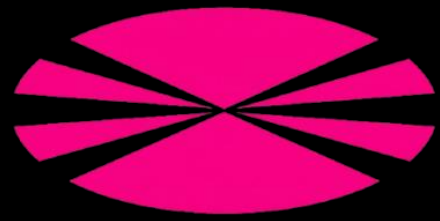
texas

controls

texas

controls



UNIVERSIDADE
DA CORUÑA

texas
controls

UNIVERSIDADE
DA CORUÑA

Mario
Fernández Rodríguez

texas
controls

UNIVERSIDADE
DA CORUÑA

Mario
Fernández Rodríguez

Diseño y Estudio de Viabilidad de una Reductora Cicloidal para herramientas de apriete industrial

HERRAMIENTAS de APRIETE INDUSTRIAL

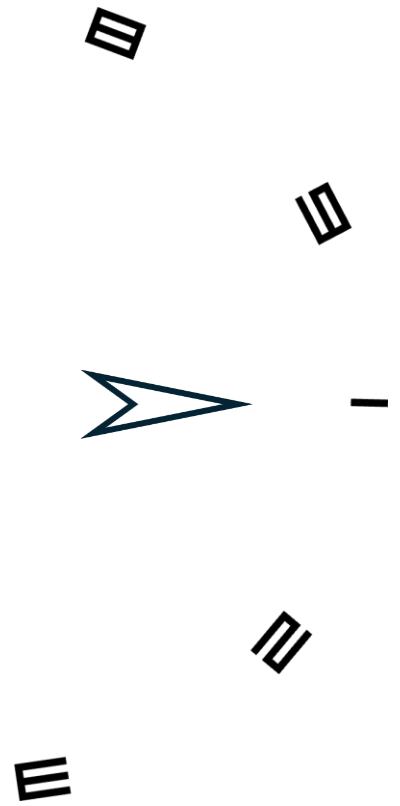
¿Qué son?

Soluciones Actuales

Aplicación

texas
controls

HERRAMIENTAS de APRIETE INDUSTRIAL



¿Qué son?

¿Qué son?

¿Qué son?

Fuente de alimentación

Brazo de Reacción

Reductora

Socket

¿Qué son?

Fuente de alimentación

Brazo de Reacción

Reductora

Socket

¿Qué son?

Fuente de alimentación

Brazo de Reacción

Reductora

Socket

¿Qué son?

Fuente de alimentación

Brazo de Reacción

Reductora

Socket

texas
controls

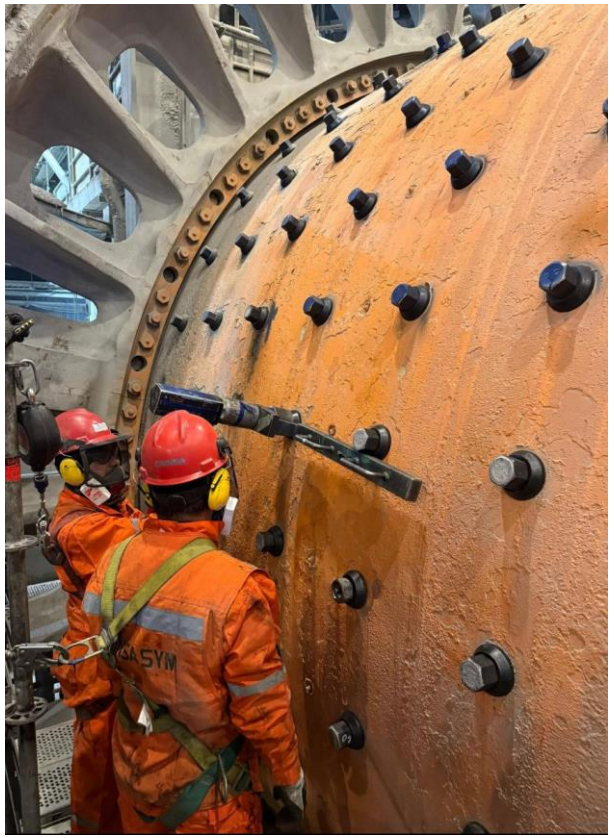
HERRAMIENTAS de APRIETE
INDUSTRIAL

Aplicación

Aplicación

La aplicación principal es el apriete en sistemas eólicos y, en general, en grandes estructuras metálicas.

- Entornos extremos de trabajo
- Precisión obligatoria
- Un fallo = consecuencias graves



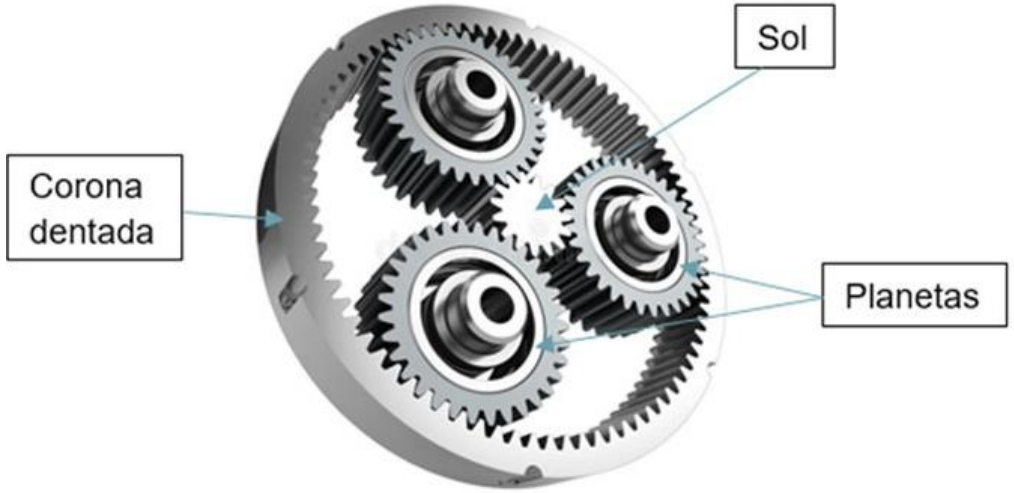
texas
controls

HERRAMIENTAS de APRIETE INDUSTRIAL

Soluciones Actuales

Soluciones Actuales

Reductora Planetaria a estudiar 4000 Nm



3 Etapas

Soluciones Actuales

Transmisión Cicloidal

Soluciones Actuales

Transmisión Cicloidal

- Contacto múltiple (mejor reparto de cargas)
- Alta capacidad de par en volumen reducido
- Mínimo juego angular
- Gran resistencia a sobrecargas
- Robusta a vibraciones, impactos o polvo
- Fabricación interna viable en CNC

ESTUDIO CICLOIDAL

Requisitos de Diseño

Fundamentos Transmisión

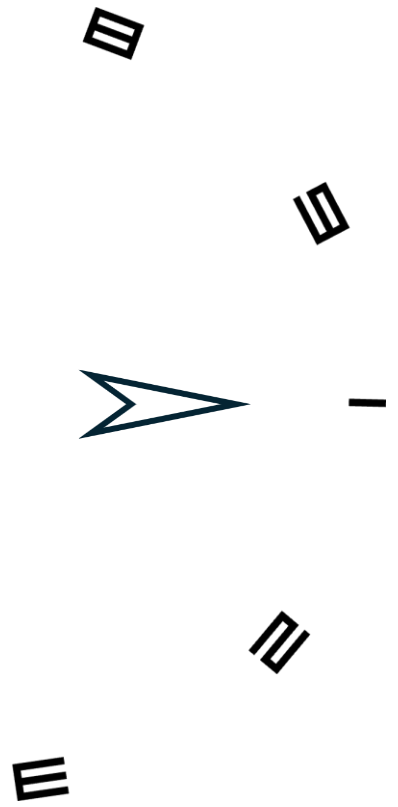
Metodología y Desarrollo

Modelo 3D

Resultados

texas
controls

ESTUDIO CICLOIDAL



Requisitos de Diseño

Requisitos de Diseño

Estudios Previos

R1	Relación de transmisión	1:517
R2	Par máximo en salida	4067 Nm
R3	Error de Transmisión	<1º

Requisitos de Diseño

Estudios Previos

Entorno aplicación

R1	Relación de transmisión	1:517
R2	Par máximo en salida	4067 Nm
R3	Error de Transmisión	<1º
R4	Diámetro exterior de la reductora	Ø90 mm
R5	Longitud total de la reductora	100 mm
R6	Peso de la reductora	5 kg

Requisitos de Diseño

Estudios Previos

Entorno aplicación

Elementos mecánicos

R1	Relación de transmisión	1:517
R2	Par máximo en salida	4067 Nm
R3	Error de Transmisión	<1º
R4	Diámetro exterior de la reductora	Ø90 mm
R5	Longitud total de la reductora	100 mm
R6	Peso de la reductora	5 kg
R7	Adaptabilidad	

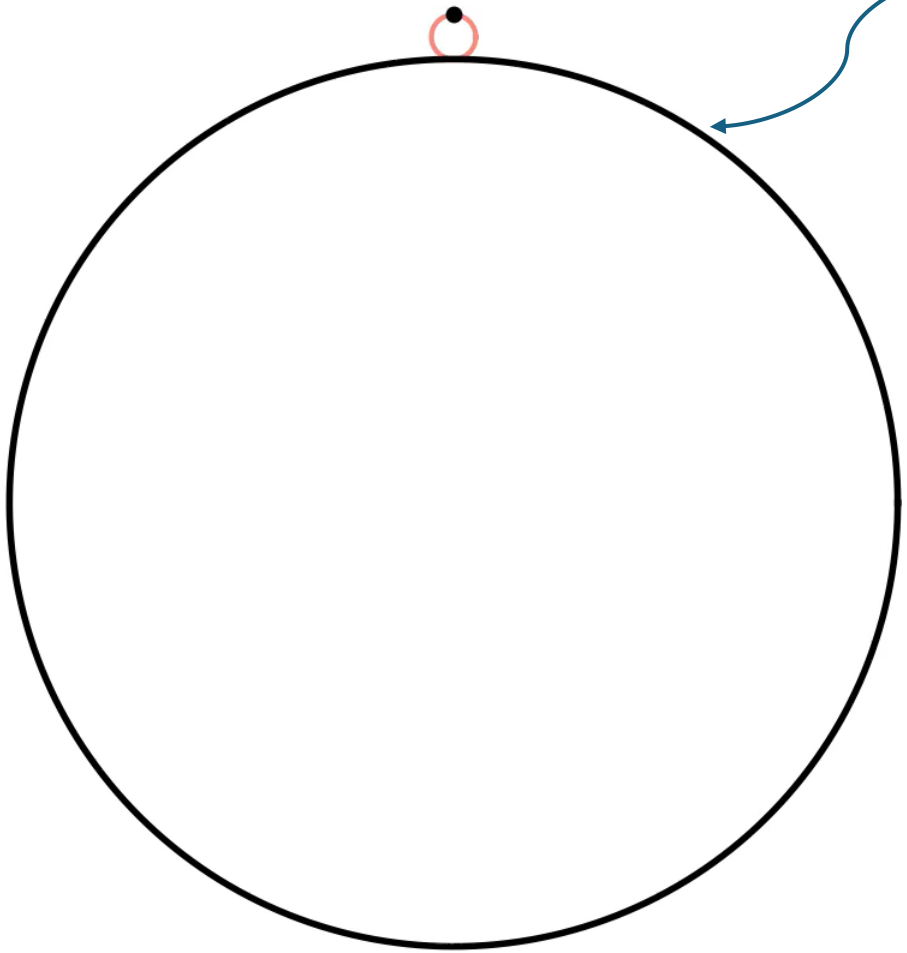
texas
controls

ESTUDIO CICLOIDAL

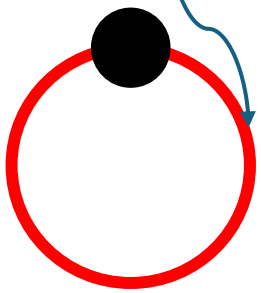
Fundamentos

Fundamentos

Epicicloide



Circunferencia generadora

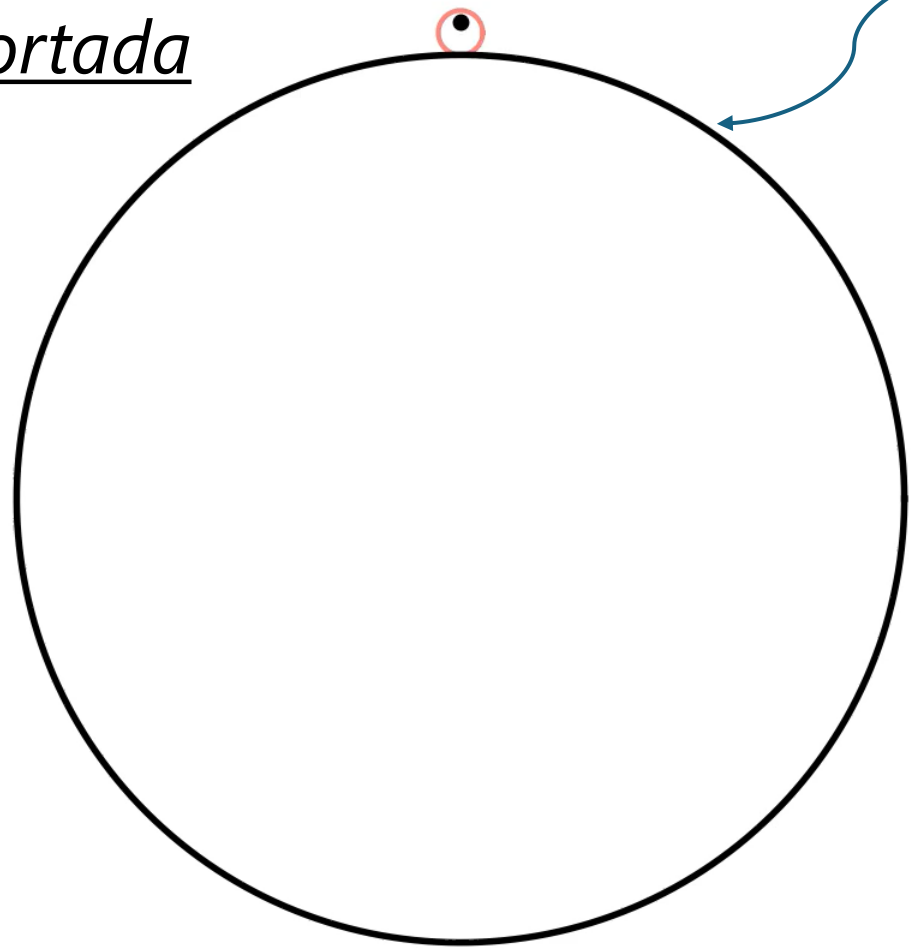


$a = r_{generadora}$

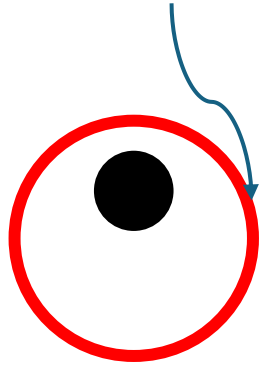
*a = excentricidad

Fundamentos

Epicicloide acortada



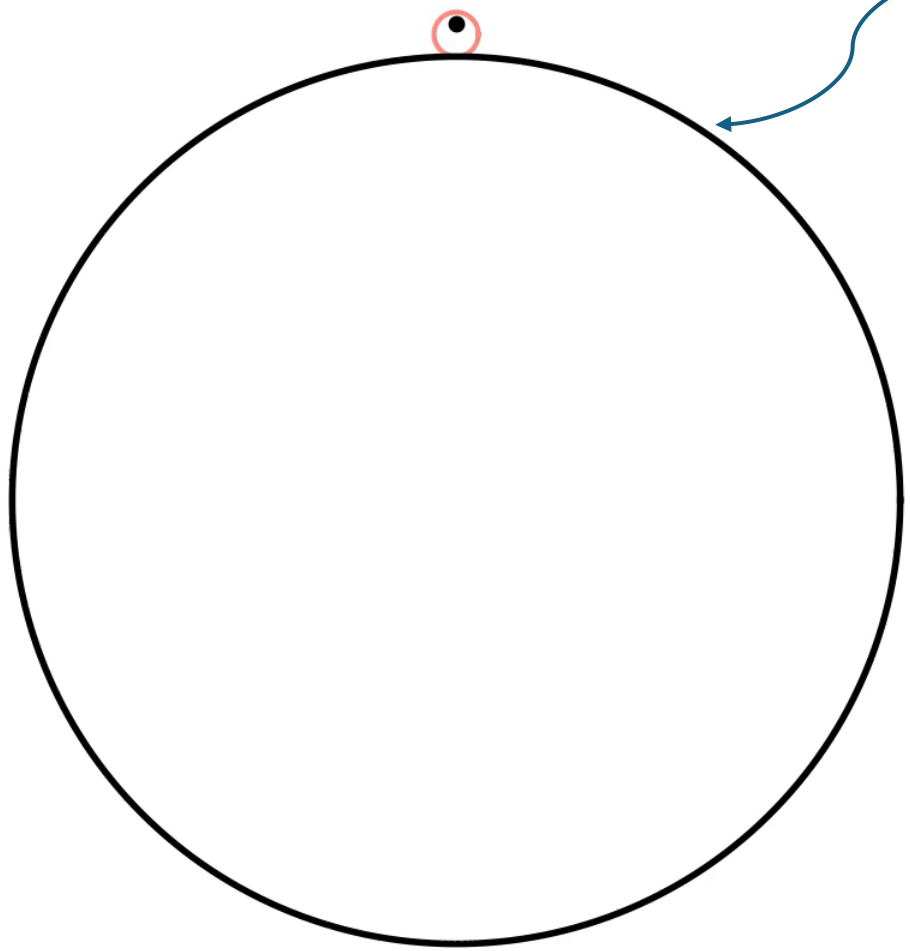
Circunferencia generadora



$a < r_{generadora}$

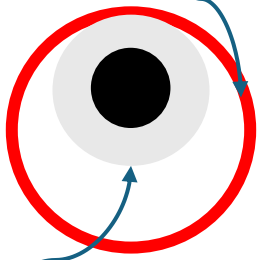
*a = excentricidad

Fundamentos



Circunferencia guía

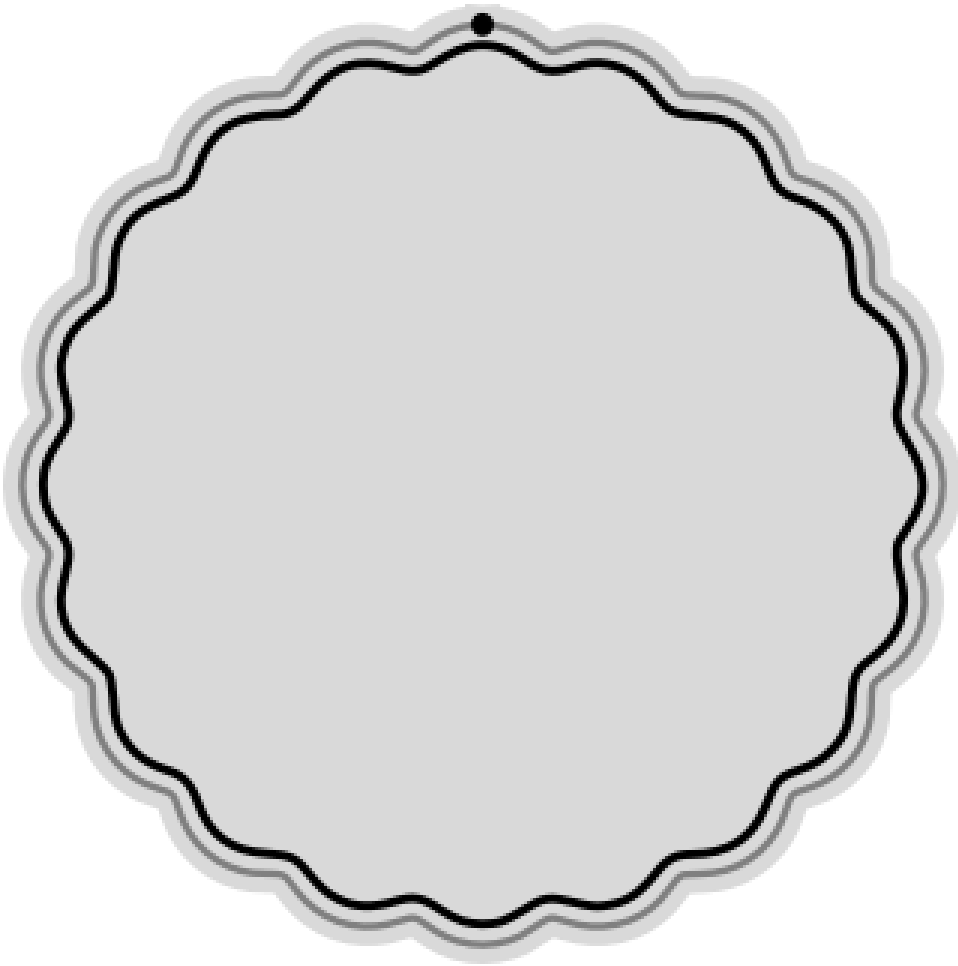
Circunferencia generadora



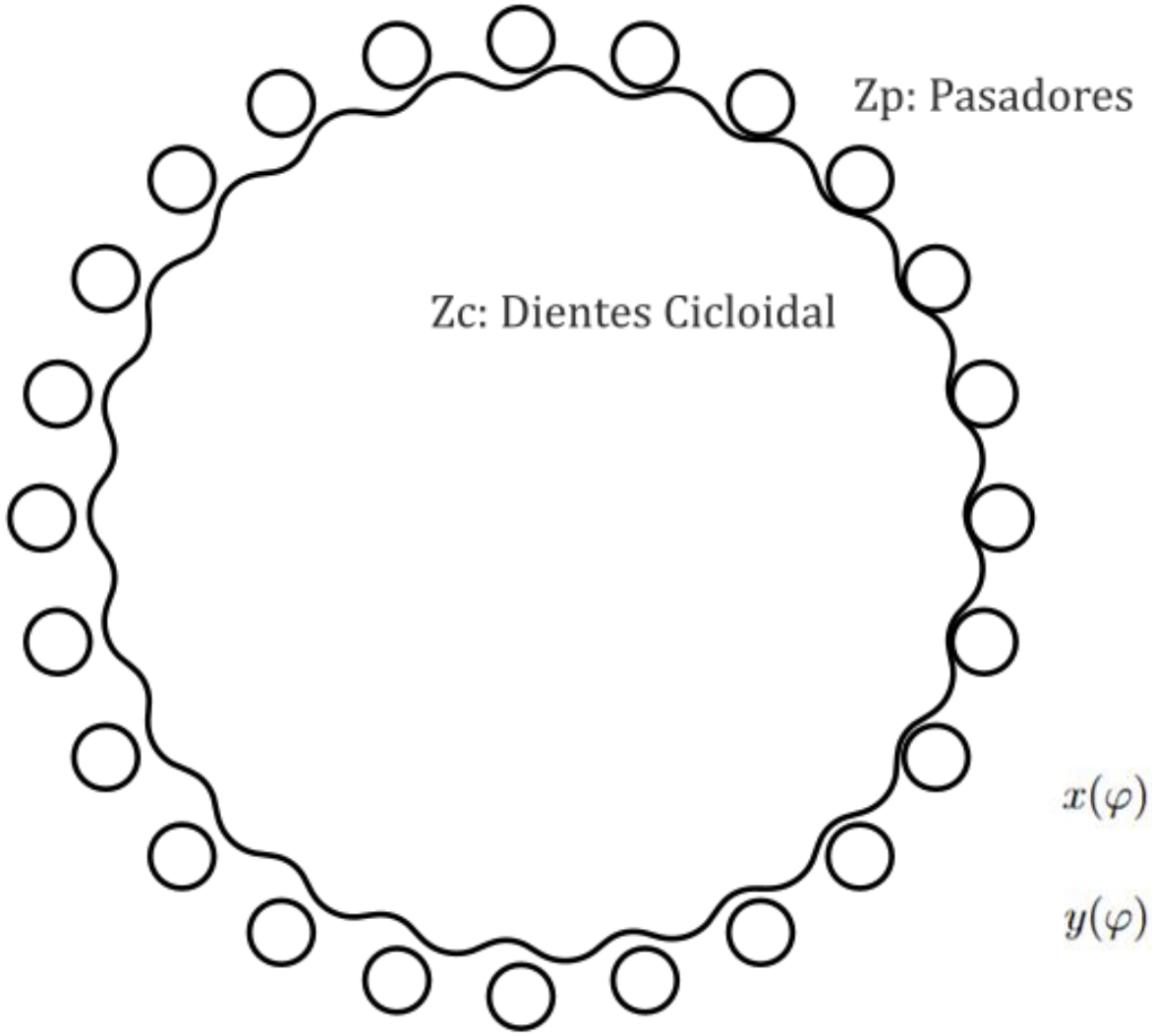
Huella fresadora

$a < r_{generadora}$

Disco cicloidal



Fundamentos



Relación Dientes - Pasadores

$$z_c = z_p - 1$$

Relación Transmisión

$$i = \frac{z_c}{z_p - z_c}$$

Expresión Paramétrica del Disco

$$x(\varphi) = \left(r_p - \frac{r_{rp}}{s(\varphi)}\right)\cos\left((1 - i_H)\varphi\right) - \left(a - \frac{k_1 r_{rp}}{s(\varphi)}\right)\cos(i_H\varphi)$$

$$y(\varphi) = \left(r_p - \frac{r_{rp}}{s(\varphi)}\right)\sin\left((1 - i_H)\varphi\right) + \left(a - \frac{k_1 r_{rp}}{s(\varphi)}\right)\sin(i_H\varphi)$$

texas
controls

ESTUDIO CICLOIDAL

Metodología y Desarrollo

Metodología y Desarrollo

Parámetros de Diseño

1. Número z_p

2. Diámetro r_{rp}

→ Pasadores

3. Restricciones

Metodología y Desarrollo

Parámetros de Diseño

1. Número z_p

2. Diámetro r_{rp}

Pasadores

3. Restricciones

Pasos adoptados

Optimización

- Simple
- Multiobjetivo

Simulación Cinemática

Cálculo de Esfuerzos y N.º Contactos

Metodología y Desarrollo

Parámetros de Diseño

1. Número z_p

2. Diámetro r_{rp}

→ Pasadores

3. Restricciones

Pasos adoptados

Optimización

- Simple
- Multiobjetivo

Simulación Cinemática

Cálculo de Esfuerzos y N.º Contactos

Disco Cicloidal Optimizado

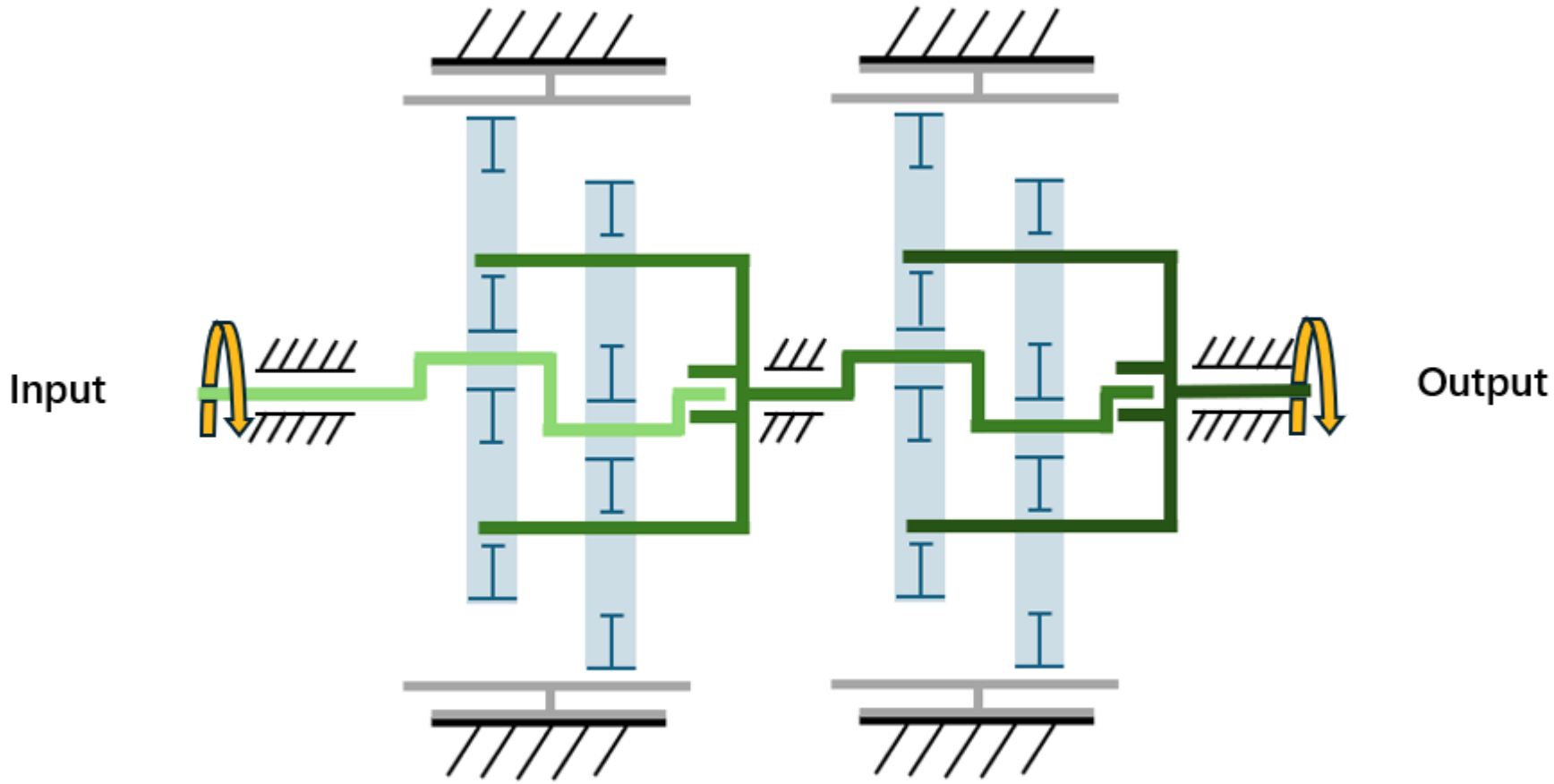
Metodología y Desarrollo

Parámetros de Diseño – N.º de Pasadores

$$Zp = 24 \longrightarrow Zc = Zp - 1 = 23$$

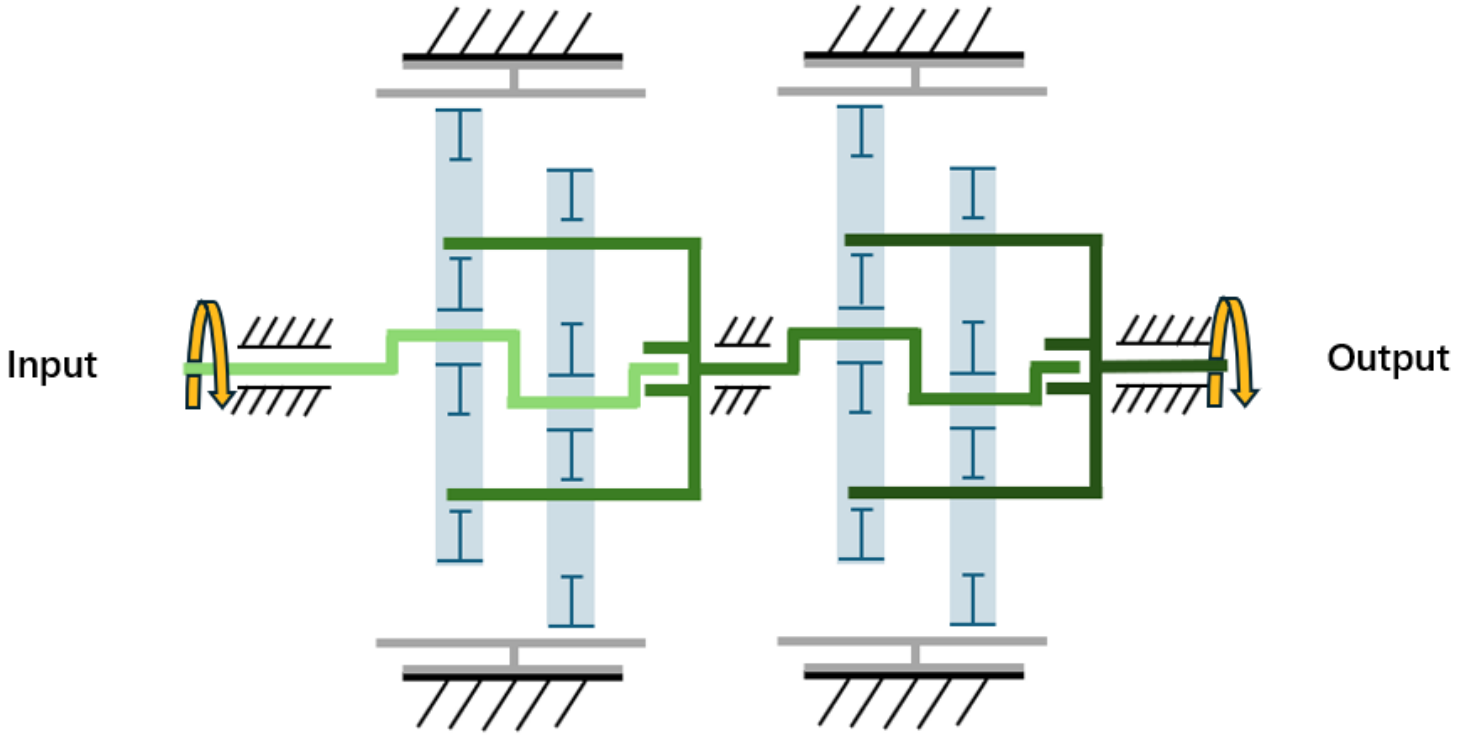
Metodología y Desarrollo

Parámetros de Diseño – N.º de Pasadores $Zp = 24$



Metodología y Desarrollo

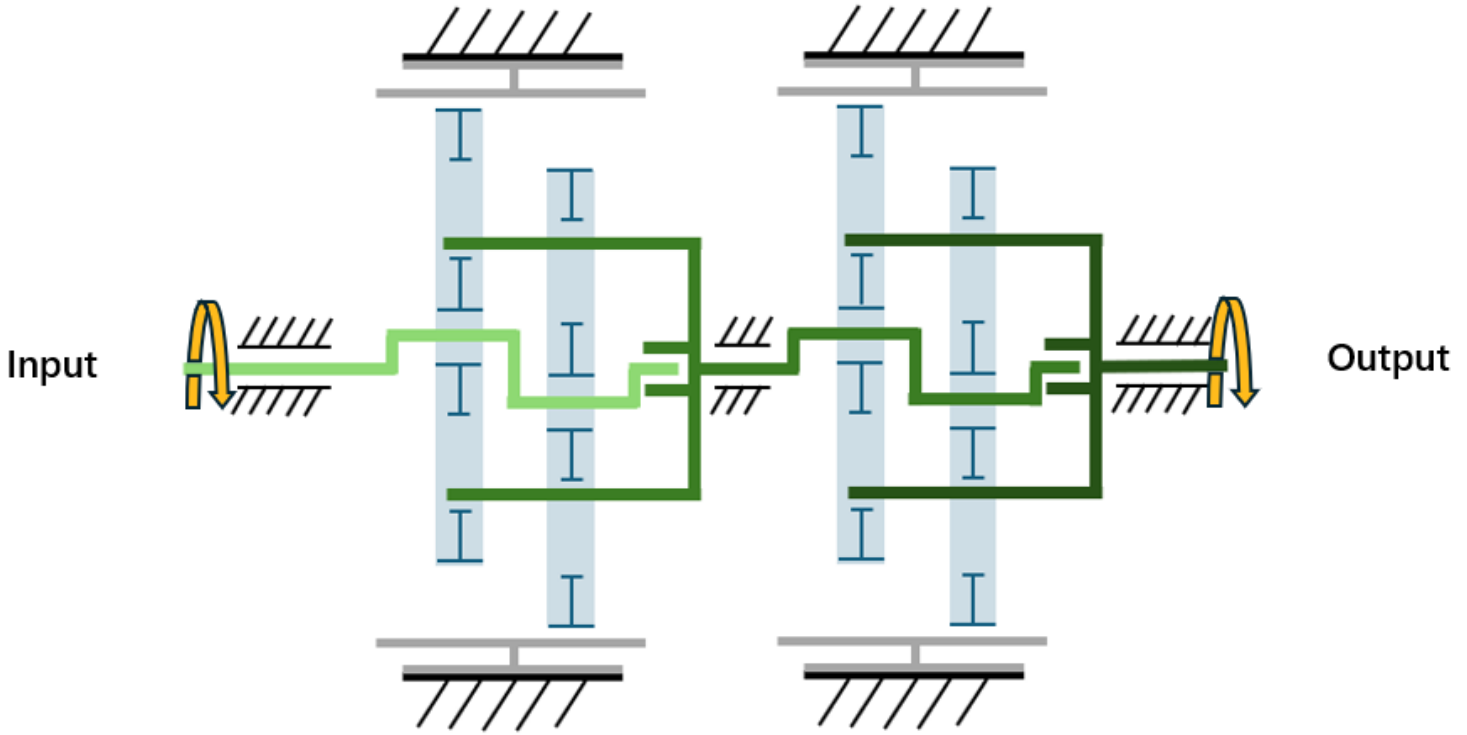
Parámetros de Diseño – N.º de Pasadores $Zp = 24$



$$i_{\text{total}} = i_1 \cdot i_2 = \frac{z_c}{z_p - z_c} \cdot \frac{z_c}{z_p - z_c} = \left(\frac{23}{1}\right)^2 = 529$$

Metodología y Desarrollo

Parámetros de Diseño – N.º de Pasadores $Zp = 24$



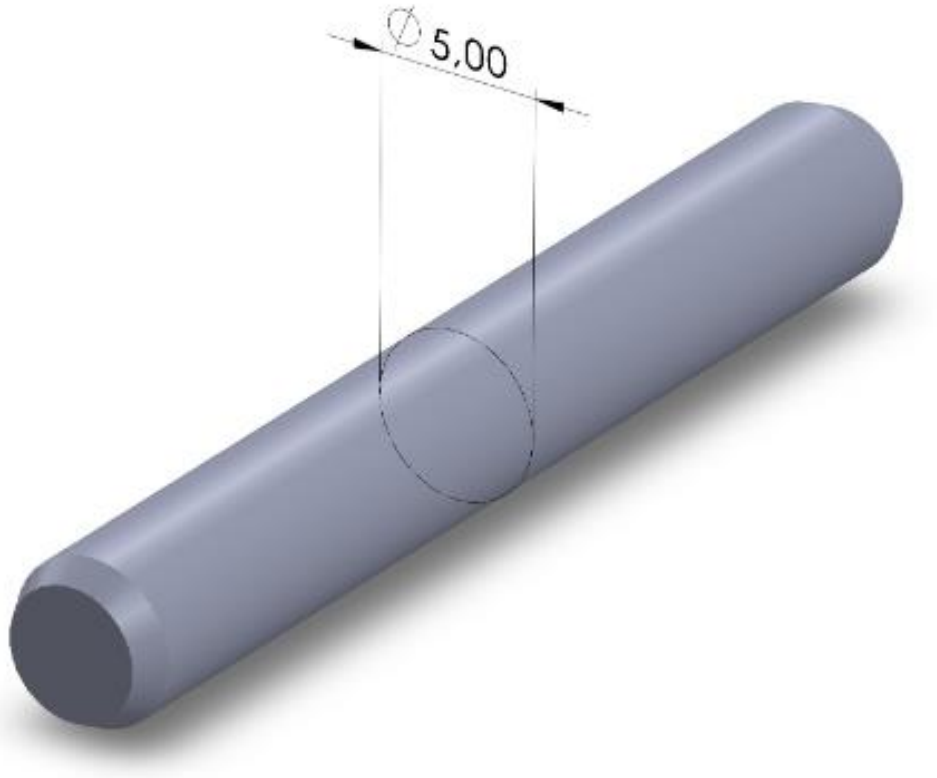
$$i_{\text{total}} = i_1 \cdot i_2 = \frac{z_c}{z_p - z_c} \cdot \frac{z_c}{z_p - z_c} = \left(\frac{23}{1}\right)^2 = 529$$

R1

(1:517)

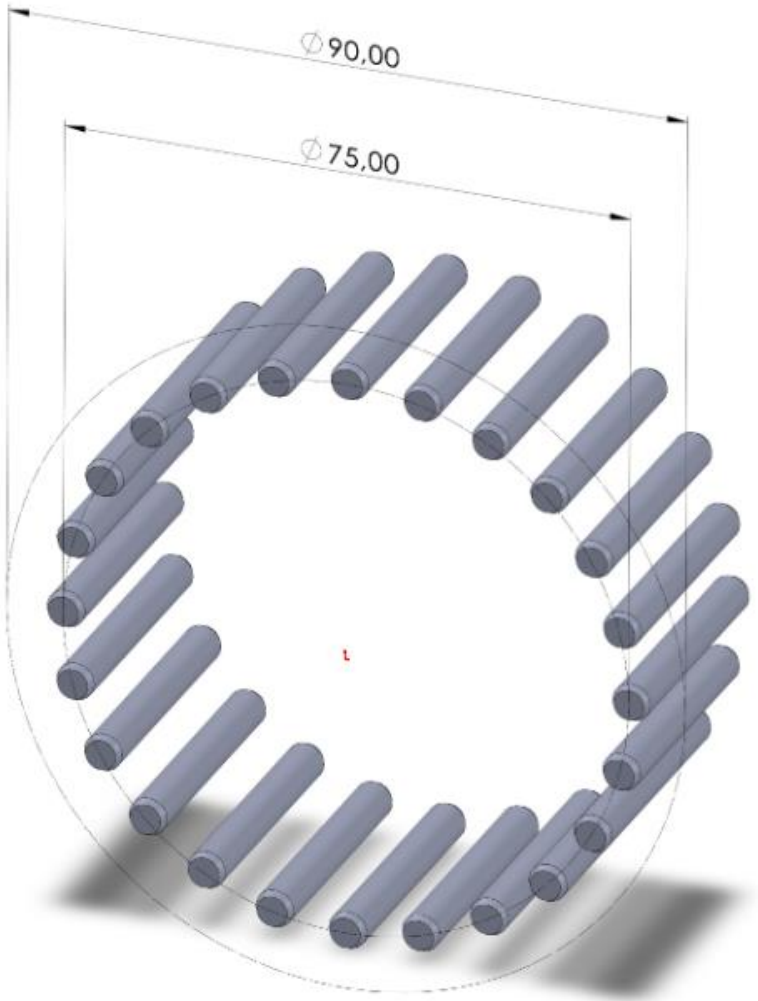
Metodología y Desarrollo

Parámetros de Diseño – Ø de Pasadores



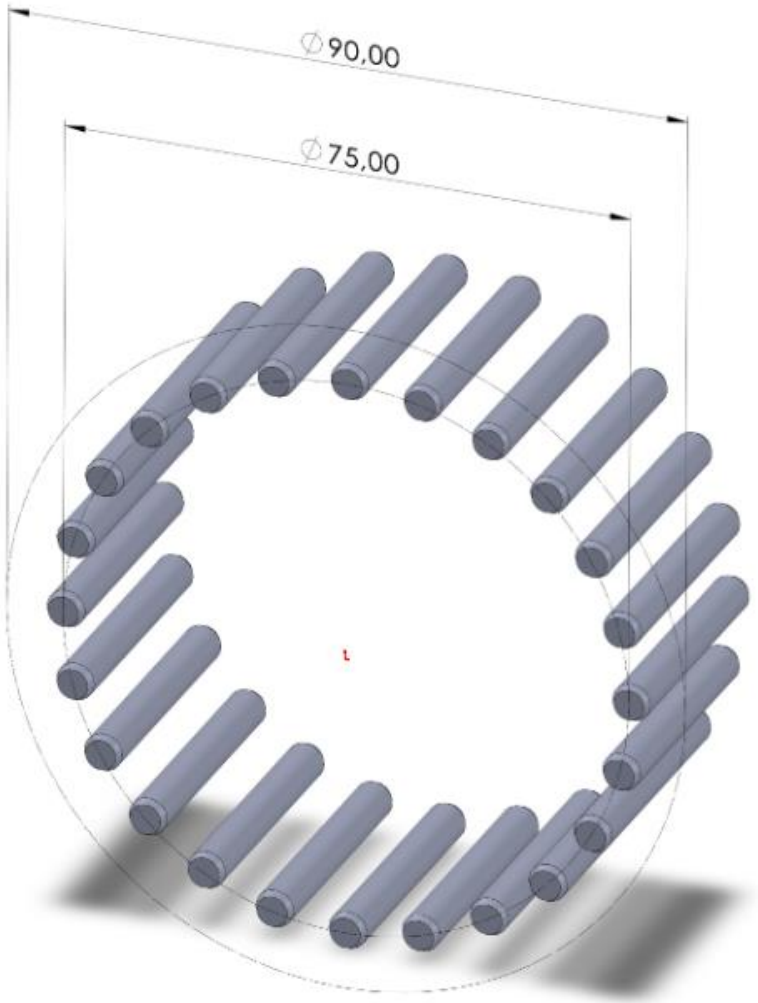
Metodología y Desarrollo

Restricciones - Ø Posición Pasadores



Metodología y Desarrollo

Restricciones - Ø Posición Pasadores



R4

Ø90 mm

Metodología y Desarrollo

Parámetros de Diseño – Cálculo excentricidad

$k_1' = 0{,}7317$ *Coef. auxiliar asociado a la excentricidad*

** Dato obtenido de Song*

$$\boldsymbol{a} = k_1' \cdot \frac{r_p}{z_p} = 0{,}7317 \cdot \frac{37{,}5}{24} = \mathbf{1{,}143}\ \mathrm{mm}$$

Metodología y Desarrollo

Optimización

Optimización Simple

Optimización Multiobjetivo

Metodología y Desarrollo

Optimización Simple

→ Error cuadrático medio entre perfiles

$$f_1(\Delta r_p, \Delta r_{rp}) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\sqrt{[x_1(\varphi_i) - x_2(\varphi_i)]^2 + [y_1(\varphi_i) - y_2(\varphi_i)]^2}$$

Corrección en el radio de la circunferencia guía

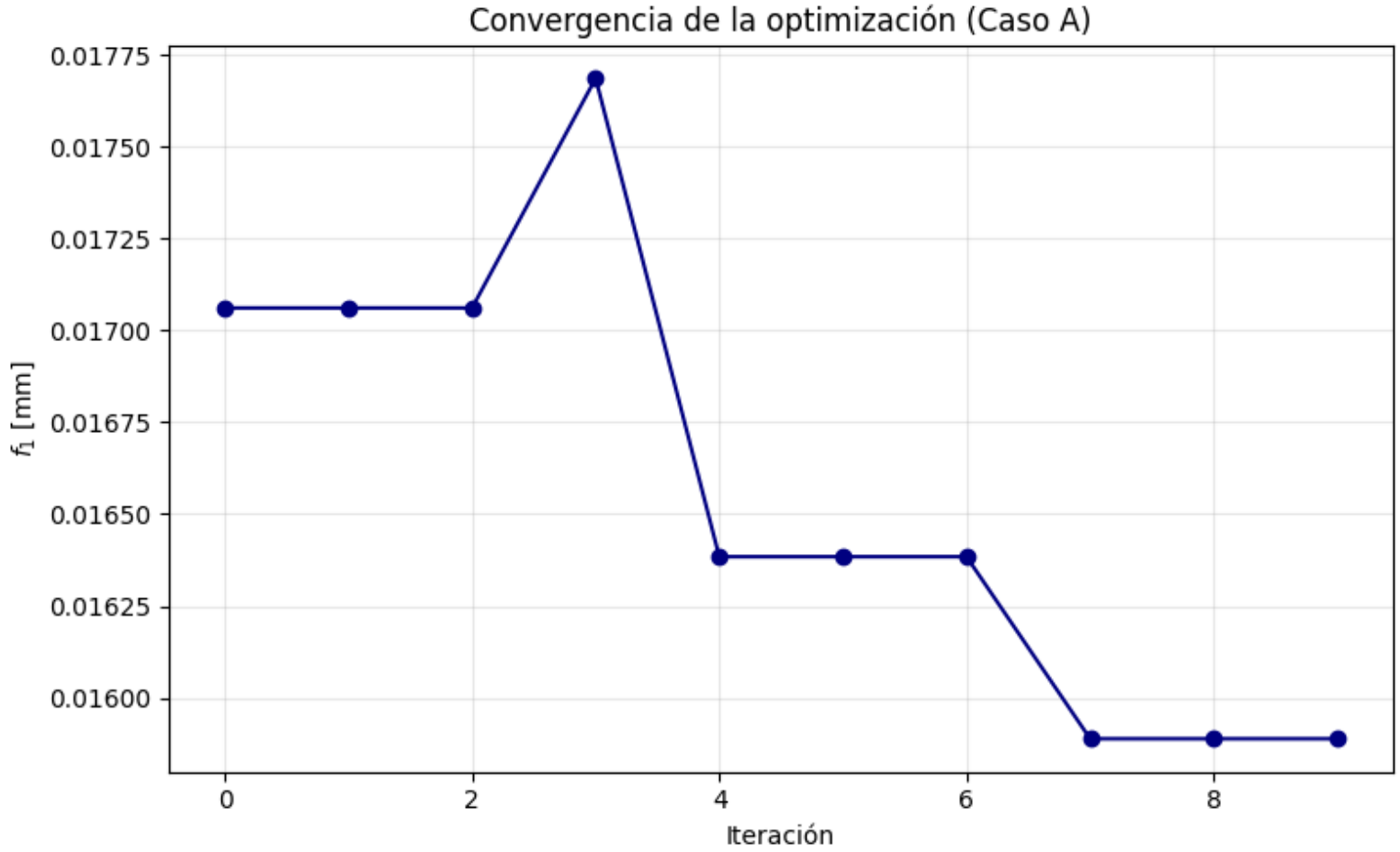
Corrección en el radio del pasador

$x_1, y_1(\varphi_i, \Delta r_p, \Delta r_{rp})$

$x_2, y_2(\varphi_i, \delta)$

Metodología y Desarrollo

Optimización Simple



Metodología y Desarrollo

Optimización Simple

Parámetro	Descripción	Valor óptimo
Δr_p	Corrección en el radio de la circunferencia guía	-0,00001 mm
Δr_{rp}	Corrección en el radio del pasador	-0,00501 mm
f_1	Error cuadrático medio entre los perfiles	-0,015888

Metodología y Desarrollo

Optimización Multiobjetivo

Es la optimización de:

- Error cuadrático medio entre perfiles *f1*
- Error máximo de transmisión *f2*

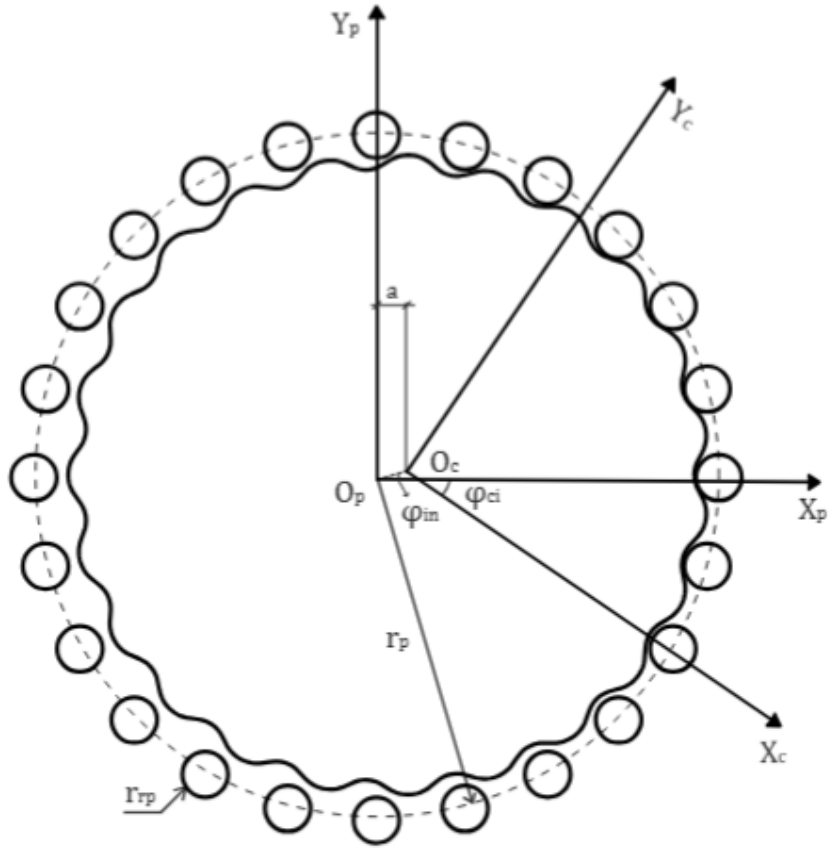
Metodología y Desarrollo

Optimización Multiobjetivo

Es la optimización de:

- Error cuadrático medio entre perfiles *f1*
- Error máximo de transmisión *f2*

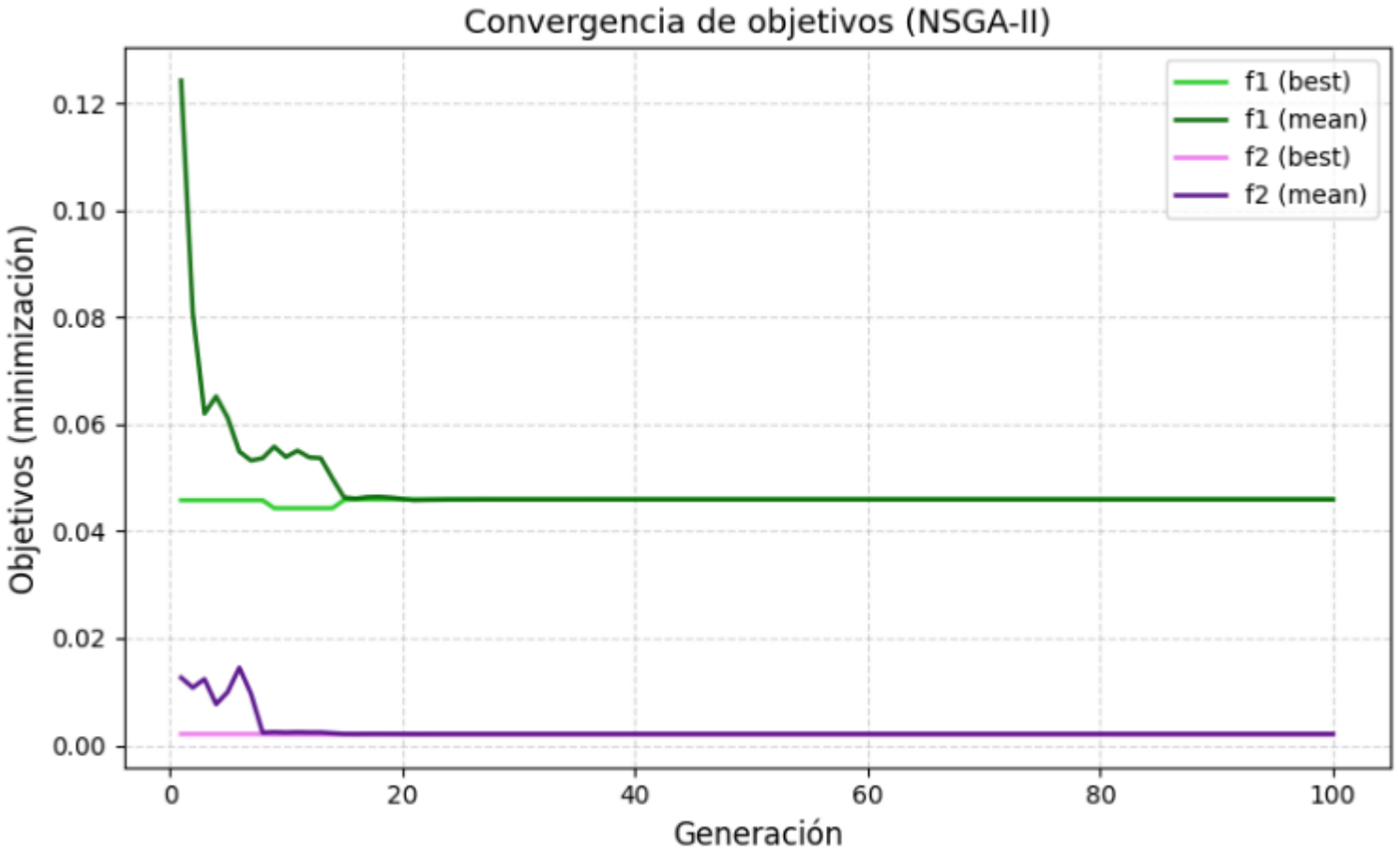
$$f_2 = \max_{\varphi_{in} \in [0,2\pi]} \left| TE(\varphi_{in}) \right|.$$



$$\begin{cases} \boldsymbol{TE(\varphi_{in}) = \varphi_{ci}(\varphi_{in}) - \varphi_{in}/i} \\ \begin{cases} \mathbf{R}_c^p(\varphi, \varphi_{in}, \varphi_{ci}) = \mathbf{R}_p(\theta_{pi}) \\ \mathbf{n}_c^p(\varphi, \varphi_{in}, \varphi_{ci}) = \mathbf{n}_p(\theta_{pi}) \end{cases} \end{cases}$$

Metodología y Desarrollo

Optimización Multiobjetivo



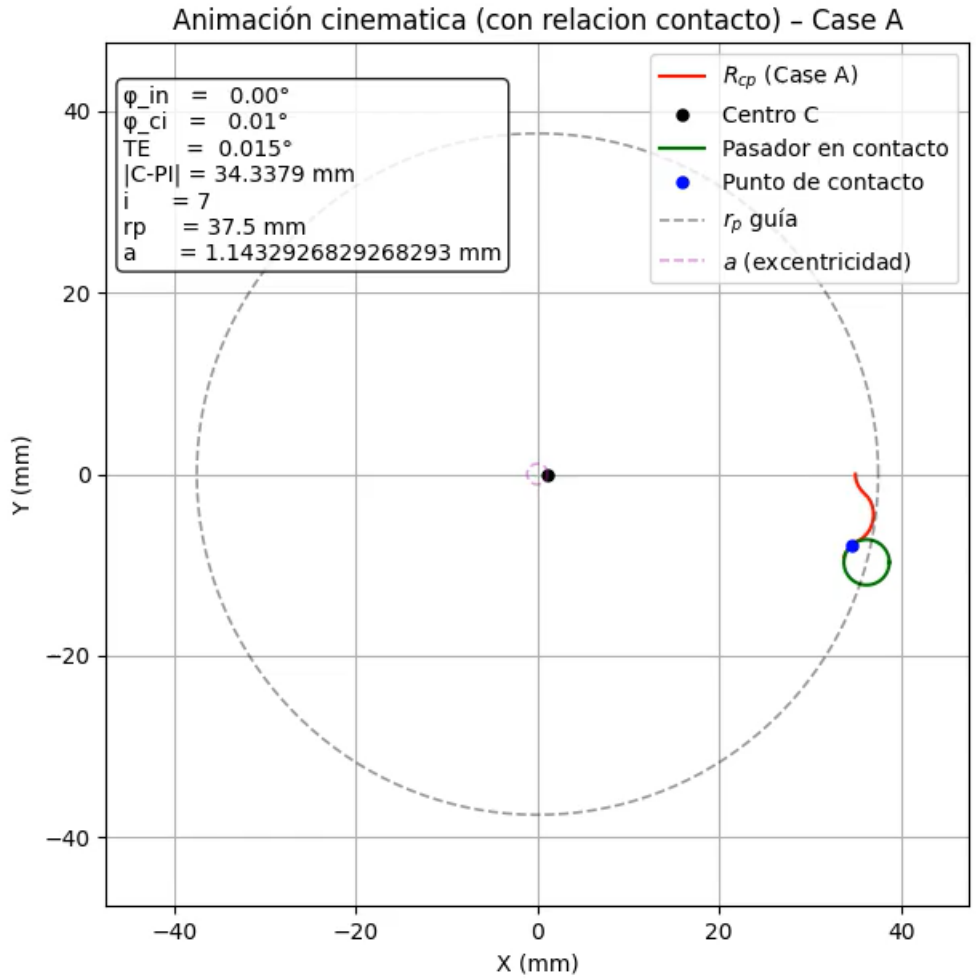
Metodología y Desarrollo

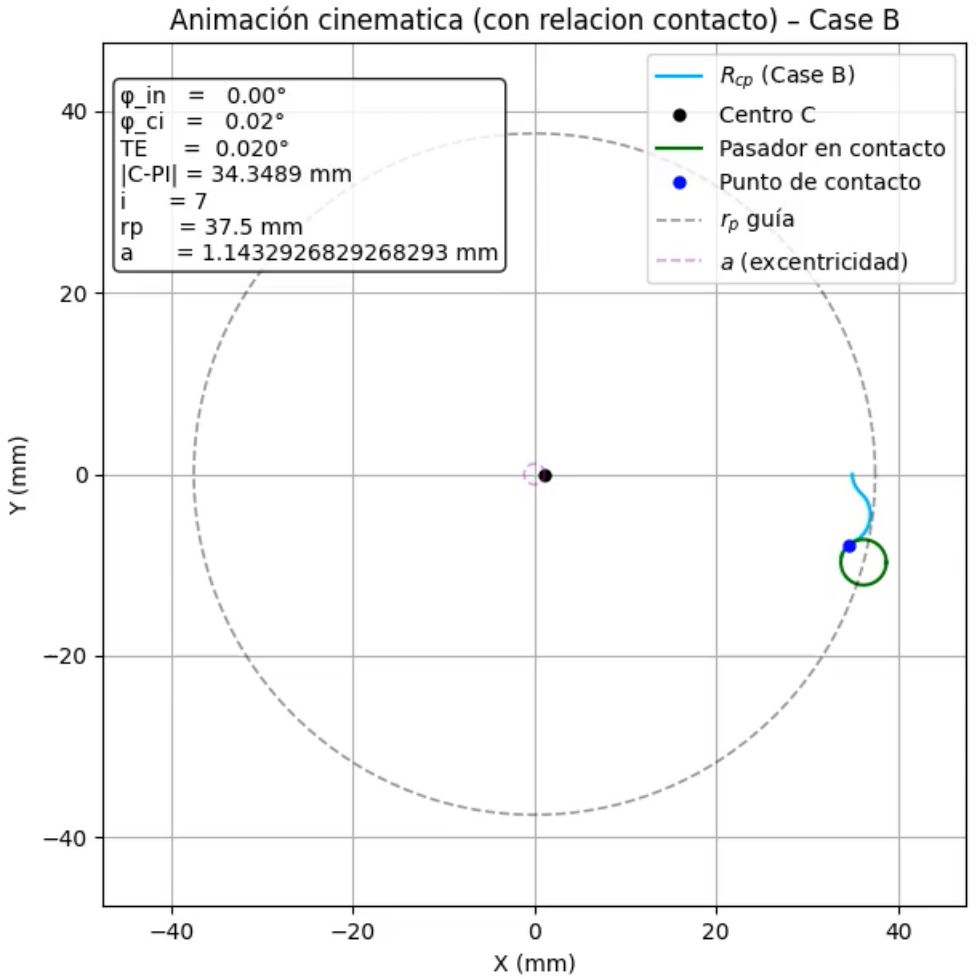
Optimización Multiobjetivo

Parámetro	Descripción	Valor óptimo
Δr_p	Corrección en el radio de la circunferencia guía	-0,001325 mm
Δr_{rp}	Corrección en el radio del pasador	-0,005711 mm
f_1	Error cuadrático medio entre perfiles	0,0016171
f_2	Error máximo de transmisión	0,00034

Metodología y Desarrollo

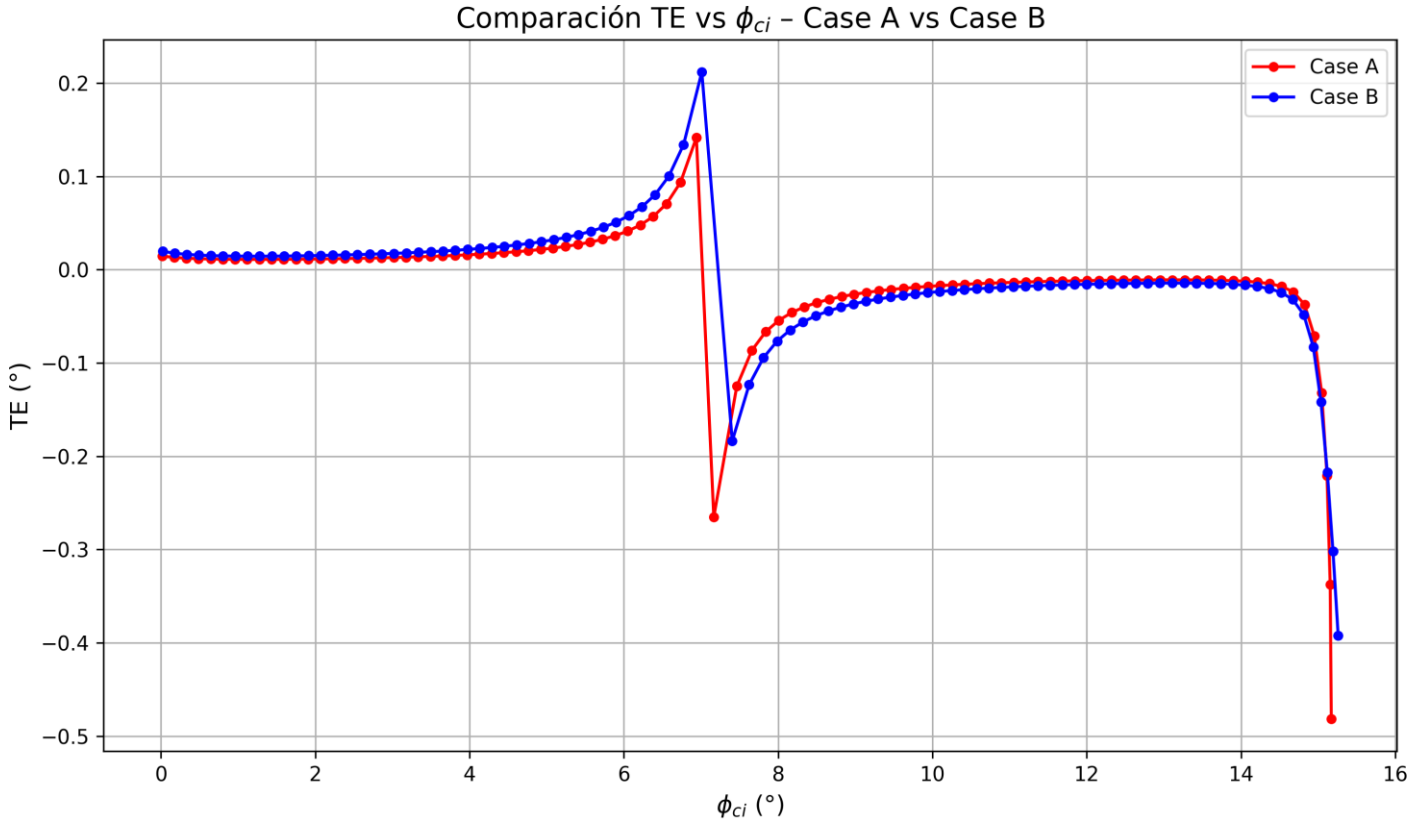
Simulación Cinemática





Metodología y Desarrollo

Simulación Cinemática



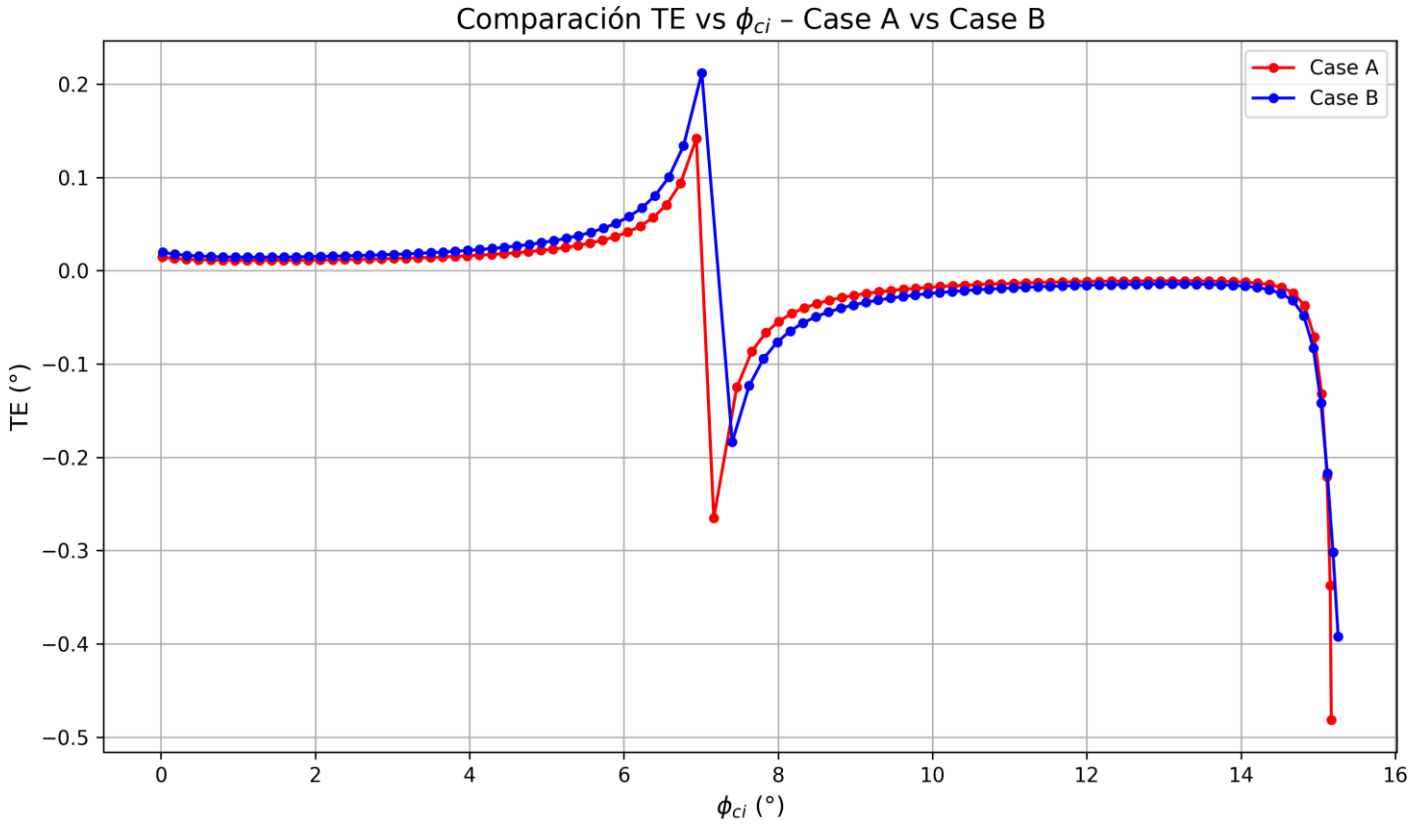
Reducción del
18,54% de la TE

Optimización simple: $|TE_{\text{máx}}| = 0{,}4816°$.

Optimización multiobjetivo: $|TE_{\text{máx}}| = 0{,}3923°$.

Metodología y Desarrollo

Simulación Cinemática



Reducción del **18,54%** de la TE

Optimización simple: $|TE_{\text{máx}}| = 0{,}4816°$.

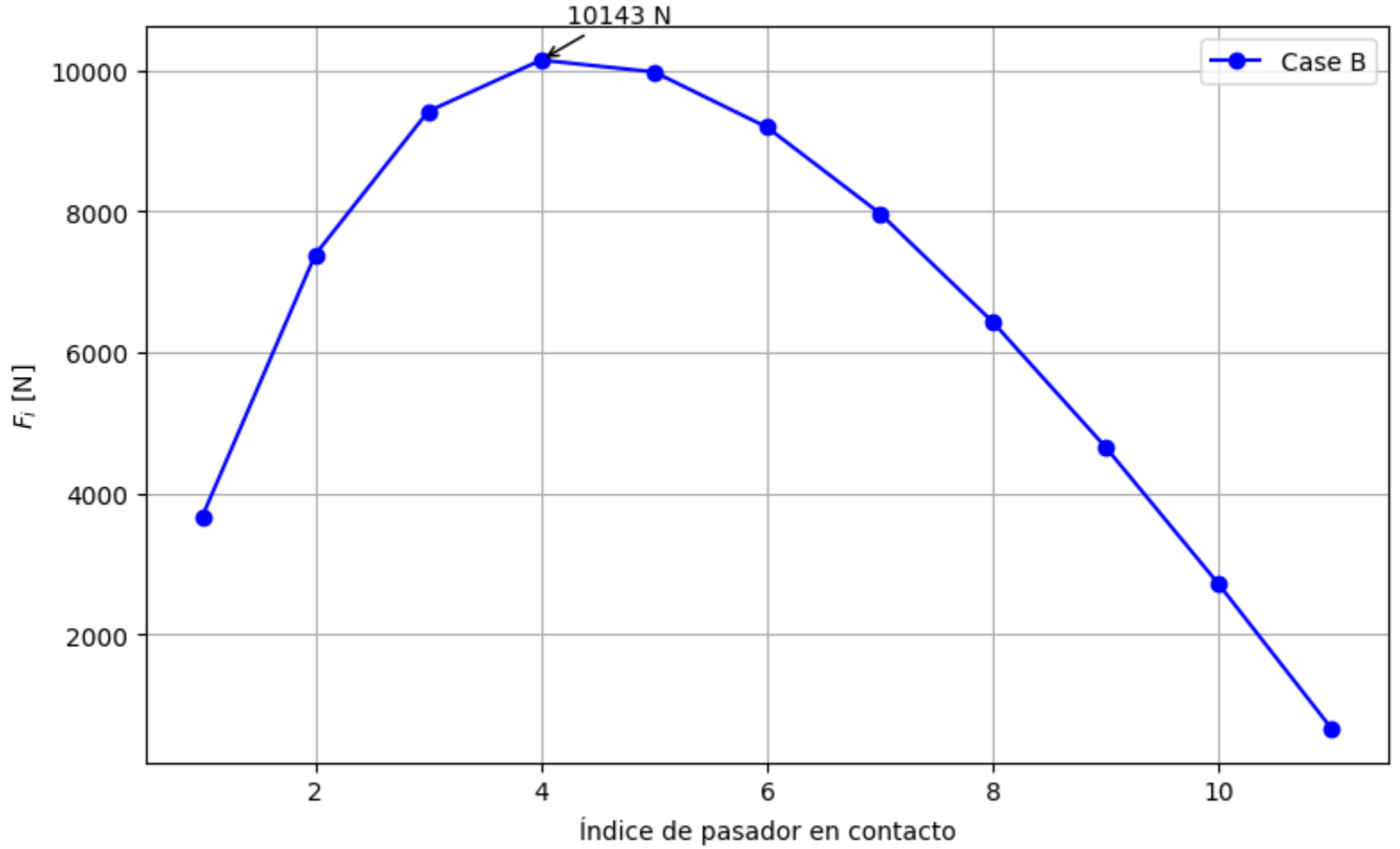
Optimización multiobjetivo: $|TE_{\text{máx}}| = 0{,}3923°$.

R3

0,3923°

Metodología y Desarrollo

Cálculo de Esfuerzos y N.º Contactos

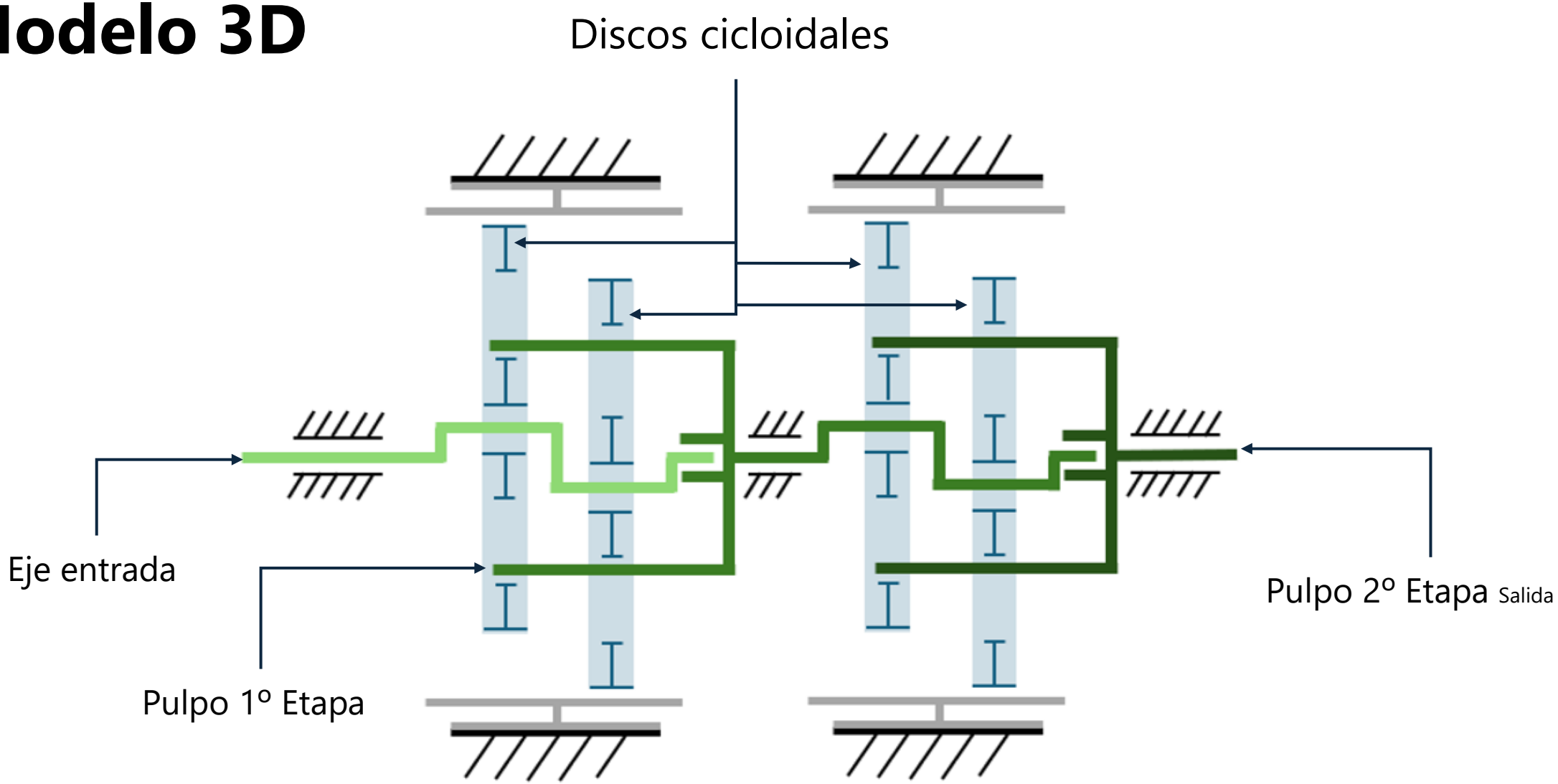


texas
controls

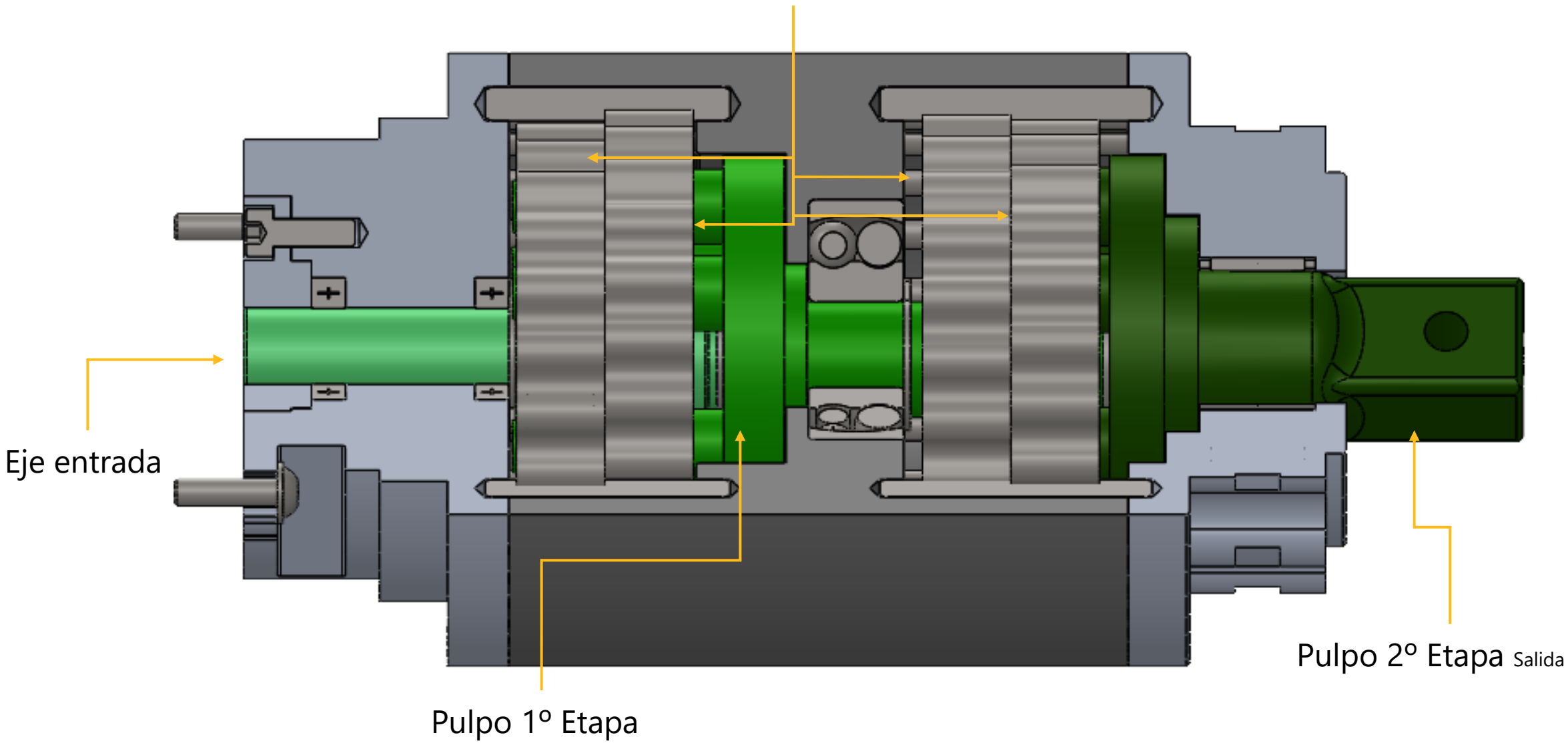
ESTUDIO CICLOIDAL

Modelo 3D

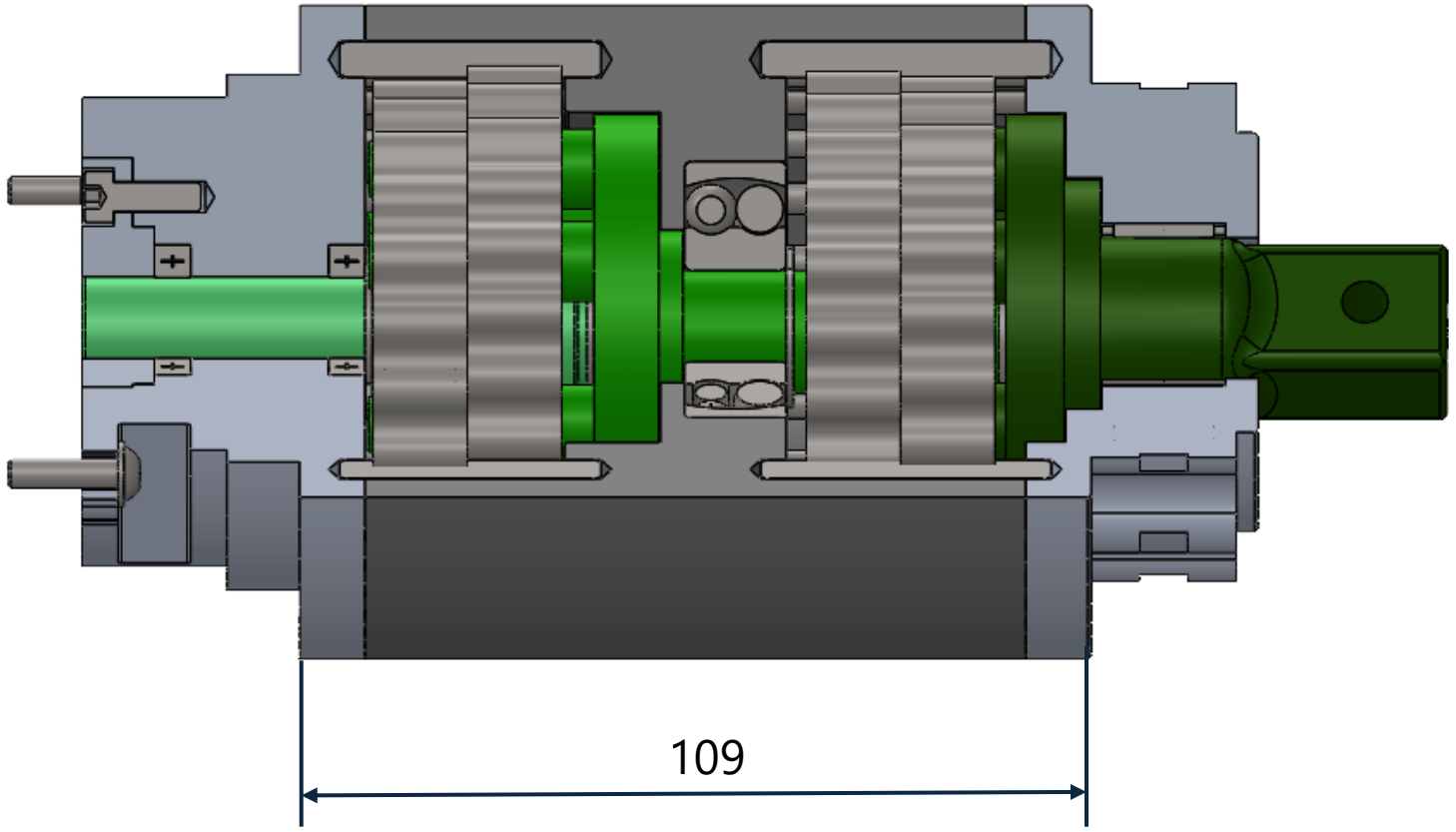
Modelo 3D


Discos cicloidales
Eje entrada
Pulpo 1º Etapa
Pulpo 2º Etapa Salida

Modelo 3D


Discos cicloidales
Eje entrada
Pulpo 1º Etapa
Pulpo 2º Etapa Salida

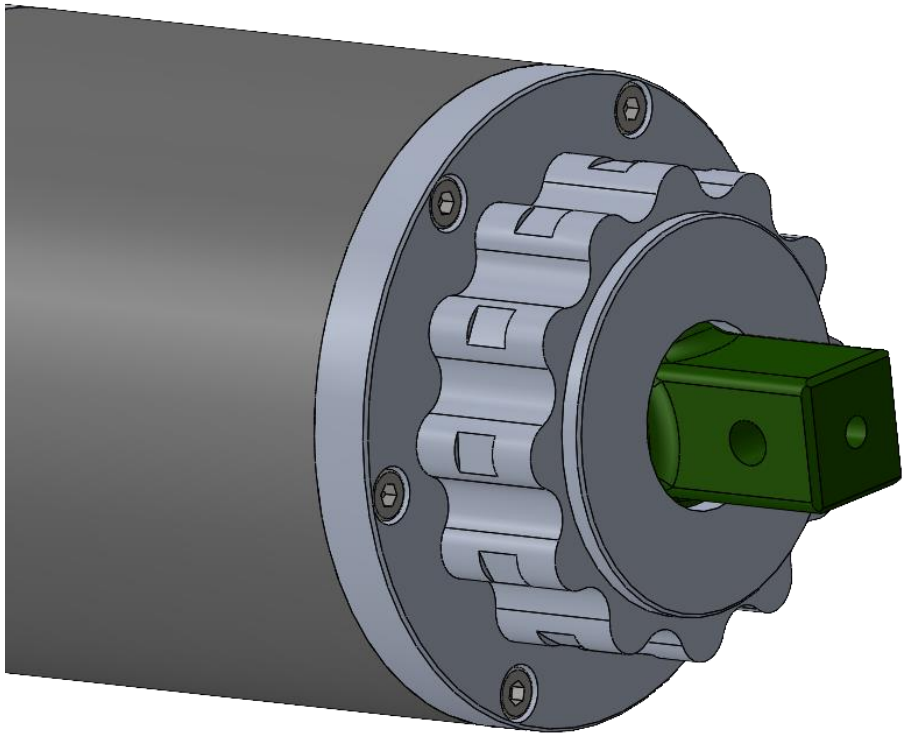
Modelo 3D



R5

Objetivo: 100 mm

Modelo 3D

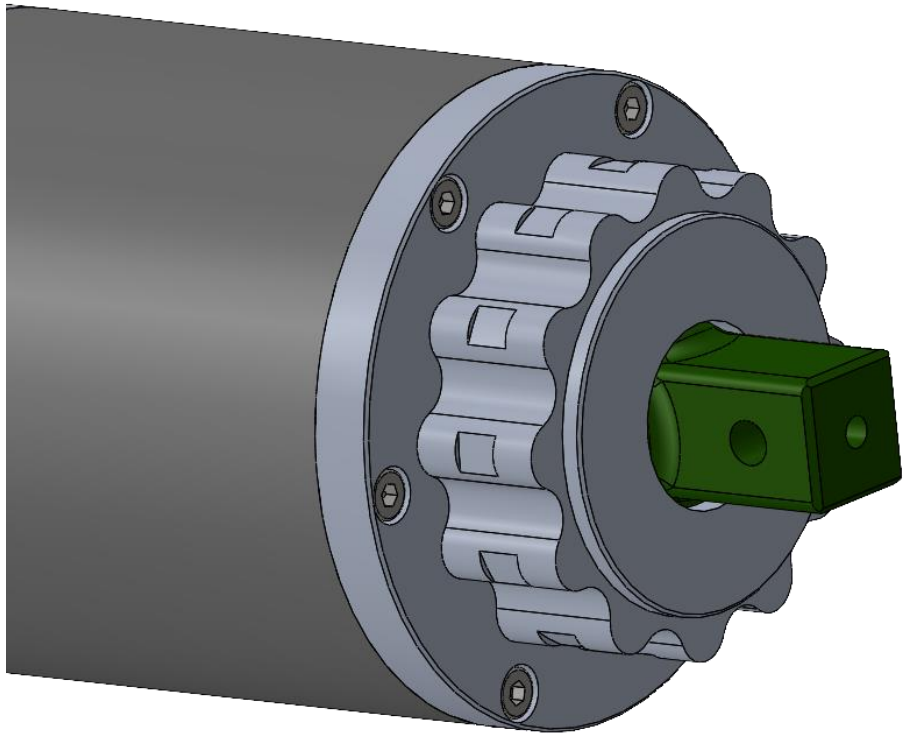


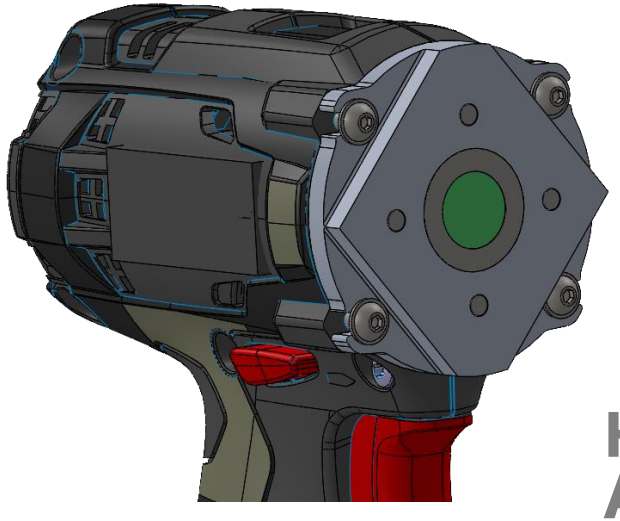
Tapa cierre y Salida

R7

Adaptabilidad

Modelo 3D





Huella Adaptador

Tapa cierre y Salida

R7

Adaptabilidad

texas
controls

ESTUDIO CICLOIDAL

Resultados y Validación

Resultados y Validación

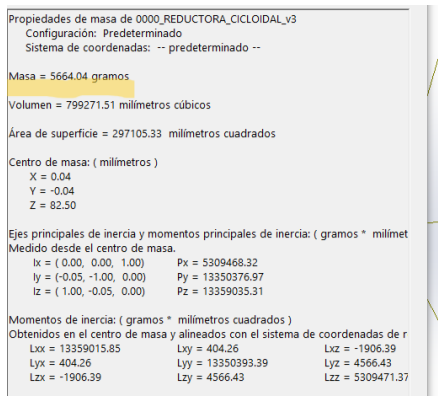
Materiales

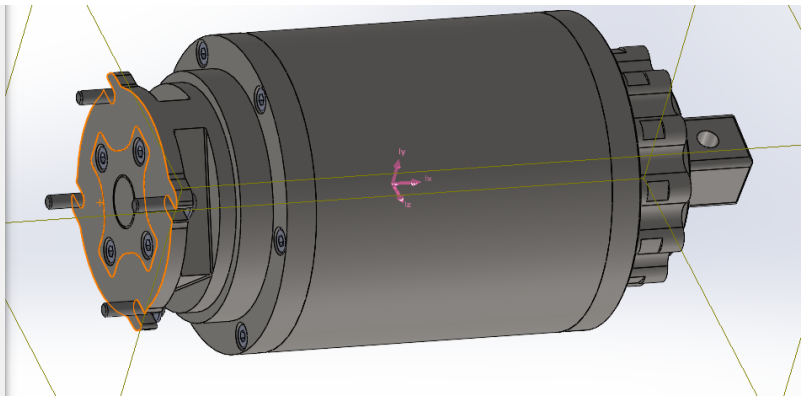
Discos
Pasadores
Carcasa
Ejes

18CrNiMo7-6

Adaptador
Tapa cierre

Aluminio 7075- T6





Resultados y Validación

Materiales

Propiedades de masa de 0000_REDUCTORA_CICLOIDAL_v3
Configuración: Predeterminado
Sistema de coordenadas: -- predeterminado --

Masa = 5664.04 gramos

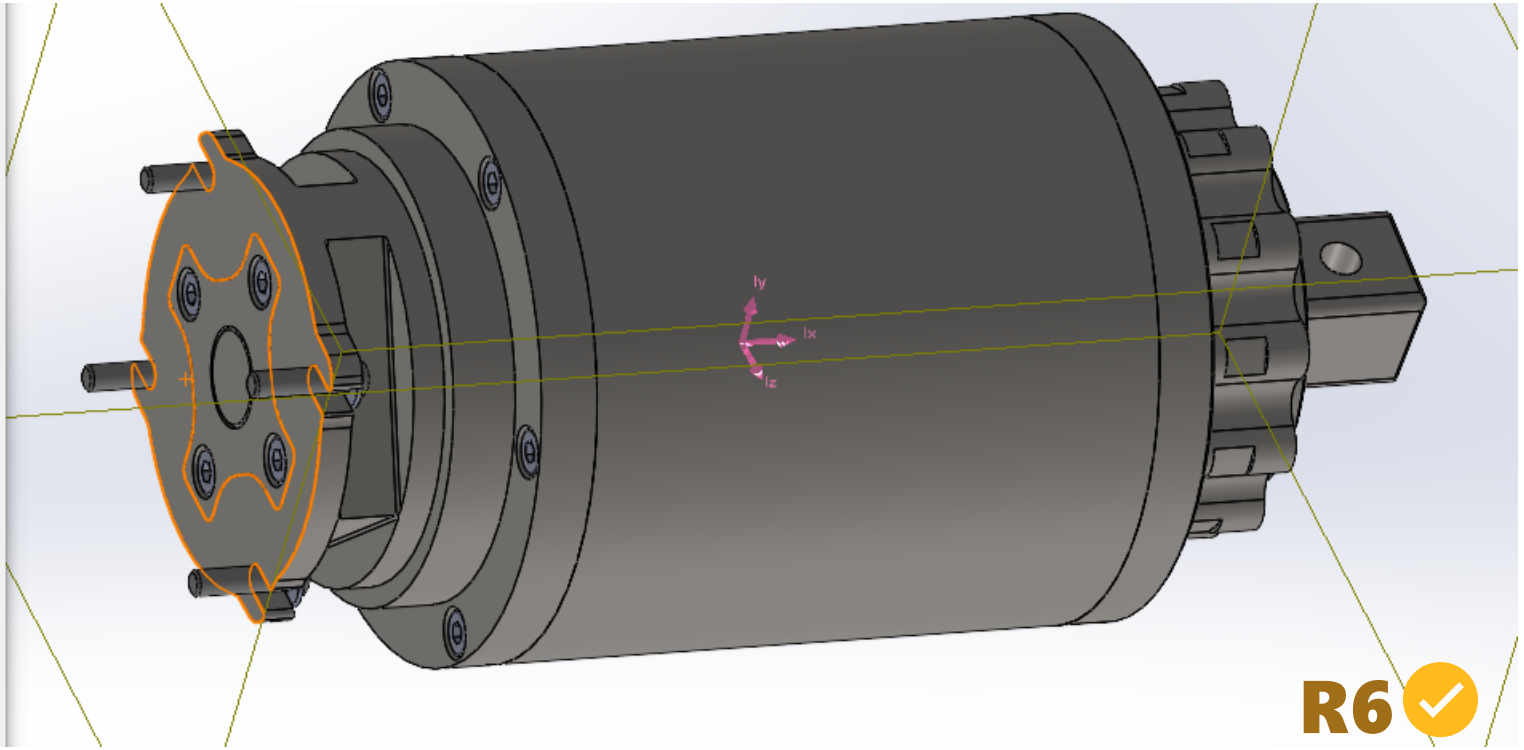
Volumen = 799271.51 milímetros cúbicos

Área de superficie = 297105.33 milímetros cuadrados

Centro de masa: (milímetros)
X = 0.04
Y = -0.04
Z = 82.50

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (gramos * milímet
Medido desde el centro de masa.
Ix = (0.00, 0.00, 1.00) Px = 5309468.32
Iy = (-0.05, -1.00, 0.00) Py = 13350376.97
Iz = (1.00, -0.05, 0.00) Pz = 13359035.31

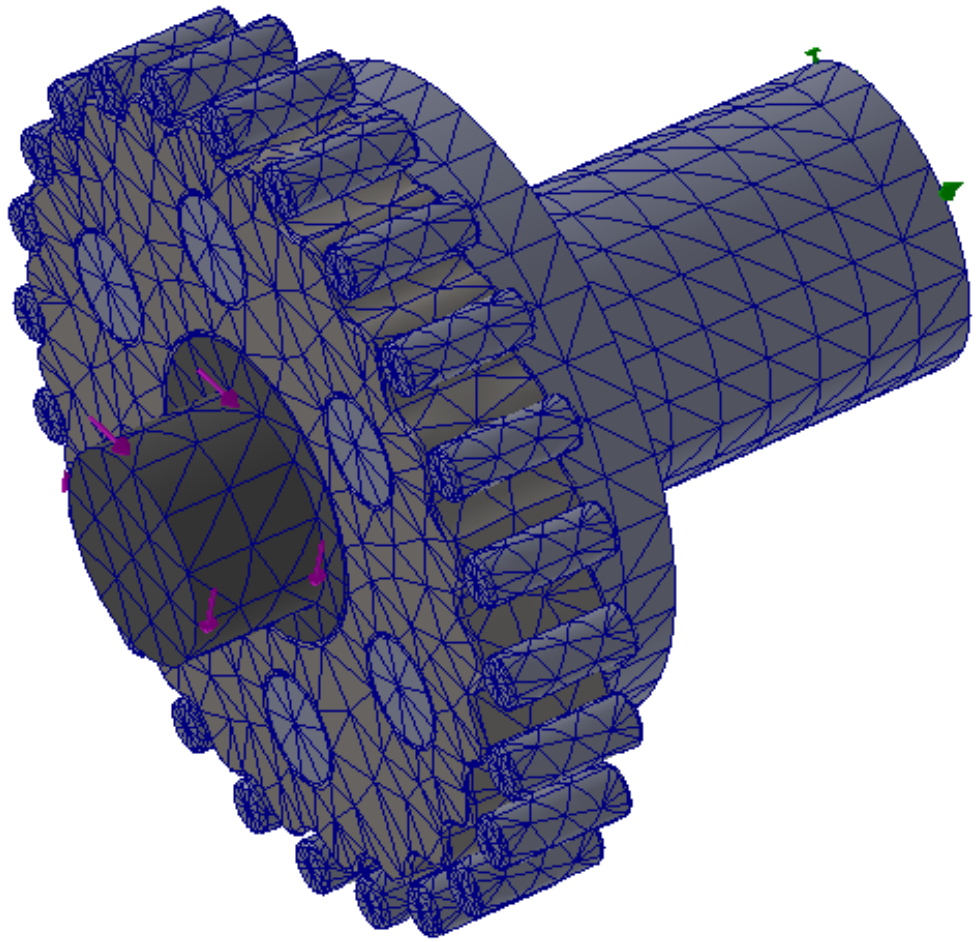
Momentos de inercia: (gramos * milímetros cuadrados)
Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de r
Lxx = 13359015.85 Lxy = 404.26 Lxz = -1906.39
Lyx = 404.26 Lyy = 13350393.39 Lyz = 4566.43
Lzx = -1906.39 Lzy = 4566.43 Lzz = 5309471.37



5 kg objetivo

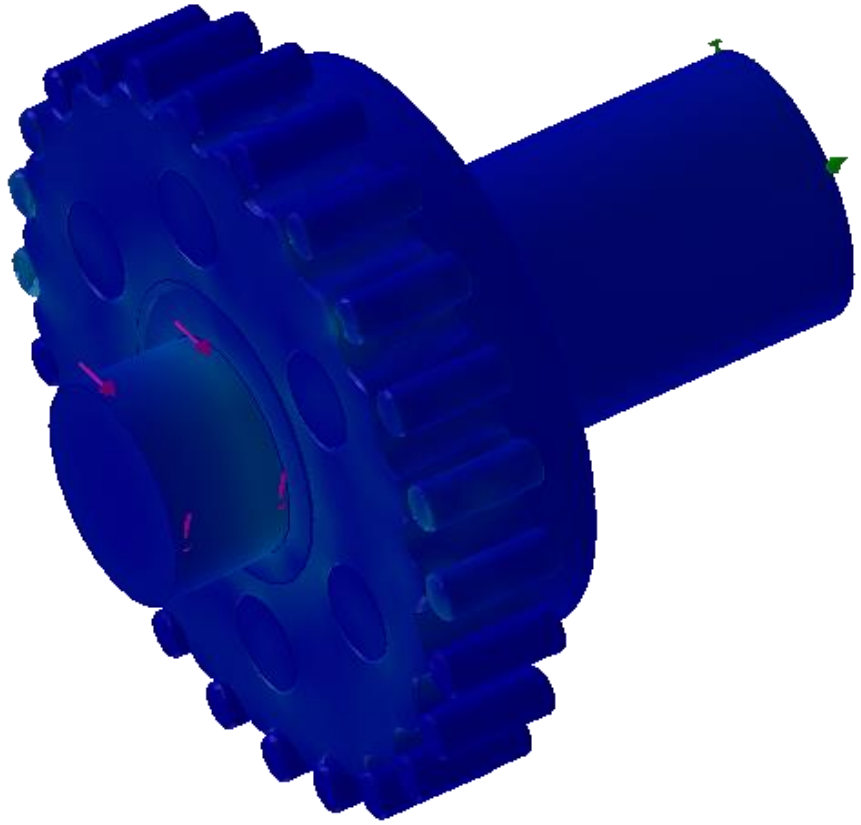
Resultados y Validación

FEM



Resultados y Validación

FEM



Tensiones (Von-Mises)

18CrNiMo7-6 (1320 MPa)

Tensión máxima 1300 MPa

La pieza cumple a Fatiga

R2

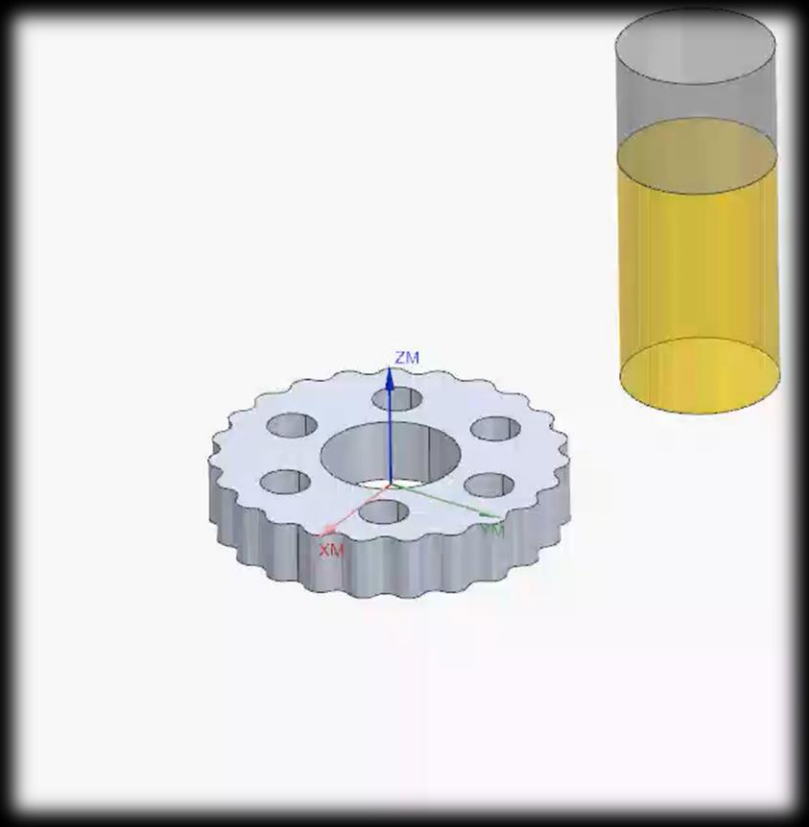
4067 Nm

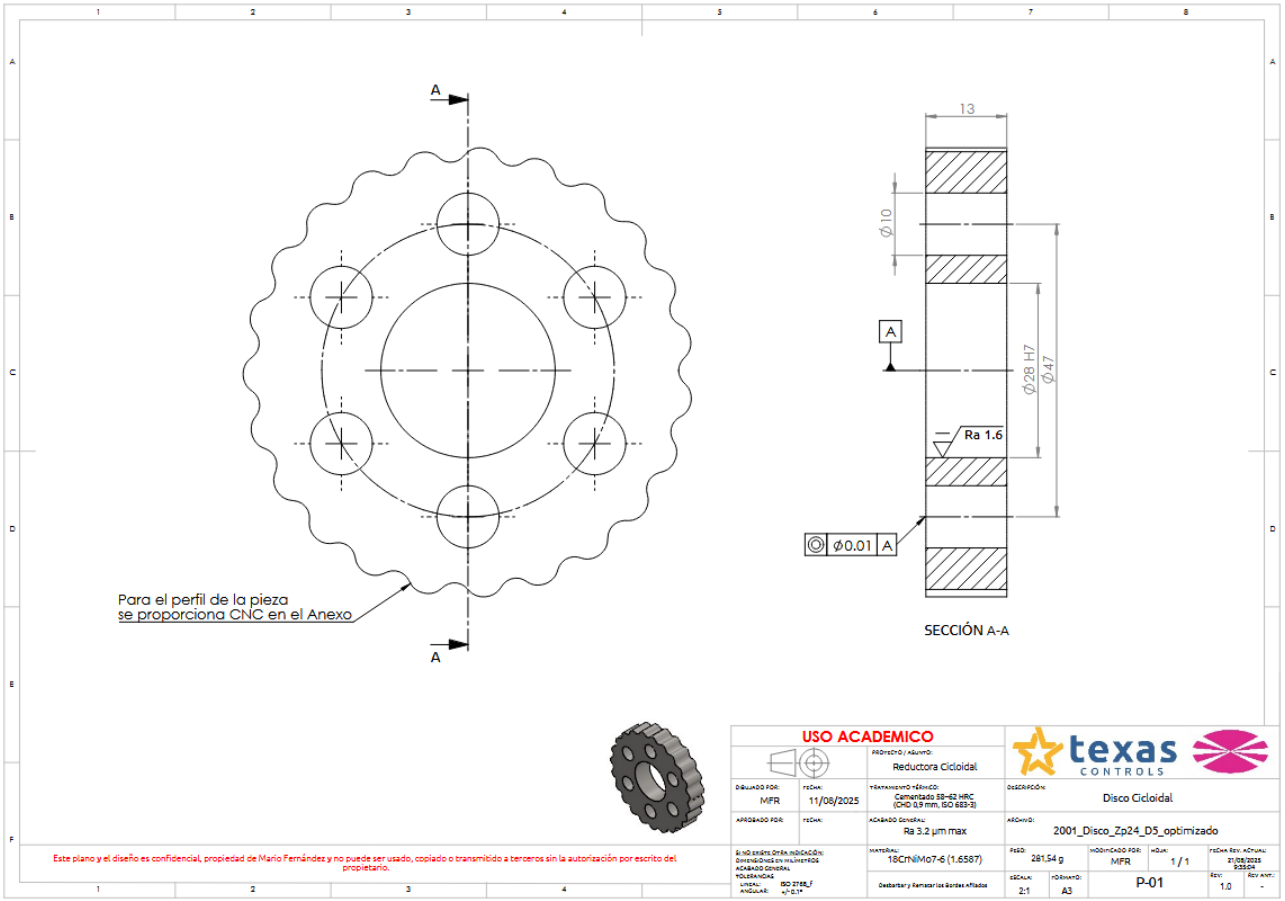
Resultados y Validación

- **R1** 1:529
- **R4** Ø90 mm
- **R7** Adaptable
- **R2** 4067 Nm
- **R5** 109 mm
- **R3** 0,3923º
- **R6** 5,66 kg de la reductora

texas
controls

Fabricación





texas
controls

Presupuesto Final

954,51€ *con el 21% de IVA*

** Incluyendo todos los procesos de fabricación*

texas

controls