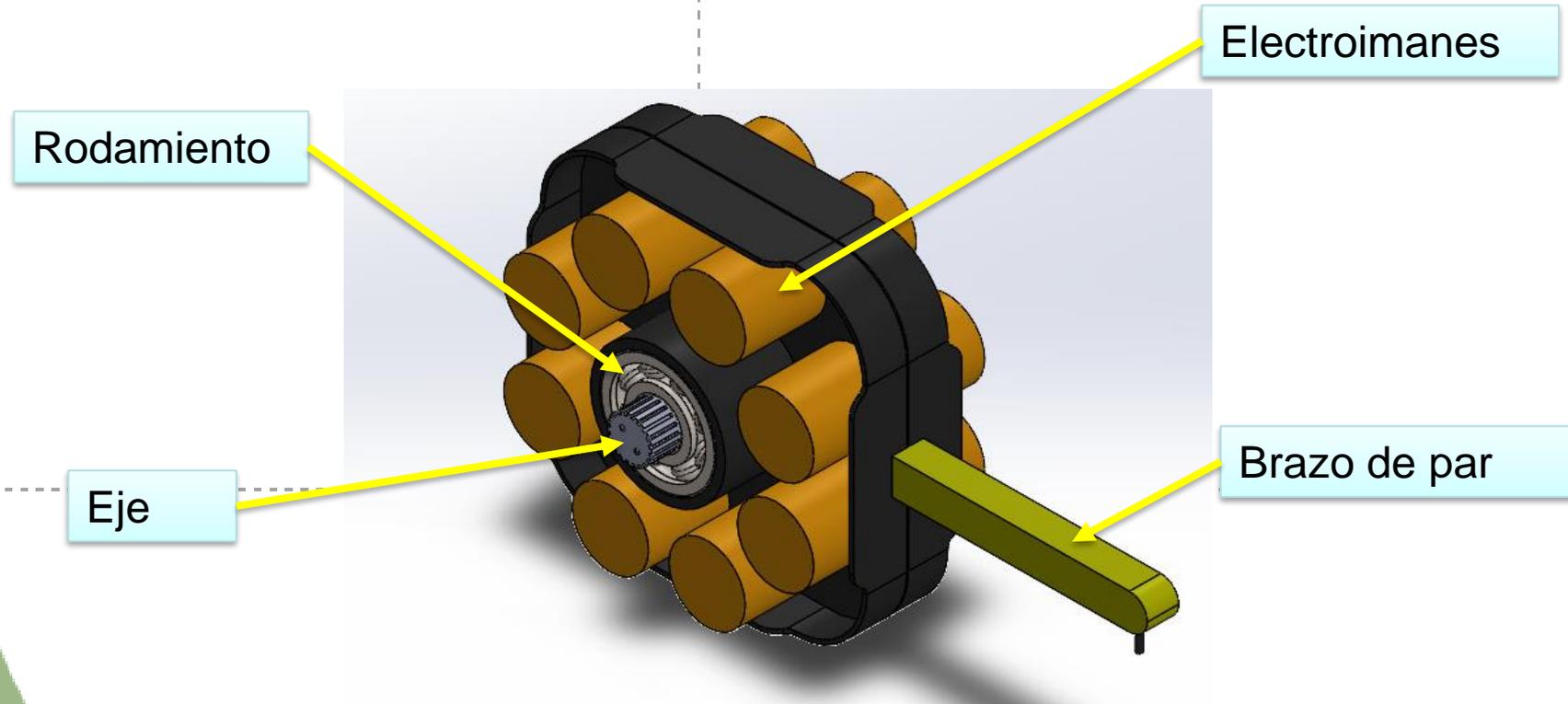
$$T_f = 76.609 \text{ Nm}$$

$$\omega = 137.20 \text{ rad/s}$$

$$\omega = 1310.163 \text{ rpm}$$

METODOLOGÍA

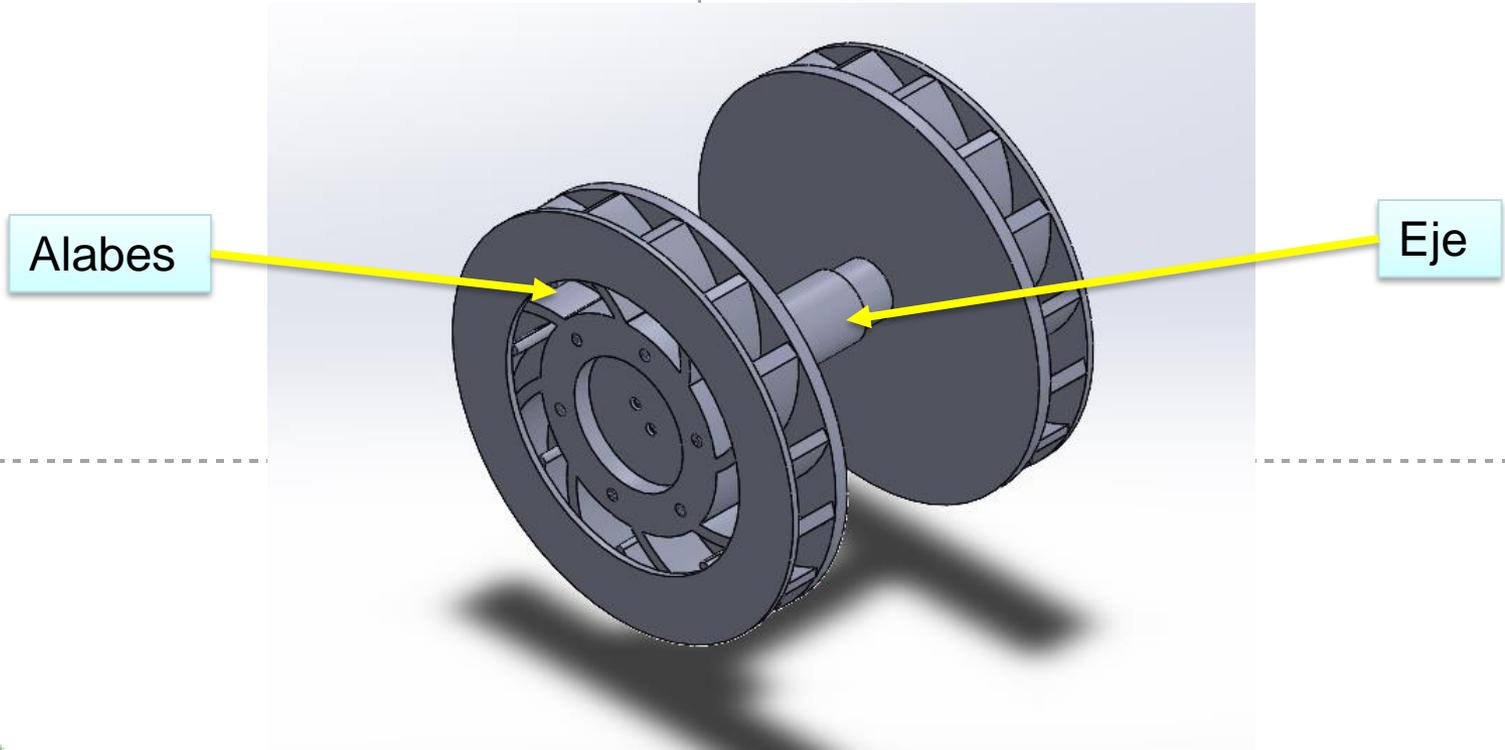
Estator de la unidad de absorción de potencia





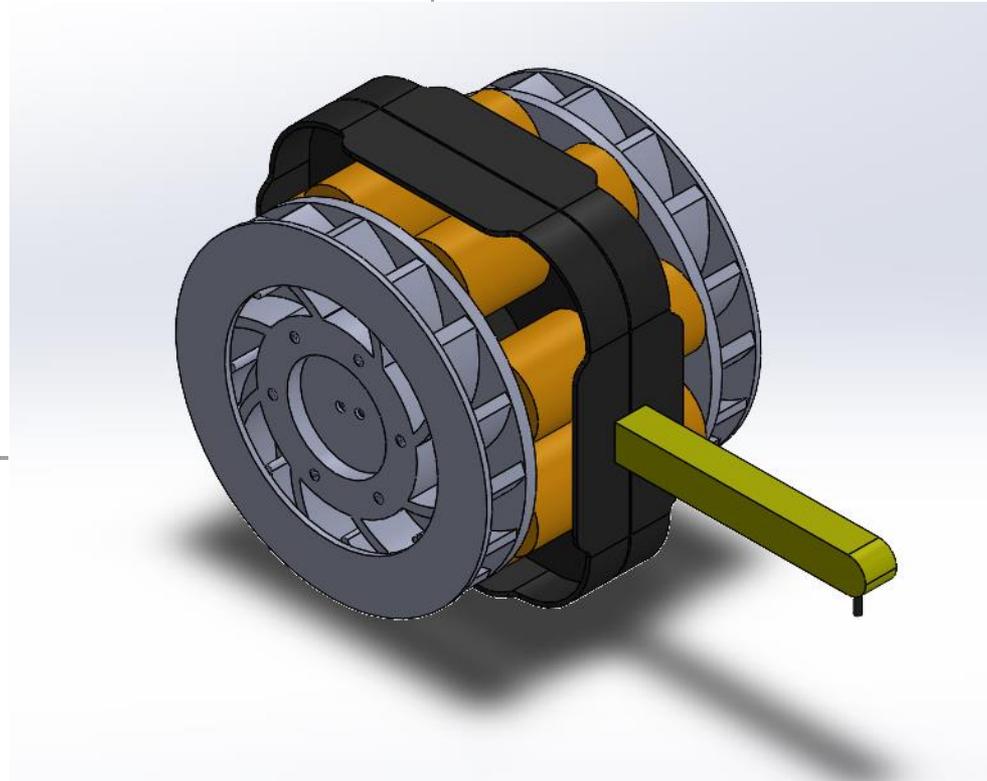
METODOLOGÍA

Rotor de la unidad de absorción de potencia





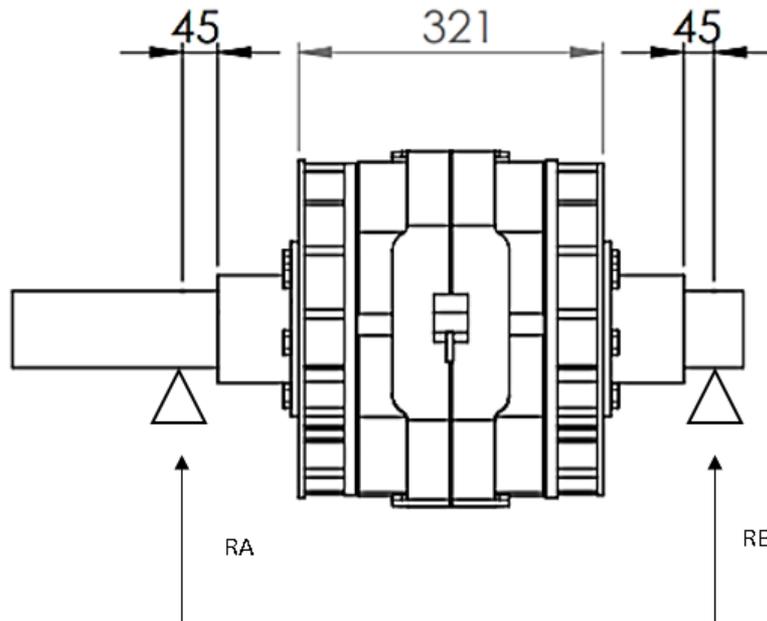
Unidad de absorción de potencia



METODOLOGÍA

Chumacera y rodamiento de la unidad de absorción de potencia

- El peso de la unidad de absorción de potencia es 1314.54 N
- Se multiplica por 1.5 que es el factor de seguridad, lo que da como resultado 1971.81 N para garantizar la seguridad del diseño



$$P = R_A + R_B$$

$$1971.81 \text{ N} = R_A + R_B$$

METODOLOGÍA

$$\sum M_B = 0$$

$$R_A(45 + 321 + 45)mm - P\left(\frac{321}{2} + 45\right)mm = 0$$

$$R_A(411mm) - 1971.81N(205.5mm) = 0$$

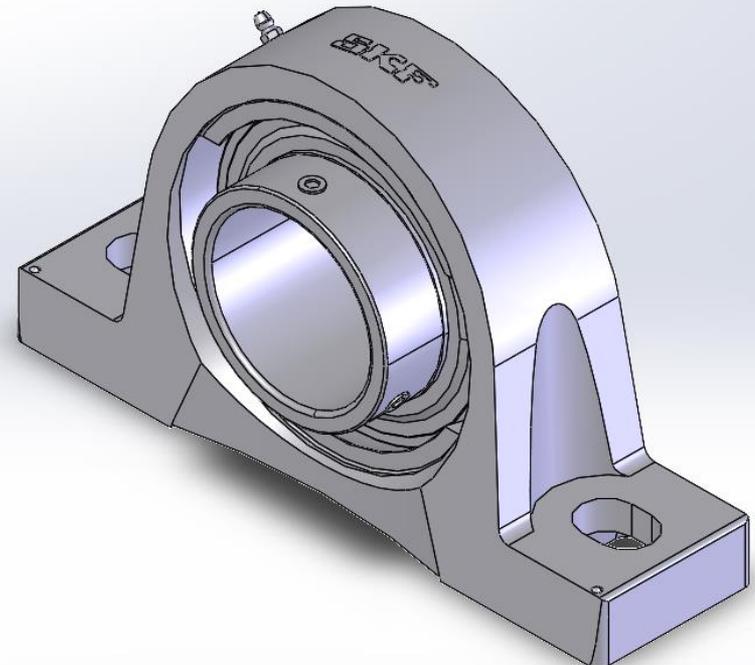
$$R_A(411mm) - 405206.955N \cdot mm = 0$$

$$R_A = \frac{414080.1N \cdot mm}{411mm}$$

$$R_A = 985.905 N$$

$$R_B = 1971.81N - 985.905N$$

$$R_B = 985.905N$$

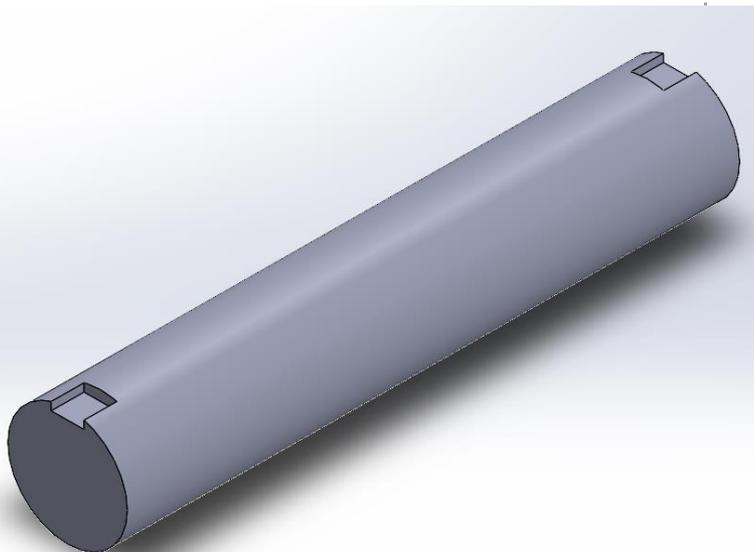


METODOLOGÍA

Ejes de transmisión

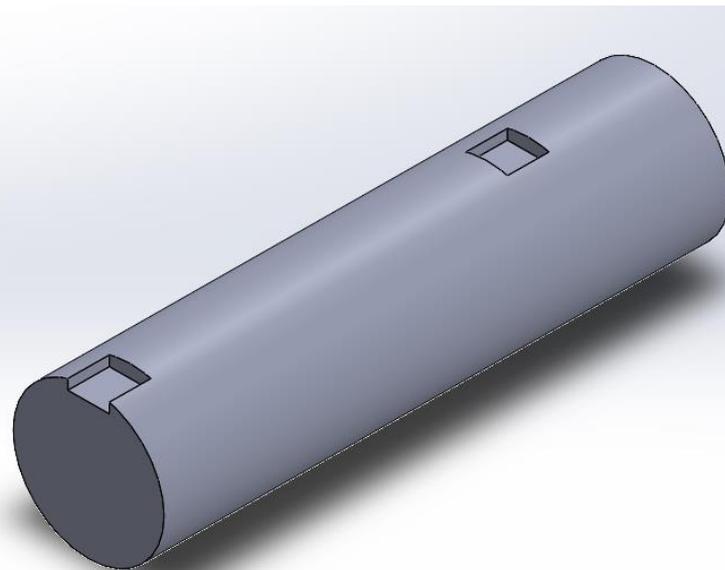
Rodillos

Dimensiones	
Diámetro	0,08 m
Longitud (l)	0,41 m



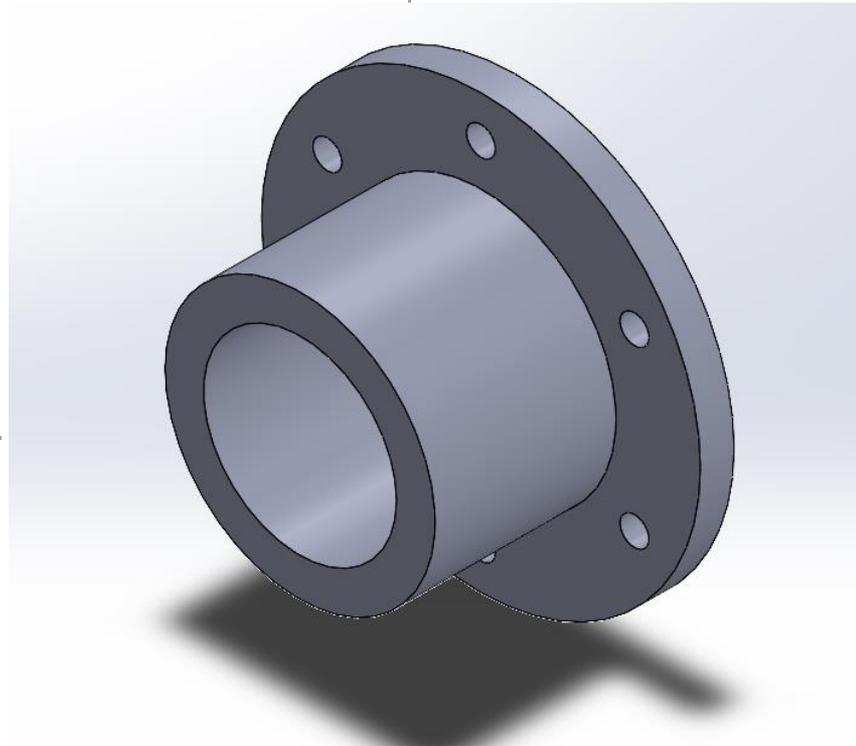
Unidad de absorción de potencia

Dimensiones	
Diámetro	0,08 m
Longitud (l)	0,3 m





Acoples de disco



METODOLOGÍA

Sensor de carga

Cálculo de la fuerza aplicada al sensor:

$$F = \frac{T}{d}$$

$$F = \frac{175 \text{ N.m}}{0.45\text{m}}$$

$$F = 388.889\text{N}$$

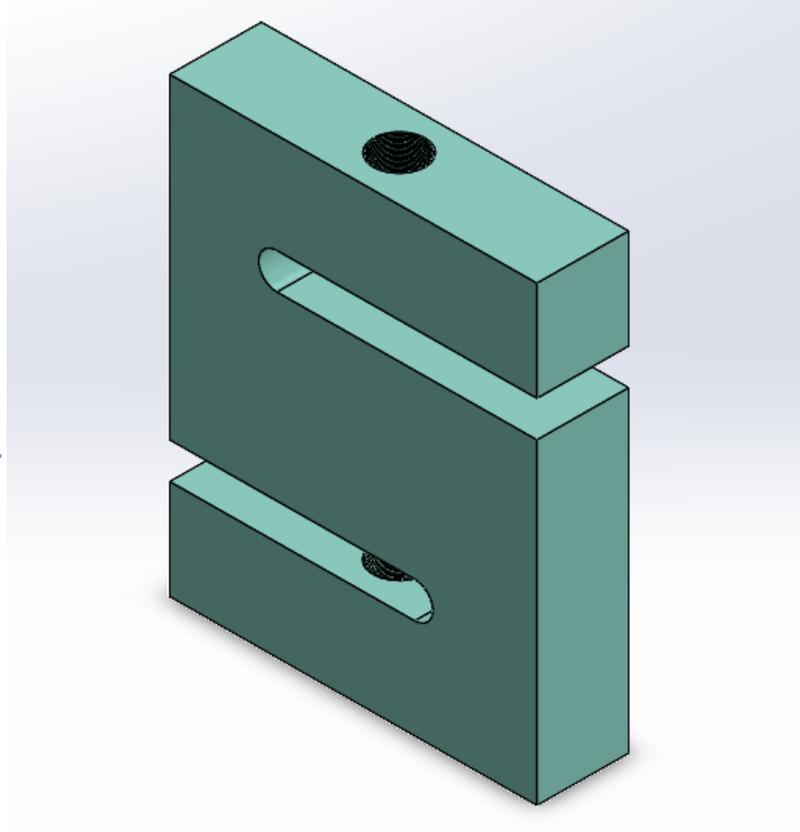
Capacidad de la celda:

$$C_{cel} = \frac{388.889\text{N}}{9.81 \text{ m/s}^2}$$

$$C_{cel} = 39.642 \text{ kg}$$

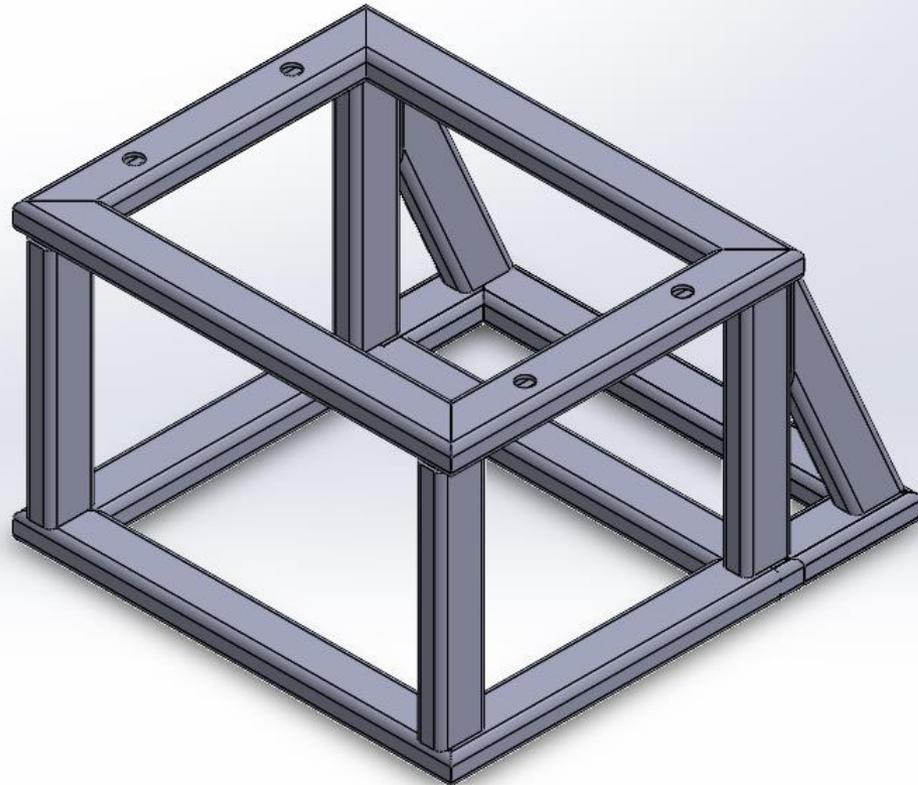
$$C_{cel} = 87.391 \text{ lb}$$

Sensor de carga





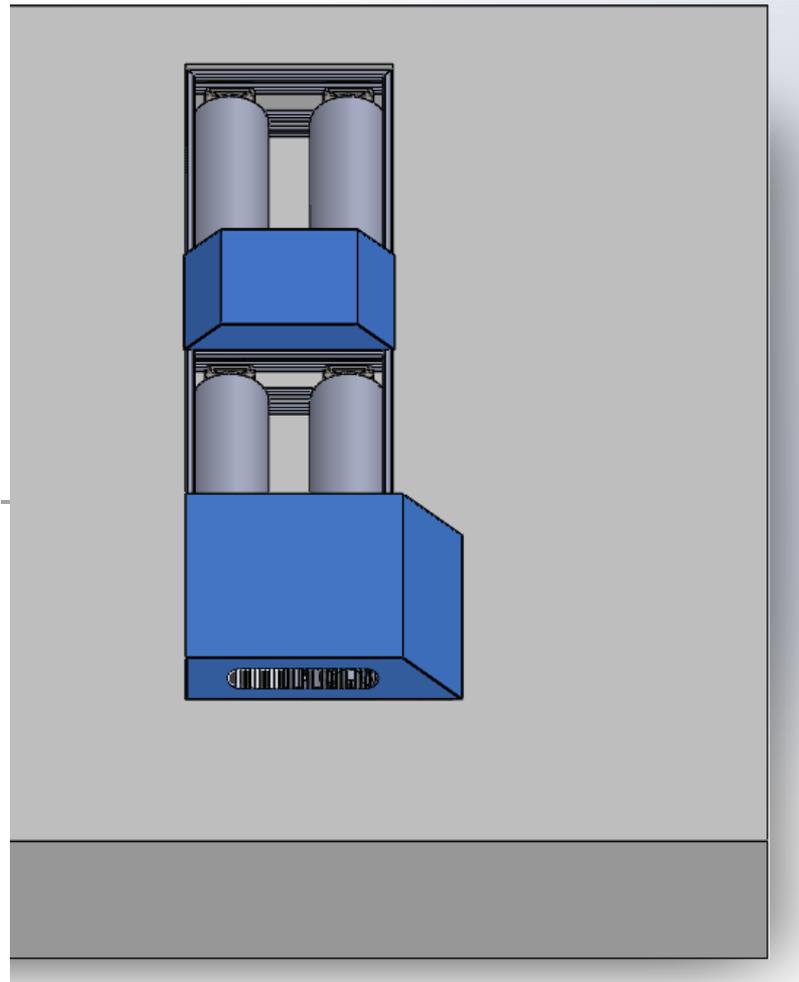
Estructura de soporte del freno del dinamómetro





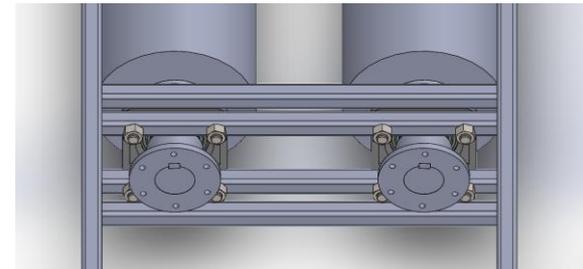
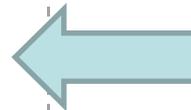
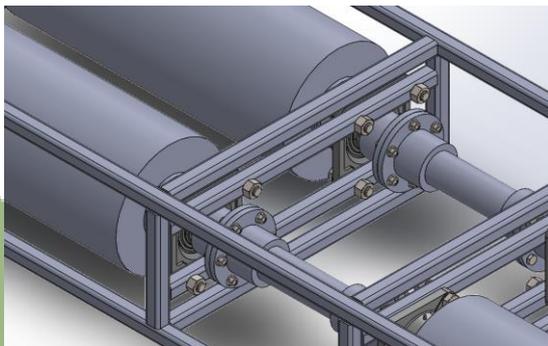
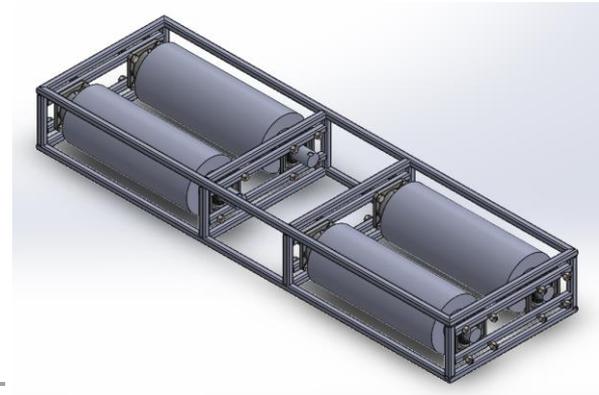
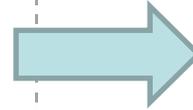
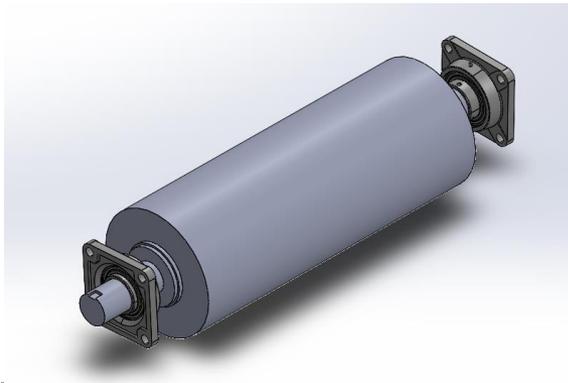
METODOLOGÍA

Protector del dinamómetro de rodillos

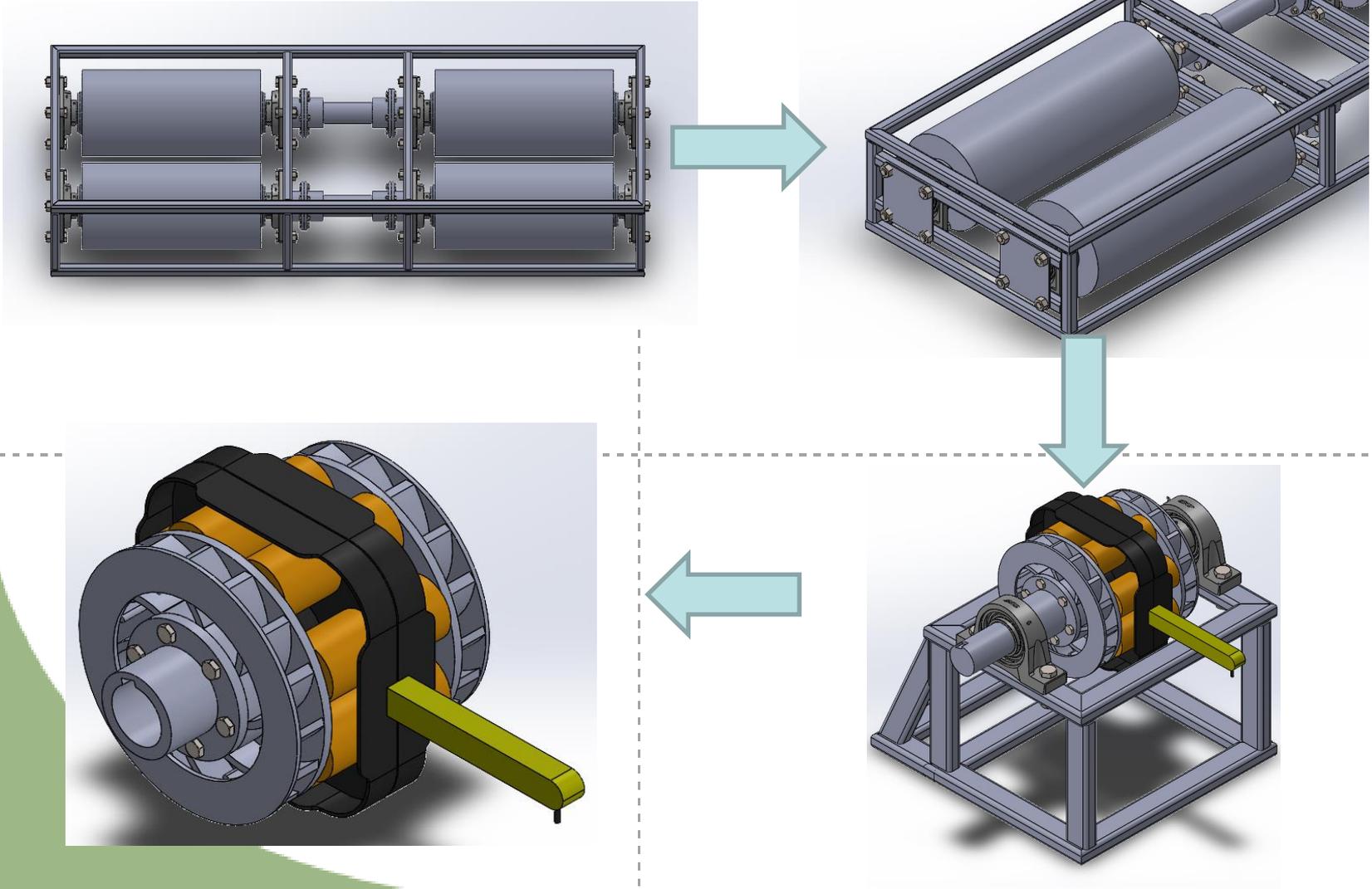


METODOLOGÍA

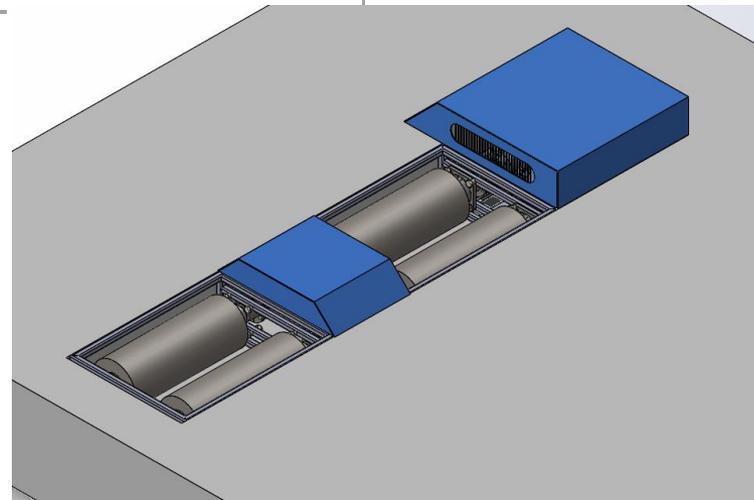
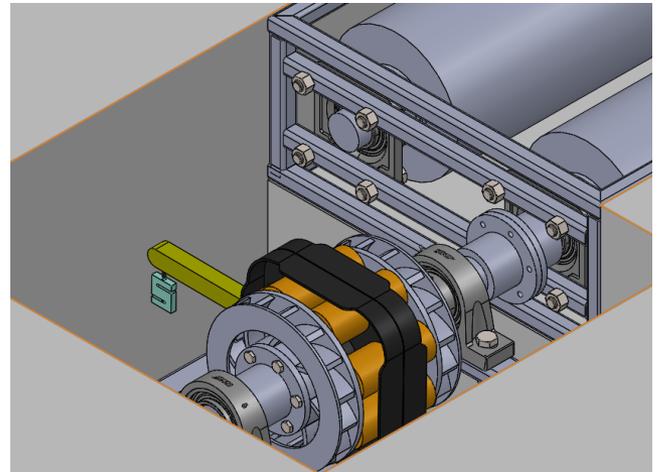
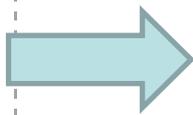
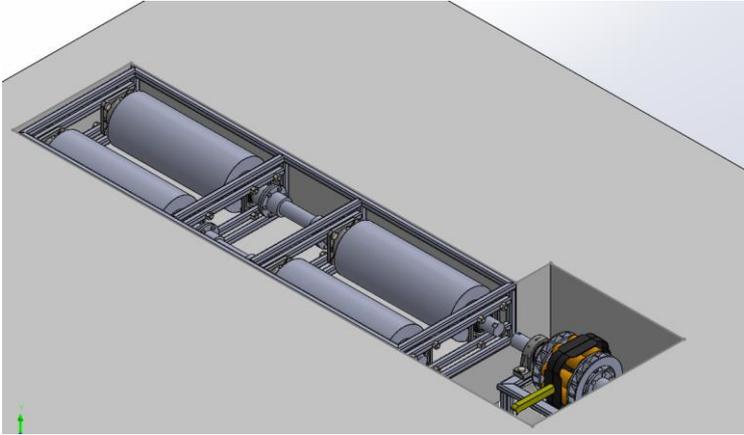
Proceso de ensamblaje



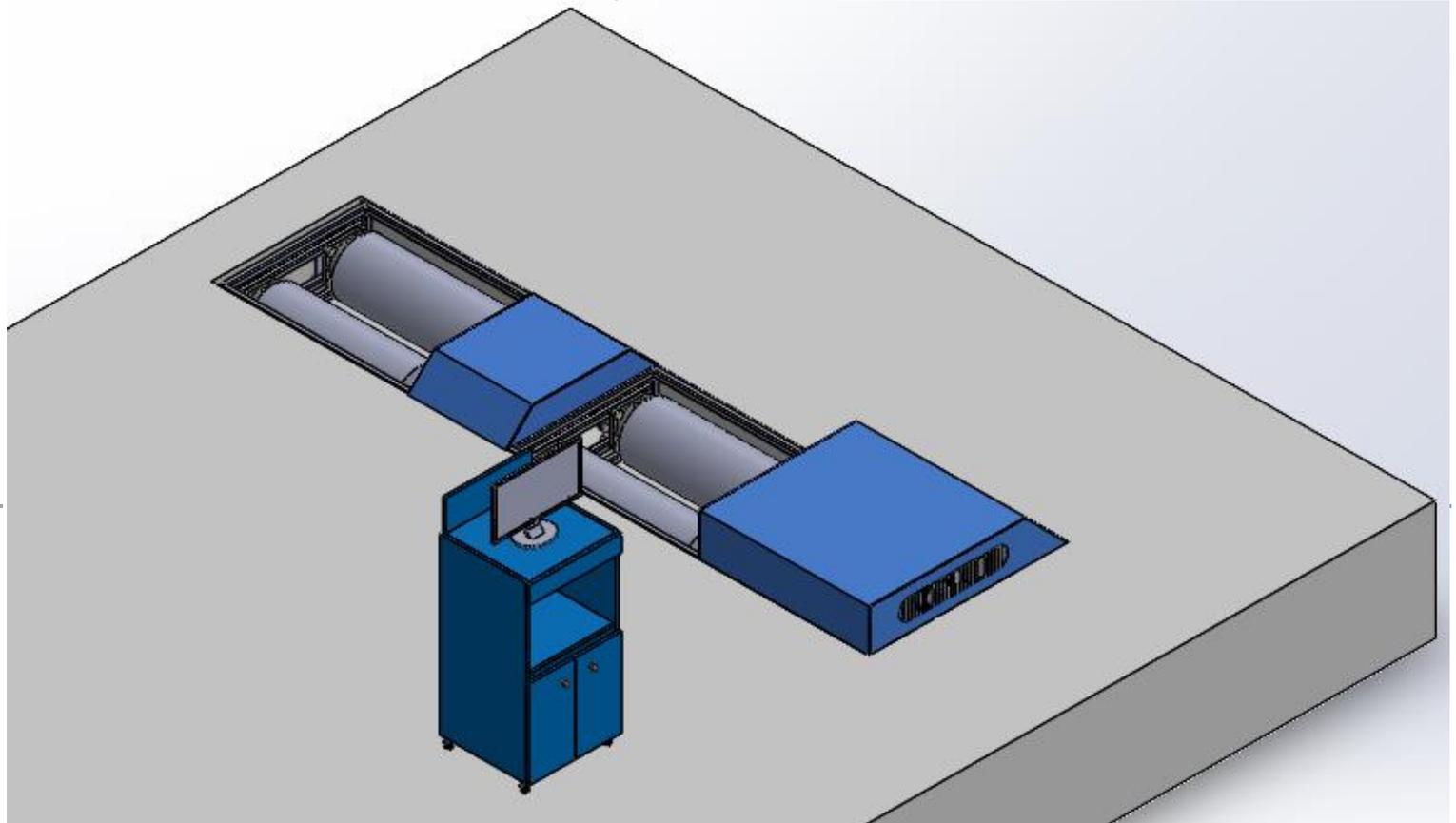
METODOLOGÍA



METODOLOGÍA



METODOLOGÍA



METODOLOGÍA

Simulación de movimiento del dinamómetro de rodillos

La simulación se realiza mediante estudios de movimiento para modelos de ensamblaje

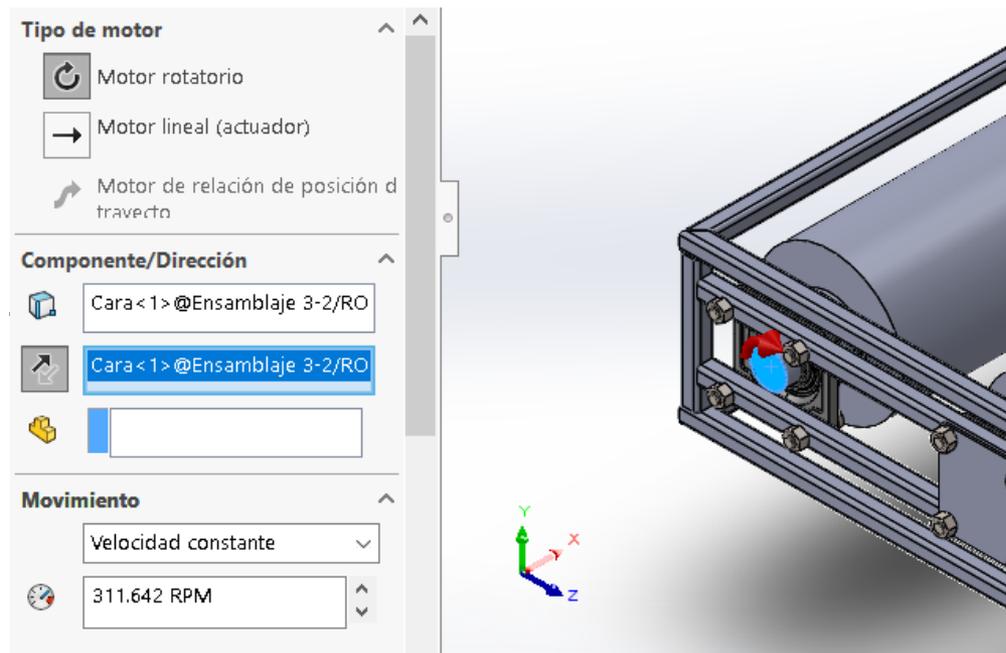


Las simulaciones graficas de movimiento no modifican el modelo de ensamblaje del dinamómetro

METODOLOGÍA

Velocidad angular del neumático al Torque máximo

Parámetros de simulación



Velocidad angular máxima del neumático

$$0.857 = \frac{n_{(motor)}}{n_{5(caja)}}$$

$$n_{5(caja)} = \frac{5250 \text{ RPM}}{0.857}$$

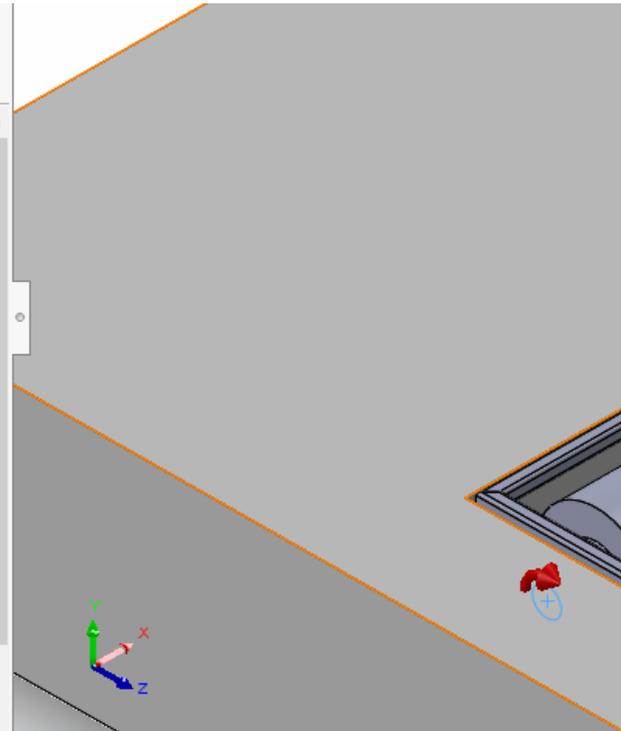
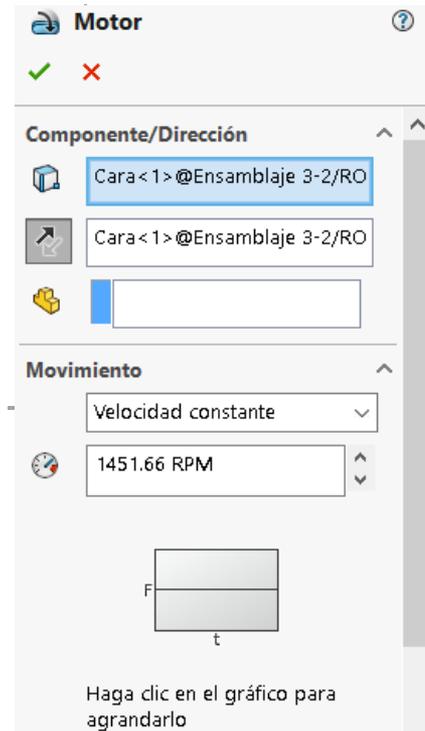
$$n_{5(caja)} = 6126.02 \text{ RPM}$$

$$R_c = \frac{n_{(caja)}}{n_{5(diferencial)}}$$

$$4.22 = \frac{n_{(caja)}}{n_{5(diferencial)}}$$

$$n_{5(diferencial)} = \frac{6126.02 \text{ RPM}}{4.22}$$

$$n_{5(diferencial)} = 1451.66 \text{ RPM}$$



Velocidad crítica del rodillo

$$n_{critica} = 2351.48 \text{ RPM}$$

Motor ?

✓ ✗

Componente/Dirección ^

 Cara<1>@Ensamblaje 3-2/RO

 Cara<1>@Ensamblaje 3-2/RO



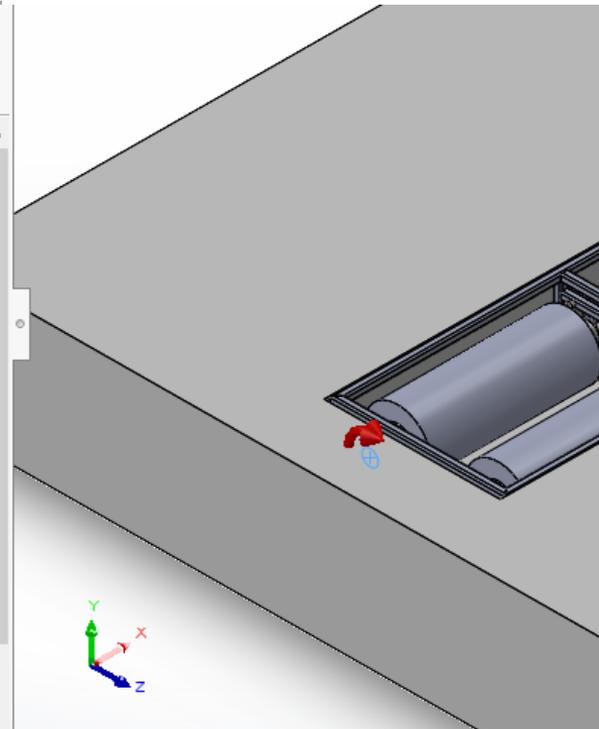
Movimiento ^

Velocidad constante ▾

 2351.48 RPM ▾



Haga clic en el gráfico para agrandarlo





CONTENIDO

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

RESULTADOS

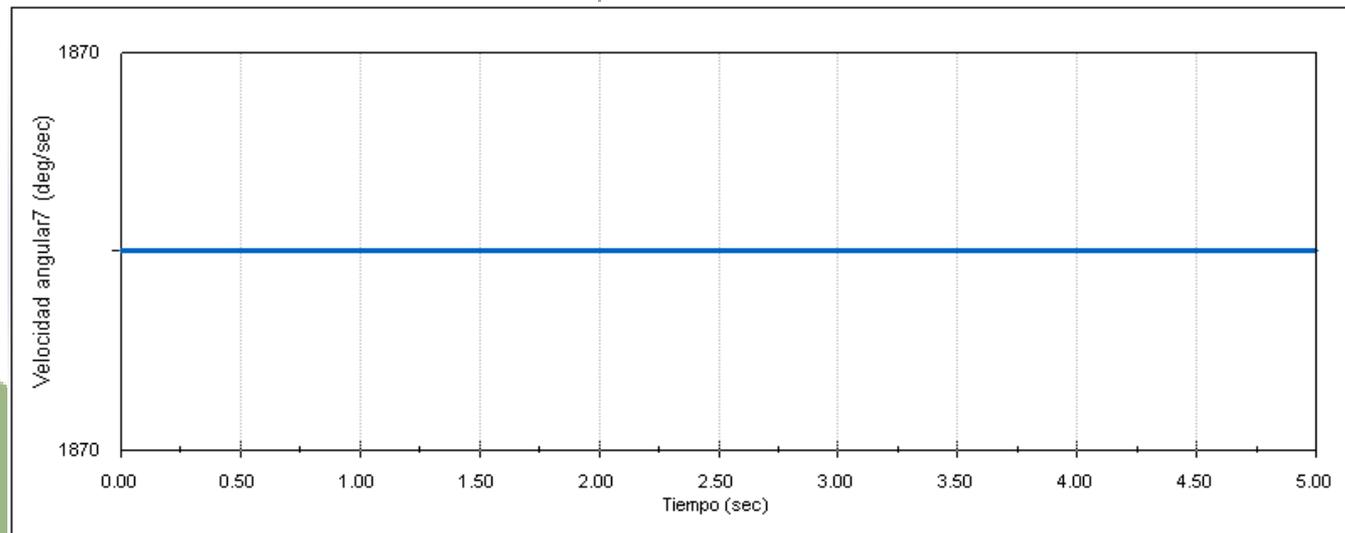
Análisis de movimiento

Análisis 1: Velocidad – Torque

Parámetros	
Torque	175 Nm
Velocidad	311.642 rpm

Curvas

Velocidad angular

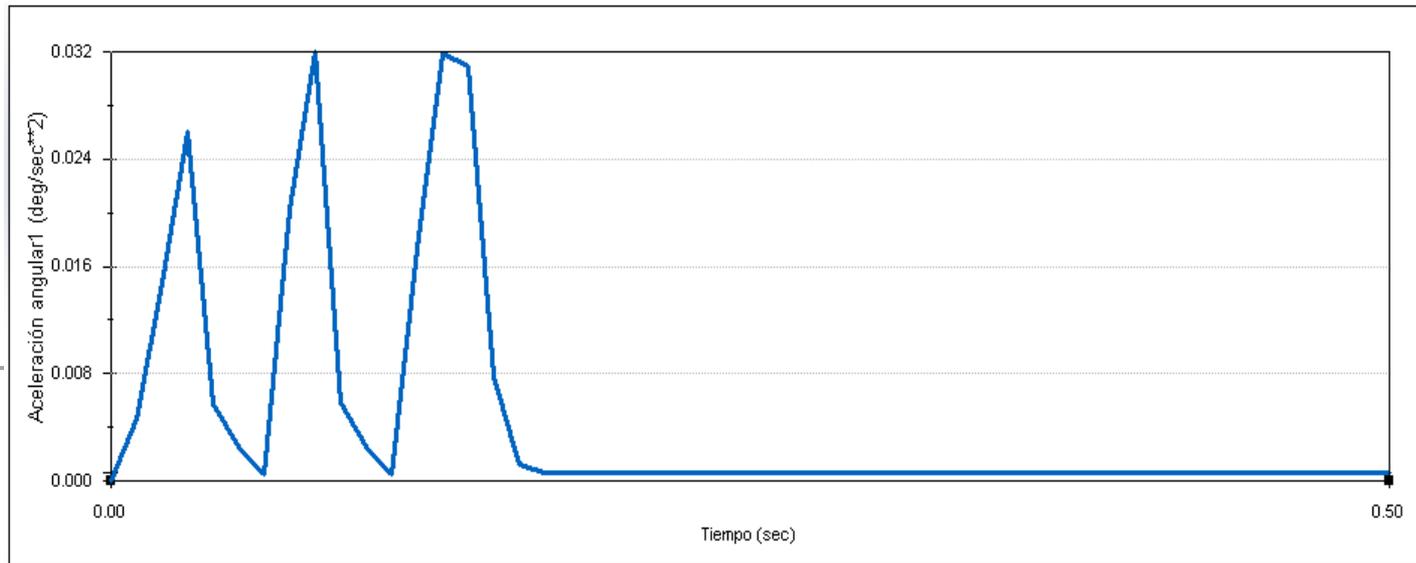




RESULTADOS

Curvas

Aceleración



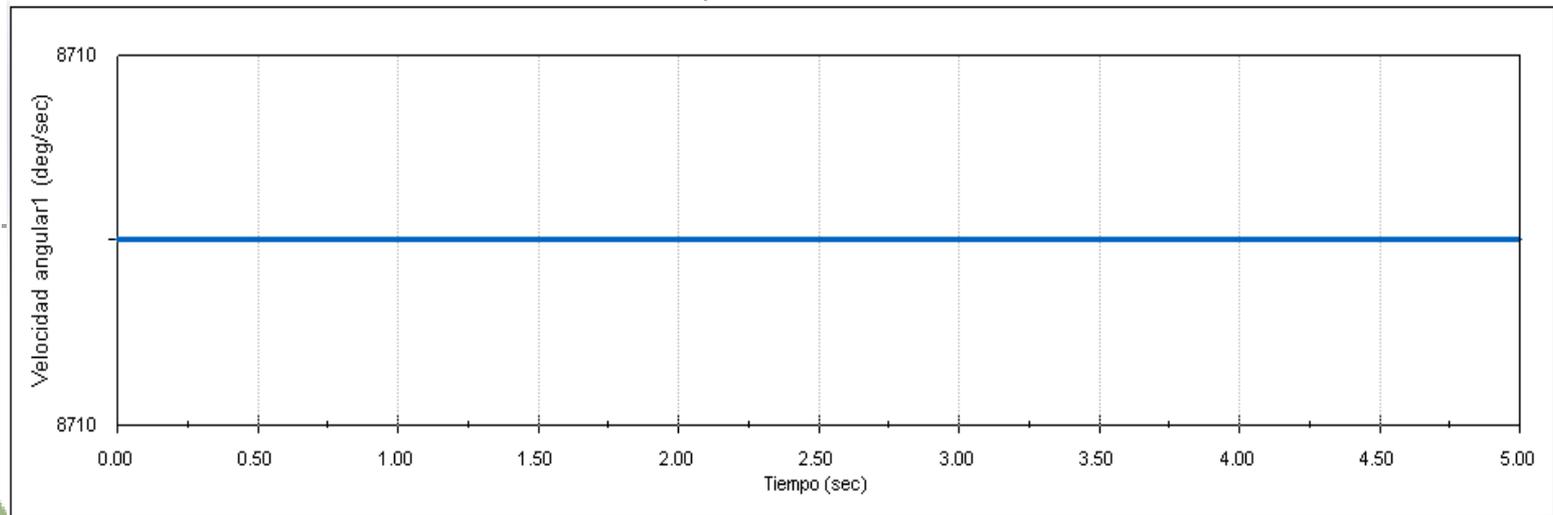
RESULTADOS

Análisis 2: Velocidad máxima

- Velocidad de 1451.66 RPM

Curvas

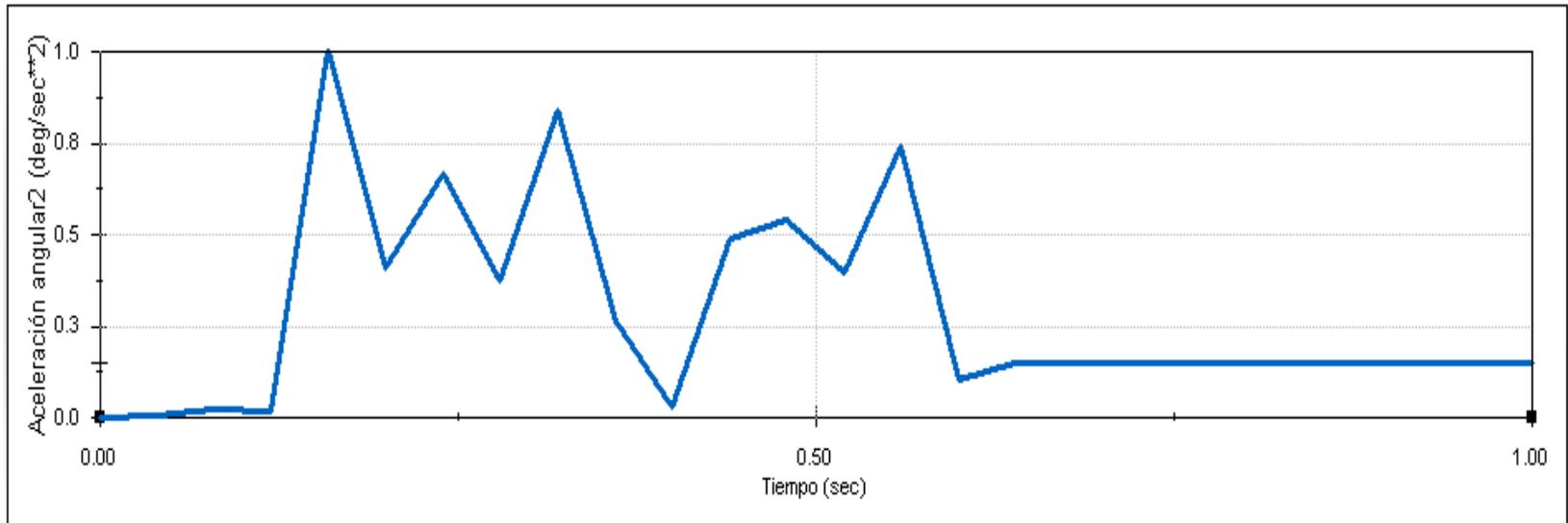
Velocidad angular



RESULTADOS

Curvas

Aceleración

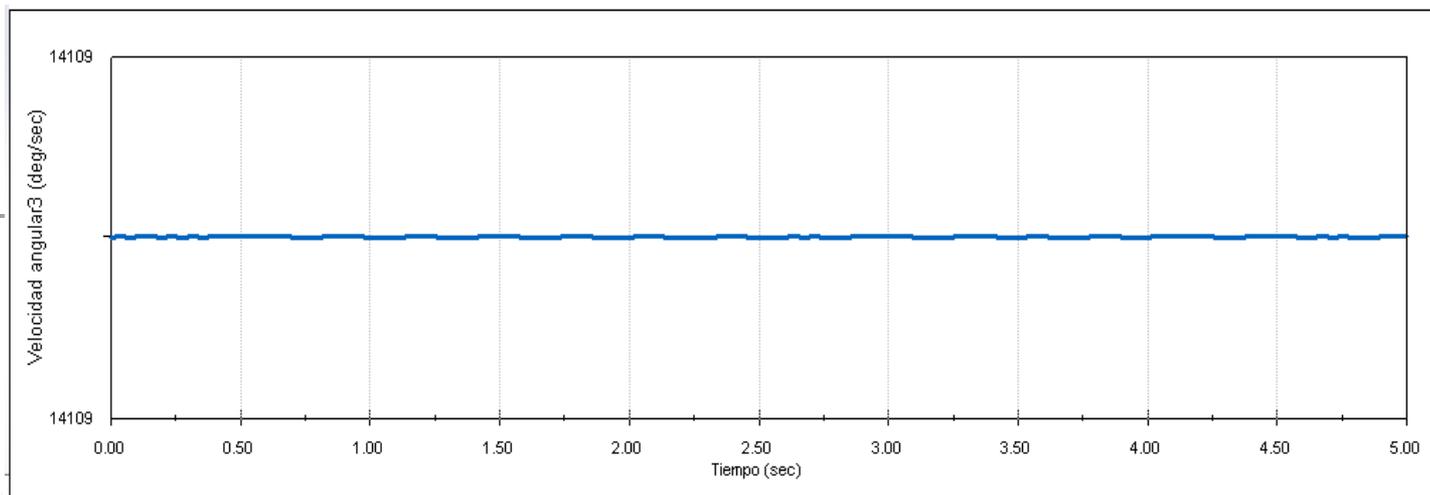


RESULTADOS

Análisis 3: La velocidad crítica del rodillo

- La velocidad crítica del rodillo es 2351.48 *RPM*

Curvas



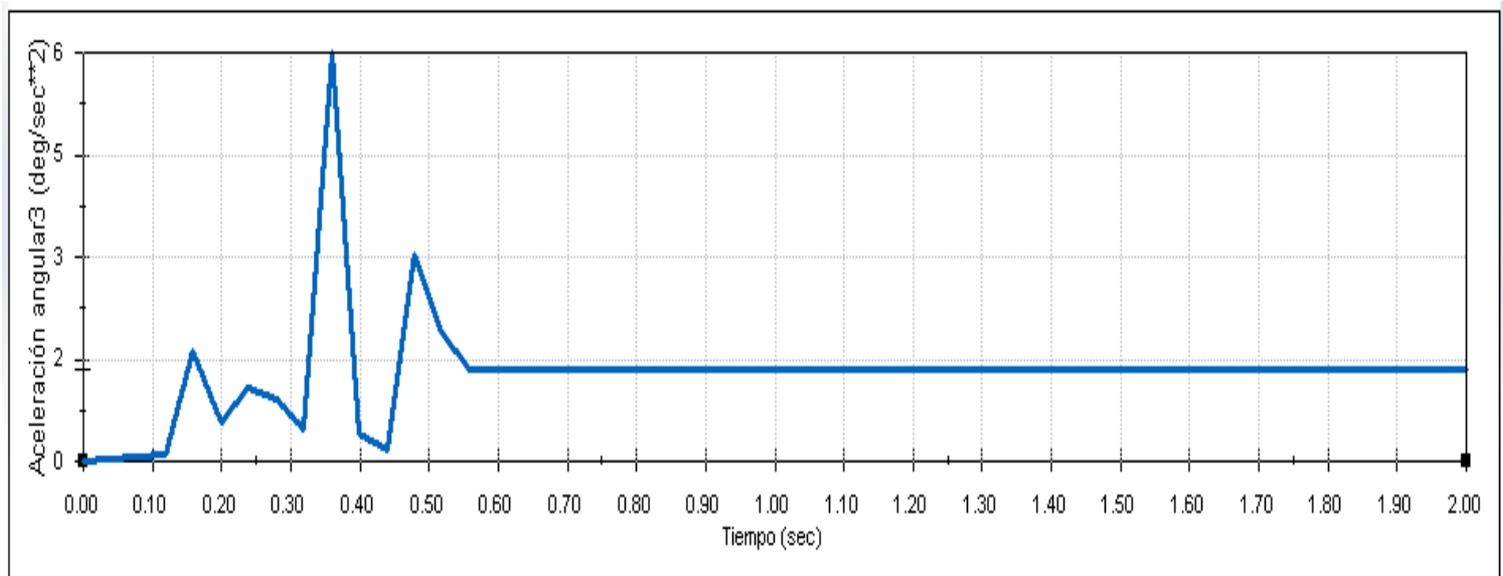
La velocidad crítica del rodillo expresada en 14109 deg/s



RESULTADOS

Curvas

Aceleración



RESULTADOS

Análisis 4: Simulación de carga de camino

Parámetros	
Torque	76.609 Nm
Velocidad	80 km/h

Fuerza/Torsión

✓ ✗

Dirección

Sólo acción
 Acción y reacción

Cara <1>@RODILLO 2-1

Fuerza con respecto a:

Origen del ensamblaje
 Componente seleccionado:

Forzar función

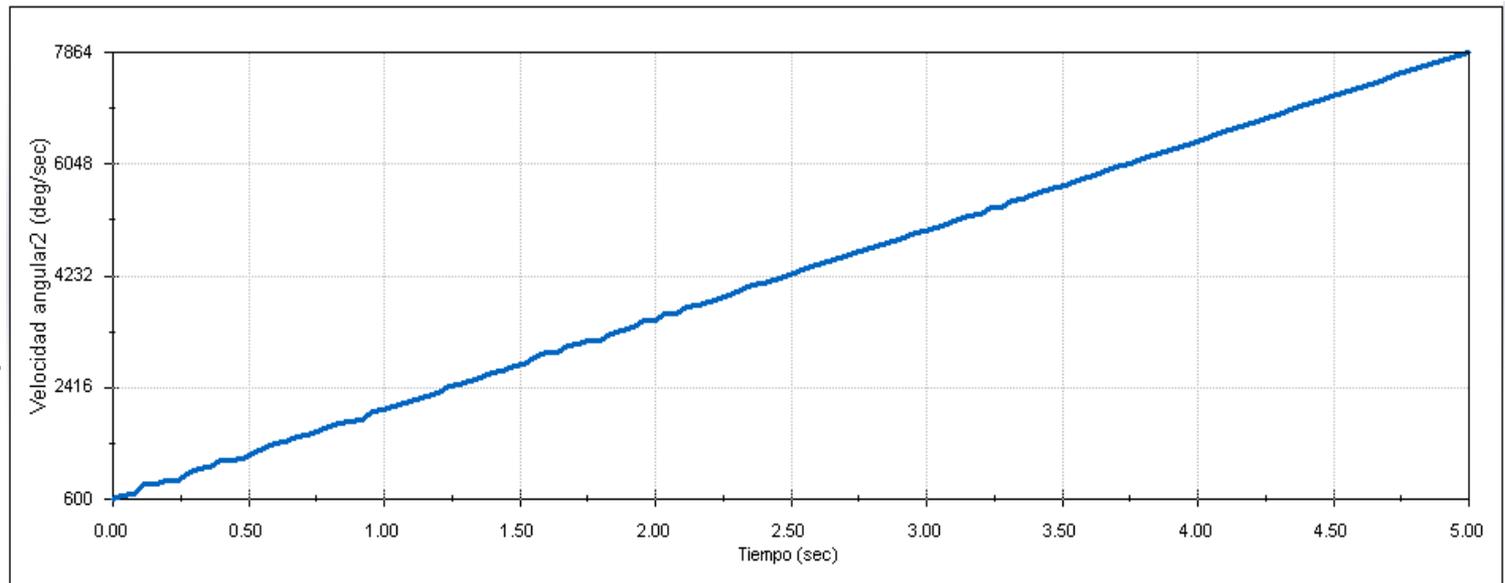
Constante

F1 76609.00 N·mm

RESULTADOS

Curvas

Velocidad angular

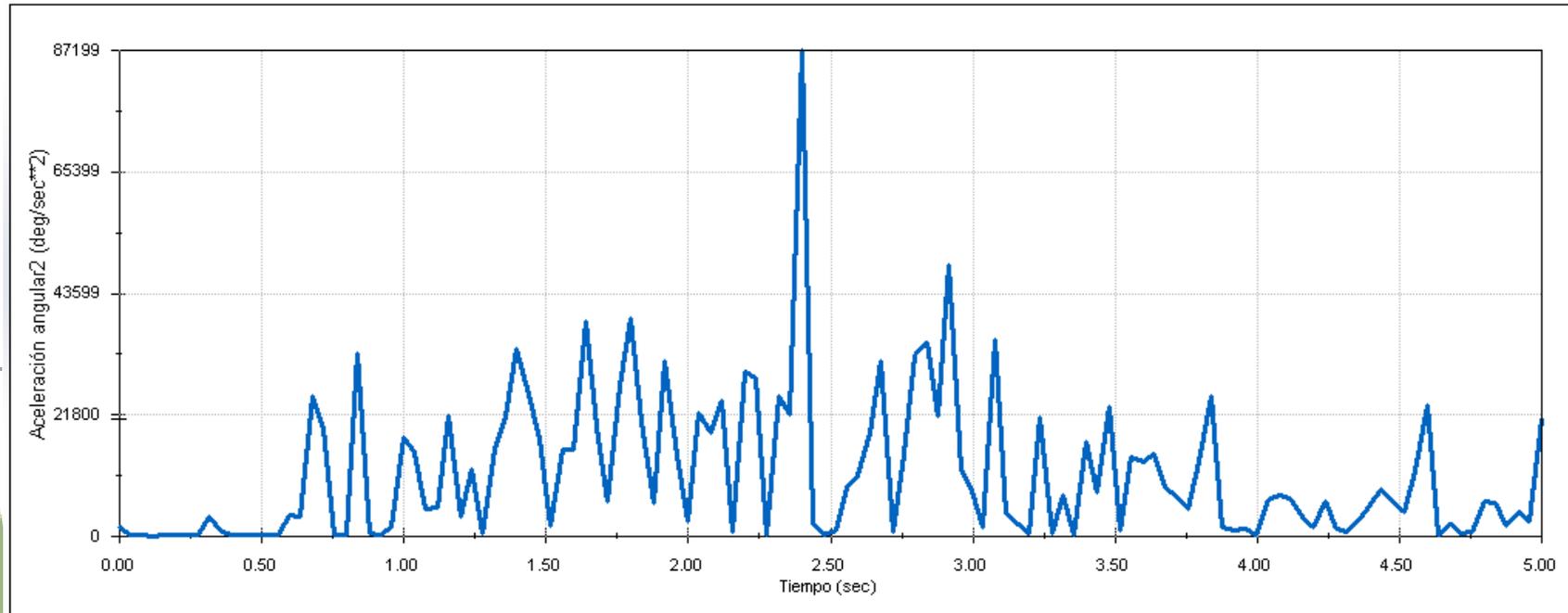




RESULTADOS

Curvas

Aceleración





CONTENIDO

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



CONCLUSIONES

Se realizó el prototipo virtual del dinamómetro de rodillos donde se modeló los distintos elementos móviles y fijos mediante el software de diseño CAD de los cuales se ofrecen los planos. A su vez se realizó el ensamblaje general de los elementos mediante restricciones de movimiento, el mismo que cuenta con sub-ensambles como en el caso de la unidad de absorción de potencia.

Se calculó la velocidad crítica de los rodillos con el fin de evitar llegar a esas condiciones de operación y producir una frecuencia natural del equipo debido a que entra en resonancia o régimen destructivo donde la carga ejercida por el vehículo por pequeña que resulte podría ocasionar amplitudes muy grandes.



CONCLUSIONES

Se determinaron las condiciones de movimiento del dinamómetro donde se tomaron en cuenta las velocidades de operación donde el vehículo alcanza su mayor torque, la velocidad de los neumáticos al usar la quinta marcha de la transmisión del vehículo y las condiciones de carga de camino.

Se realizó el análisis de movimiento del dinamómetro de rodillos utilizando el elemento de motor rotatorio para modelar el movimiento del ensamblaje con el propósito de demostrar el comportamiento de los elementos móviles al estar en funcionamiento.



CONTENIDO

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



RECOMENDACIONES

Asegurarse que la computadora cuente con los recursos necesarios para evitar problemas al momento de realizar el ensamblaje general, puesto que al implementar varios elementos y sub-ensambles existe interferencia con el correcto funcionamiento del software de simulación CAD y menor tiempo de respuesta al realizar el análisis de movimiento.

Se recomienda realizar correctamente el diseño del rodillo con la justificación fundamentada y comprobada con métodos analíticos de ingeniería puesto que de esto depende el dimensionamiento de los demás componentes que conforman el rodillo.



RECOMENDACIONES

Es importante la implementación y prueba en un futuro del prototipo con el fin de verificar el comportamiento al momento de su funcionamiento, con esto se podrá realizar las calibraciones pertinentes con el sistema de adquisición de datos y optimización del diseño presentado.

Si se requiere un análisis de movimiento donde los parámetros de velocidad sean variables se recomienda hacer uso de otro software de simulación ya que el utilizado en este proyecto solo permite establecer velocidad constante en el motor rotatorio implementado para la simulación de movimiento del dinamómetro de rodillos

**GRACIAS
POR SU
ATENCIÓN**