ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO DE UNA REDUCTORA CICLOIDAL

ESCOLA POLITÉCNICA DE ENXEÑARÍA DE FERROL (EPEF) - UNIVERSIDADE DA CORUÑA (UDC)

Autor: Francisco Rodríguez Gavín

Tutor: Emilio Sanjurjo Maroño

TRABAJO DE FIN DE GRADO – INGENIERÍA MECÁNICA

22 DE SEPTIEMBRE DE 2025

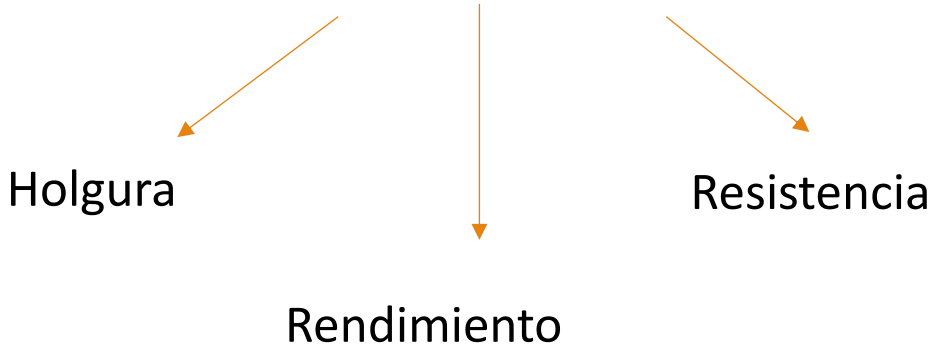
UNIVERSIDADE DA CORUÑA

epef

1.OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

1.1 - OBJETIVOS

- Parámetros de diseño

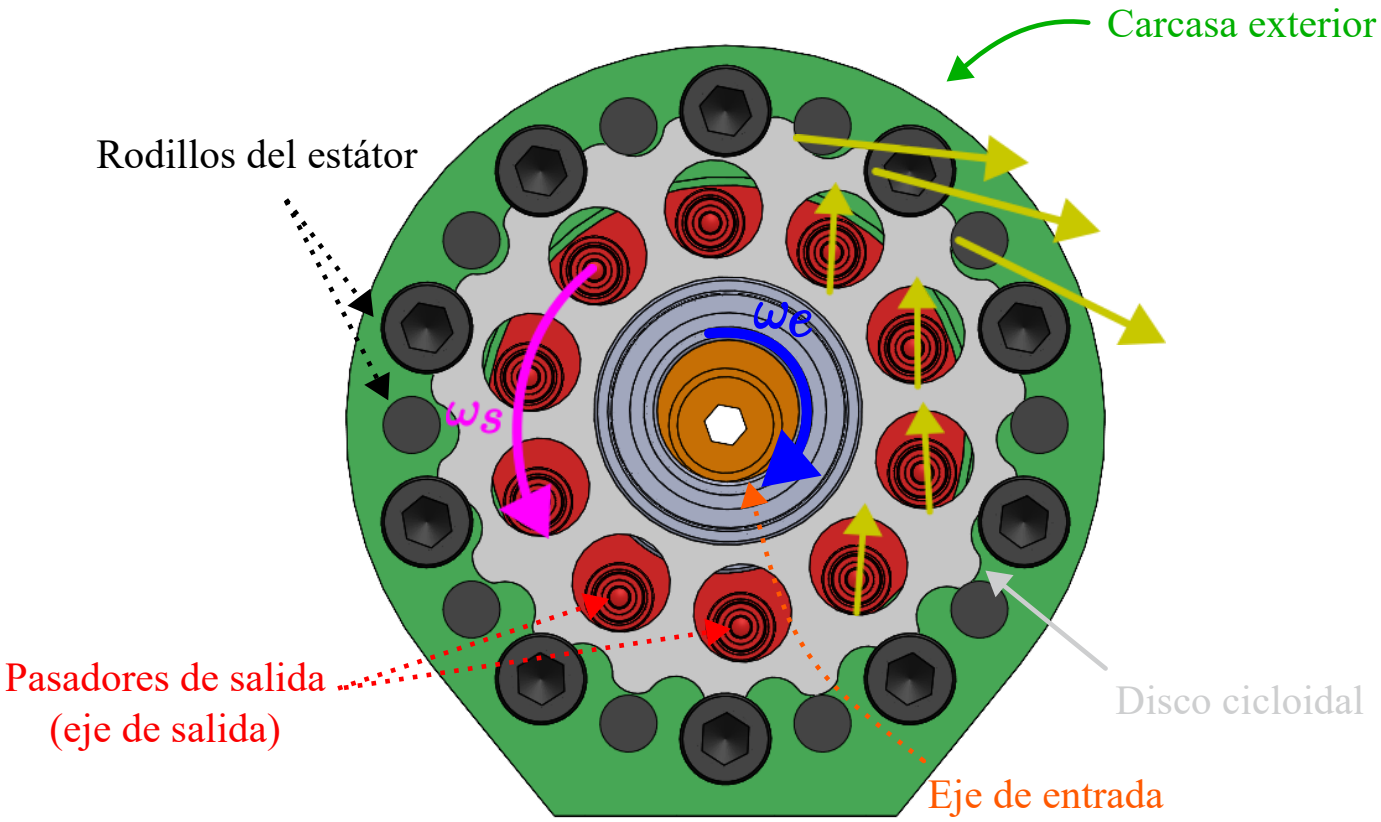


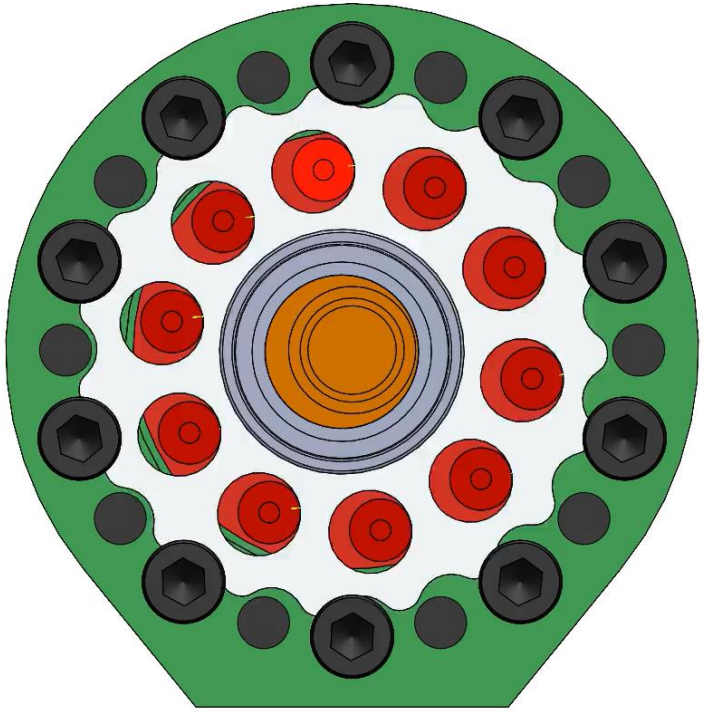
1.2 - METODOLOGÍA

- Estudio analítico → Holgura
- Modelo CAD
  - Verificar el modelo analítico
  - Rendimiento
  - Resistencia
- Prototipo
  - Ensayos experimentales

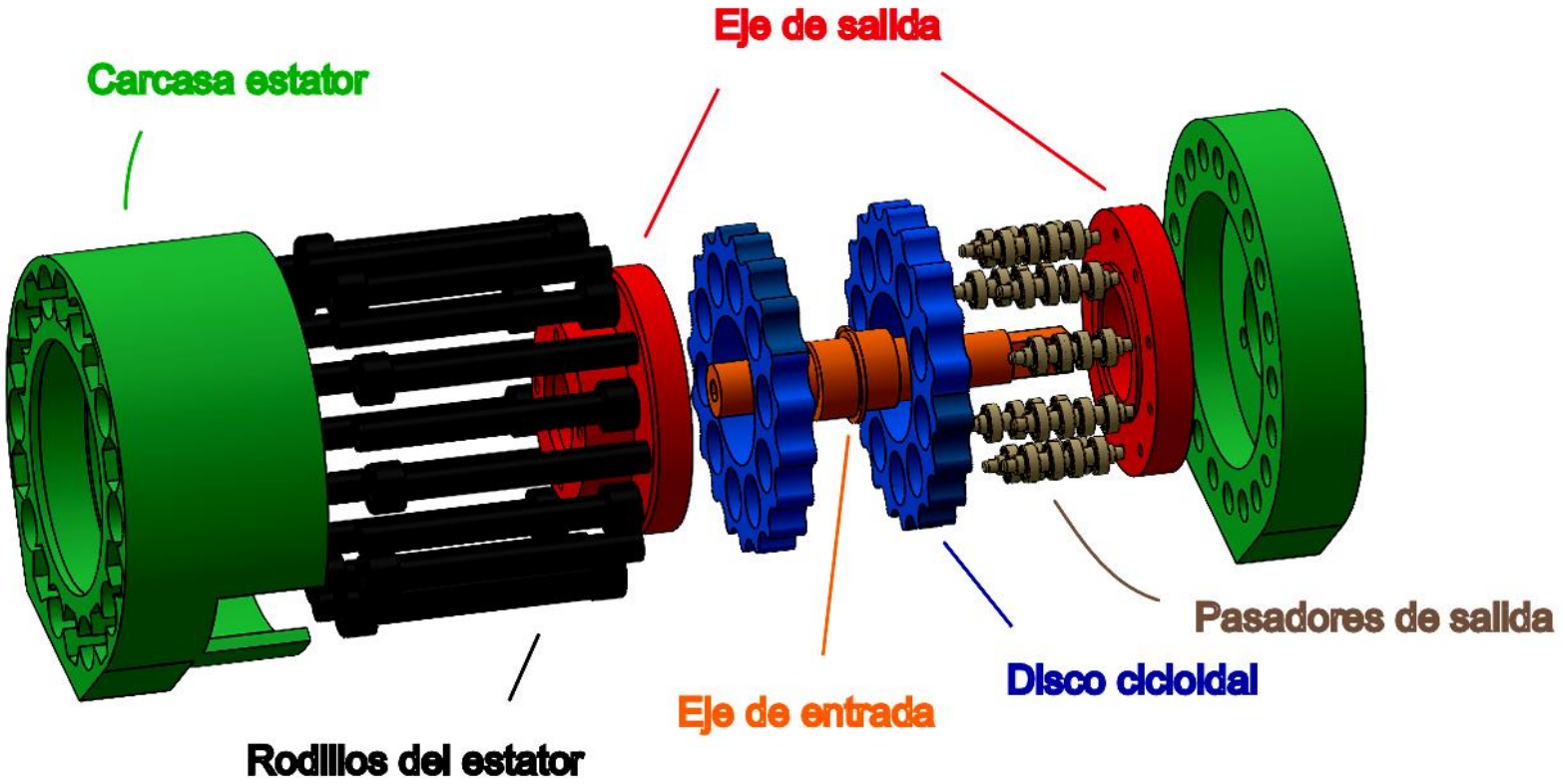
2.MODELO ANALÍTICO

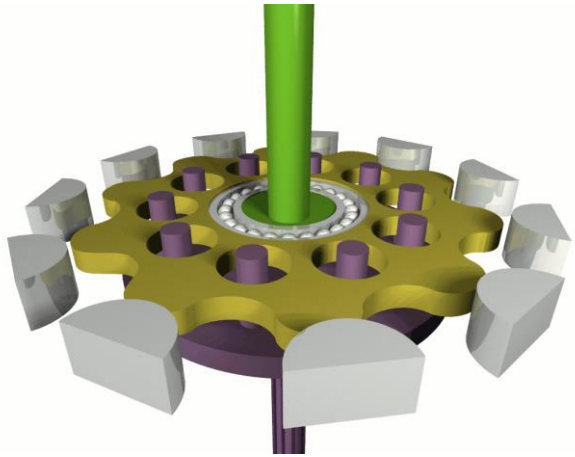
2.1 – INTRODUCCIÓN AL MODELO ANALÍTICO (II)





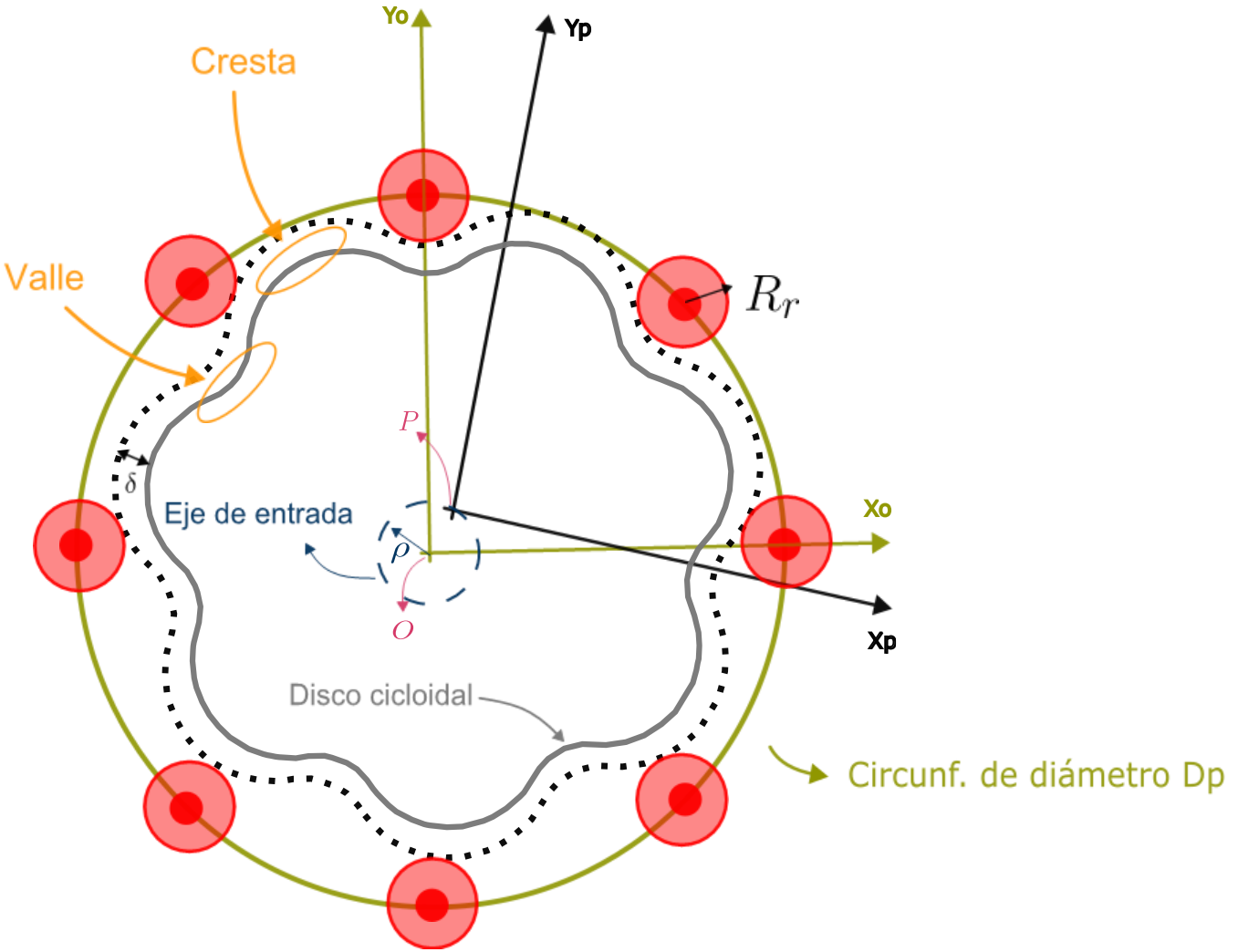
2.1 – INTRODUCCIÓN AL MODELO ANALÍTICO (I)





2.2 – DISCO CICLOIDAL

- Parámetros de diseño:
  - Excentricidad, ρ
  - Radio de los rodillos del estátor, R_r
  - Diámetro de la circunferencia que contiene a los rodillos del estátor, D_p
  - Tolerancia de fabricación, δ
  - Relación de transmisión, r



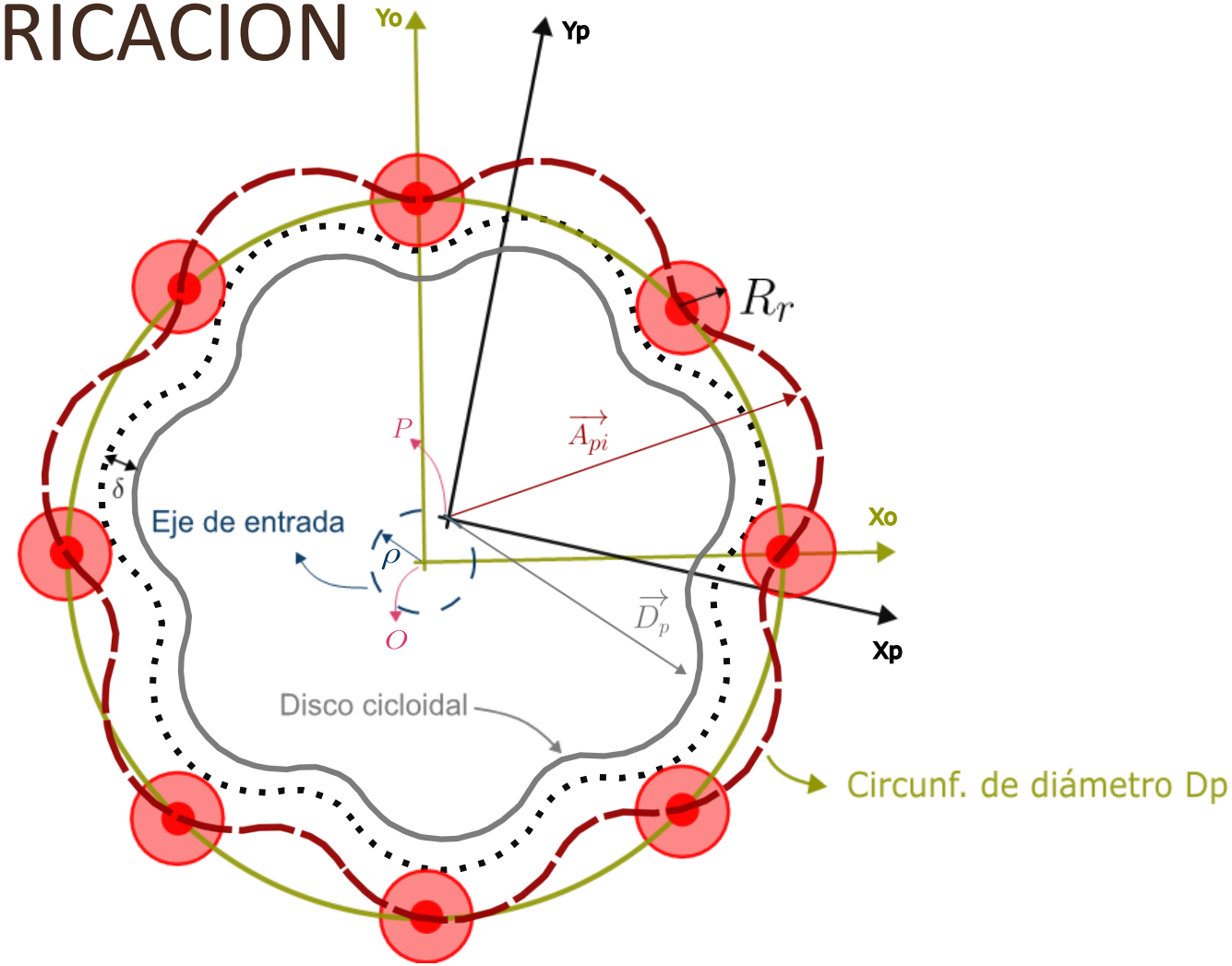
2.3 – TOLERANCIA DE FABRICACIÓN

- Ec. Disco cicloidal

$$\overrightarrow{D_p} = R_p e^{(i\theta)} + (\left|\overline{AC}\right| - (R_r + \delta))e^{i(\theta+\gamma)}$$

- Ec. Epitrocoide

$$\overrightarrow{A_{pi}} = e^{i(\theta+\gamma)} \left|\overline{AC}\right| + e^{i\theta} R_p$$



2.4 – CÁLCULO DE LA HOLGURA (I)

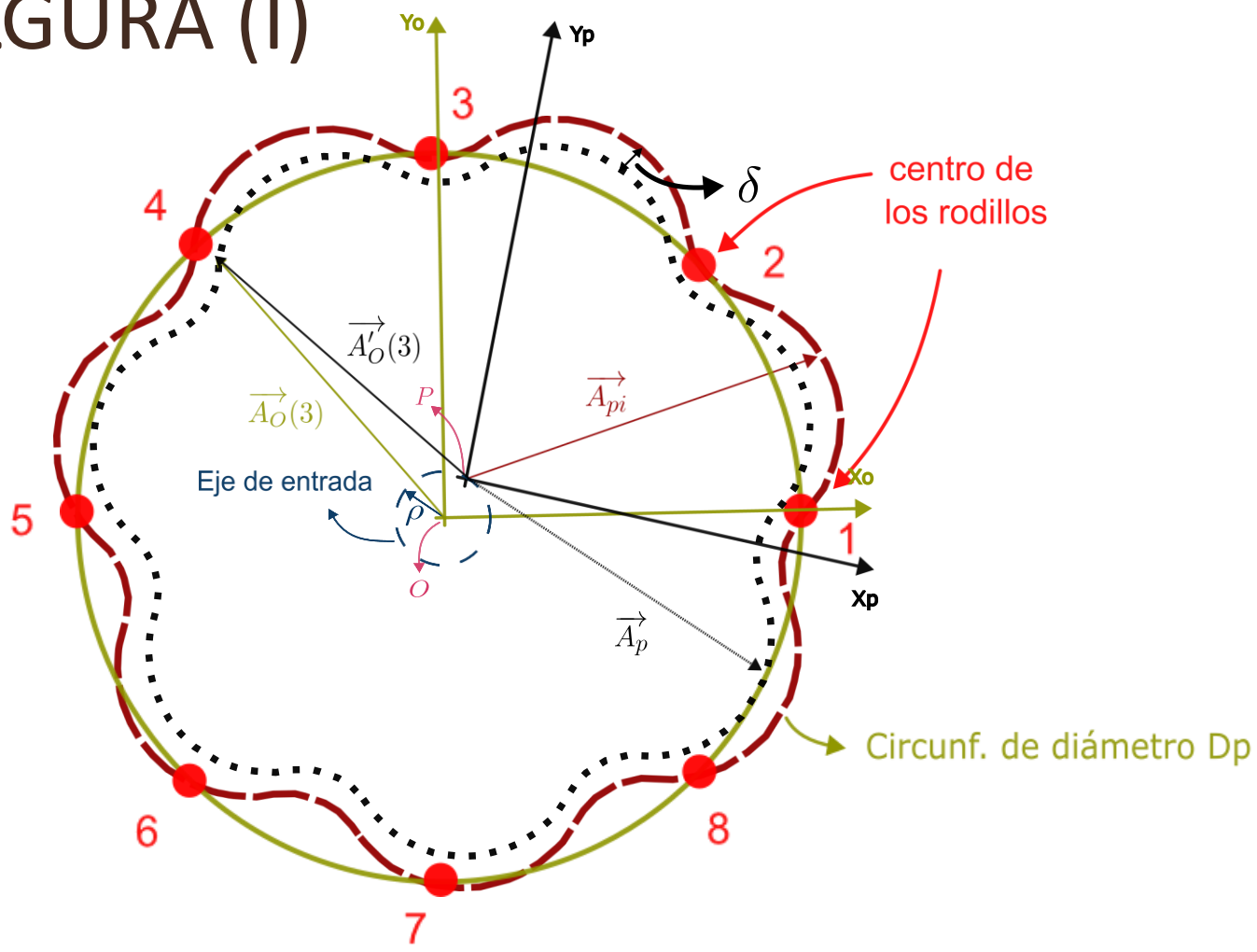
- Ec. Disco cicloidal

$$\overrightarrow{D_p} = R_p e^{(i\theta)} + (\left|\overline{AC}\right| - (\cancel{R_r} + \delta))e^{i(\theta+\gamma)}$$

$$\overrightarrow{A_p} = e^{i(\theta+\gamma)}(\left|\overline{AC}\right| - \delta) + e^{i\theta} R_p$$

- Rodillos del estátor

$$\overrightarrow{A_O}(N) = (R_p + R_g)\, e^{i\frac{2\pi N}{1+r}}$$



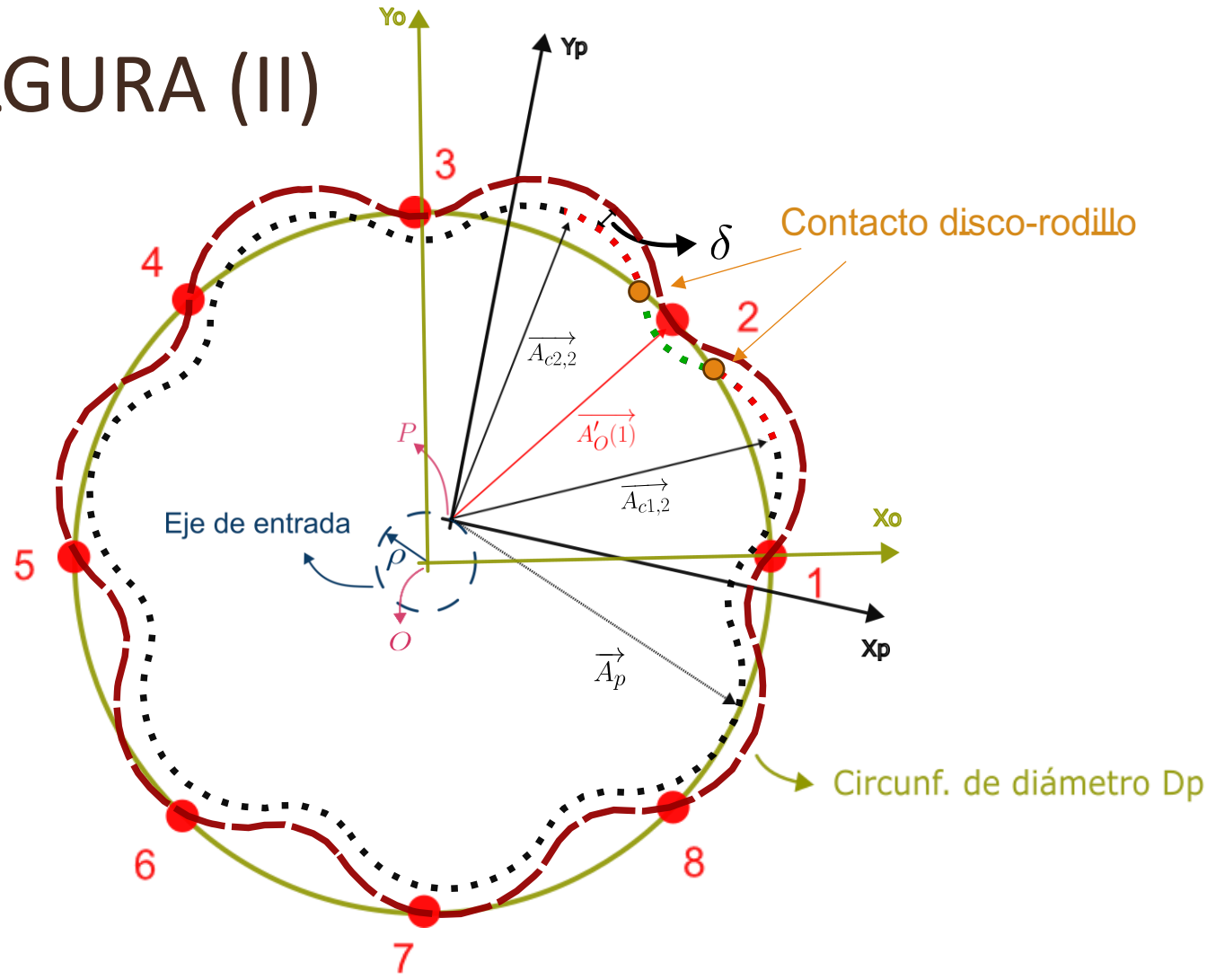
2.4 – CÁLCULO DE LA HOLGURA (II)

- Función Δ

$$\Delta(\theta) = \left|\overrightarrow{A'_O}(N)\right| - \left|\overrightarrow{A_p}(\theta)\right|$$

- En los puntos de contacto:

$$\left|\overrightarrow{A'_O}(1)\right| = \left|\overrightarrow{A_p}(\theta)\right| \longrightarrow \Delta(\theta) = 0$$



2.4 – CÁLCULO DE LA HOLGURA (III)

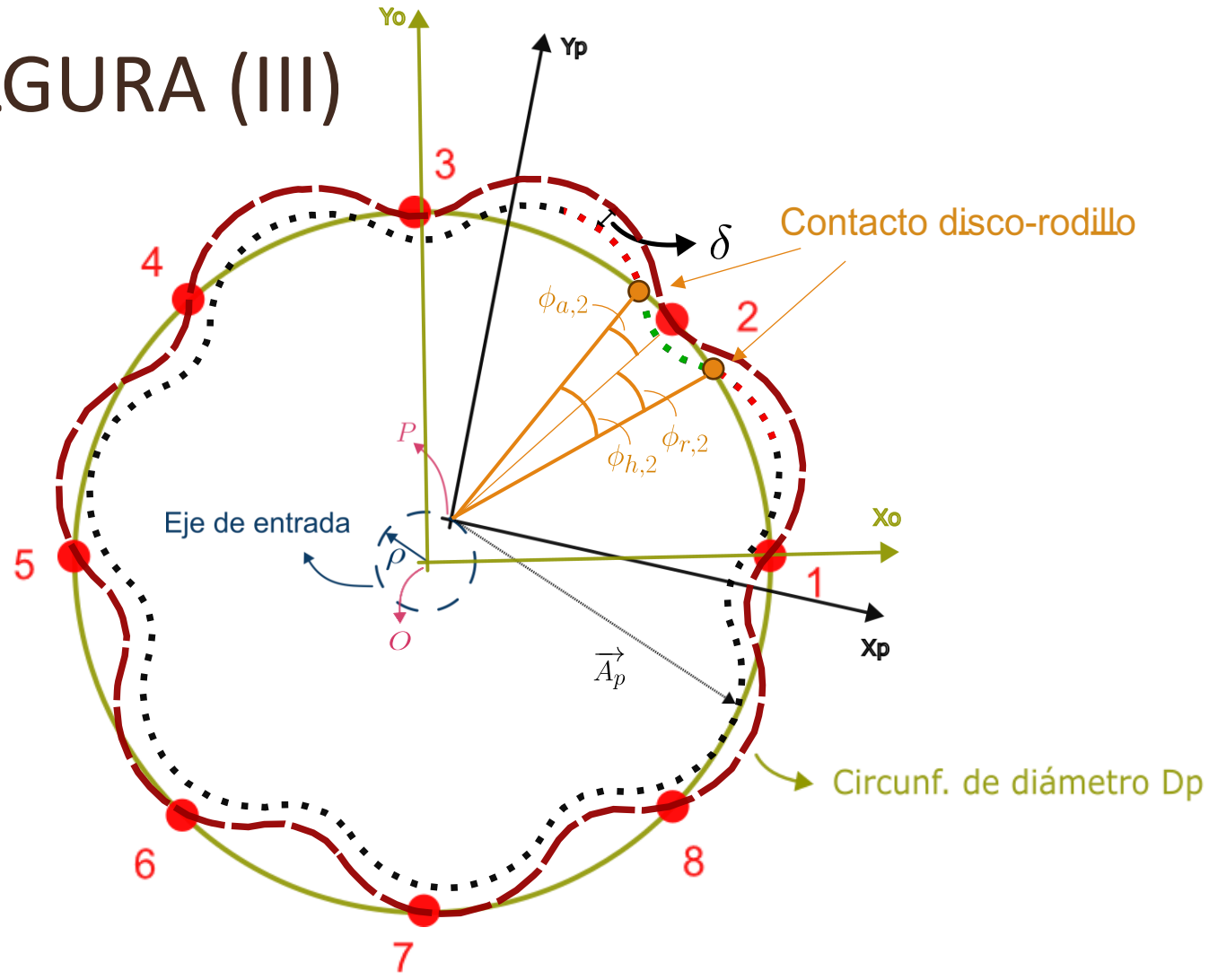
- Holgura total
  - En el rodillo 2:

$$\phi_{h,2} = \phi_{a,2} + \phi_{r,2}$$

  - En una posición determinada del eje de entrada:

$$\phi_h = min(|\phi_a|) + min(|\phi_r|)$$

- Holgura → Relación de transmisión no constante

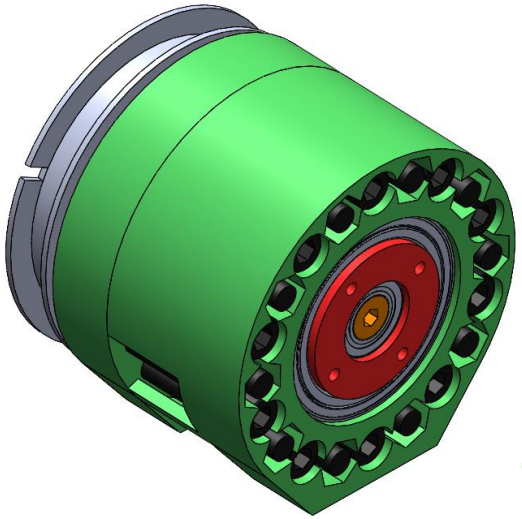


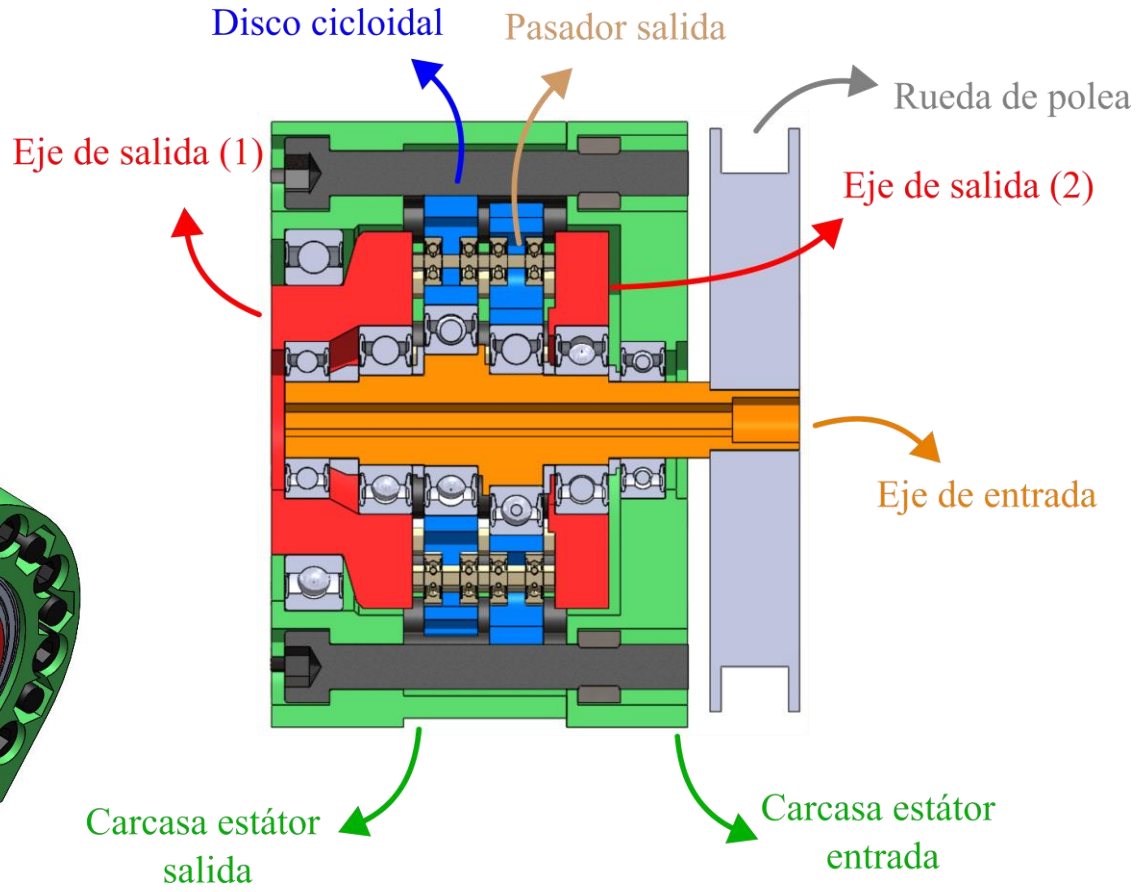
3.MODELO CAD

3.1 – MEDIDAS INICIALES

- Condiciones
  - Uso de impresora 3D *Prusa i3 MK3S+*
  - Tornillería y rodamientos comerciales de fácil acceso.

- Parámetros iniciales
  - ρ = 2 mm
  - R_r = 5 mm → Tornillos M10
  - D_p = 110 mm
  - r = 19
  - δ = ¿?





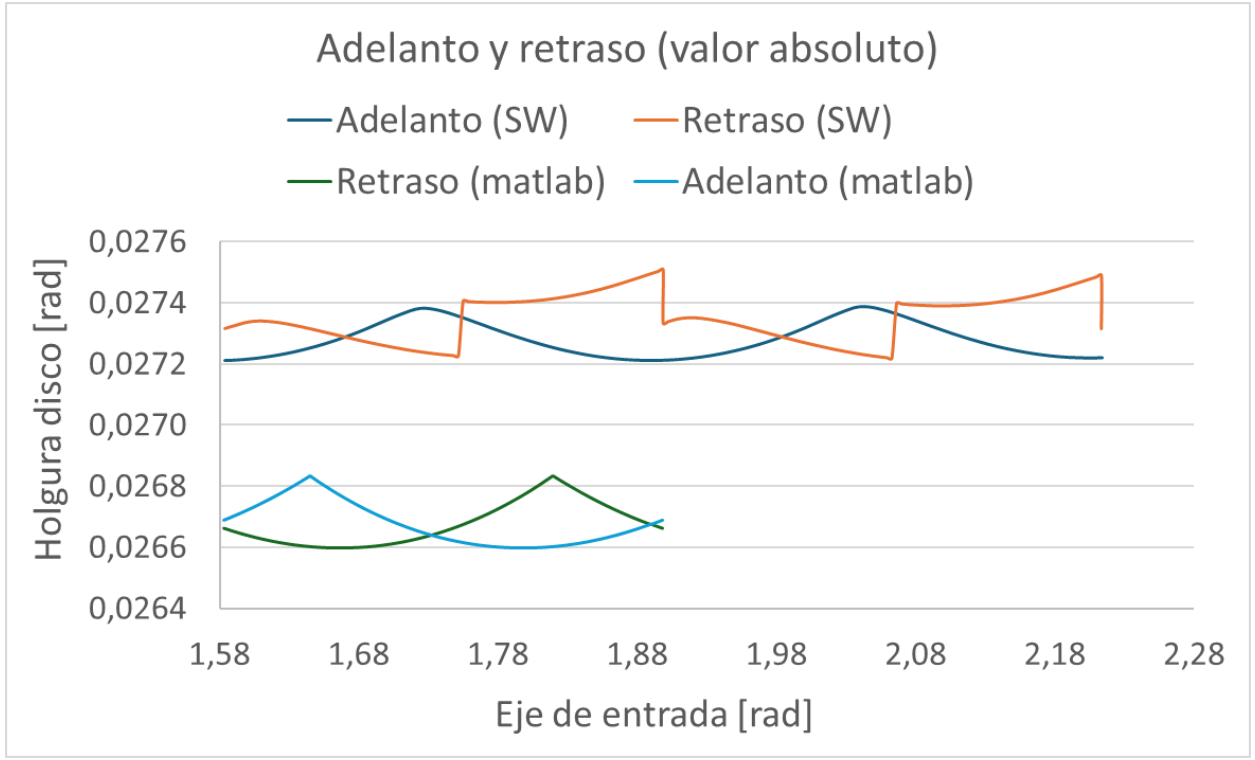
3.2 – TOLERANCIA DE FABRICACIÓN

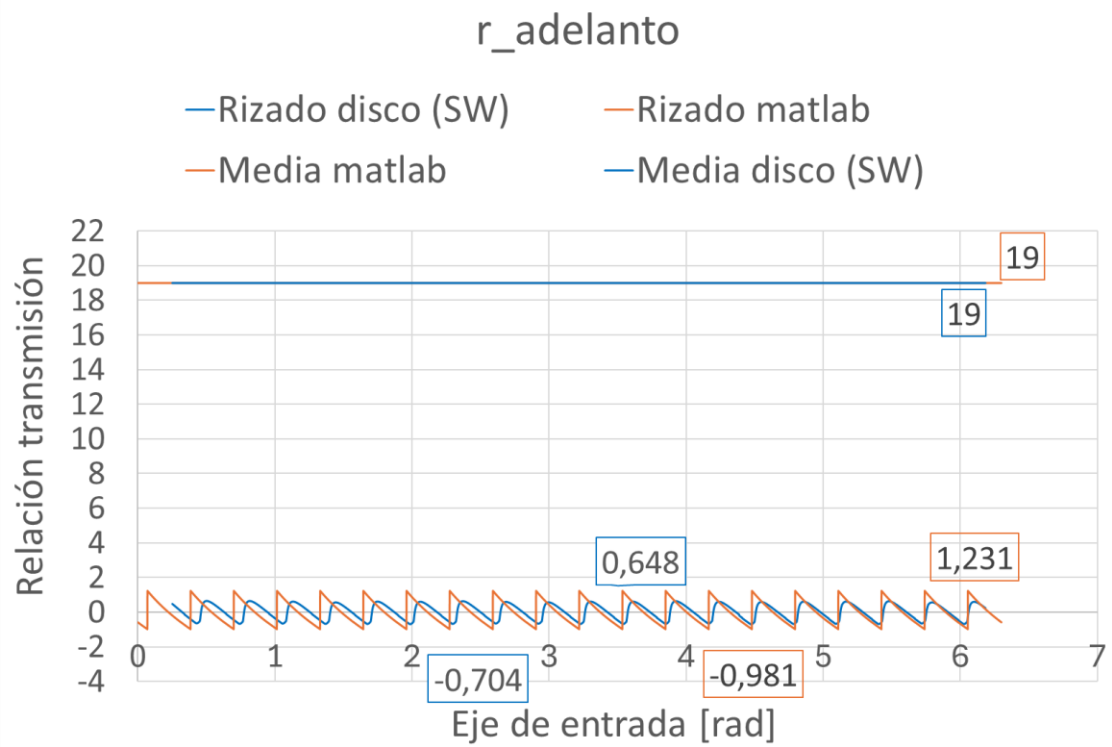
- Pruebas realizadas
  - Taladros de 16, 10 y 4 mm
    - Ovalidad → 0,05 mm
    - Precisión → 0,20 - 0,25 mm más pequeños
  - Disco cicloidal
    - Distancia valle-cresta: ± 0,15 mm

$$\delta = 0{,}25 \text{ mm}$$

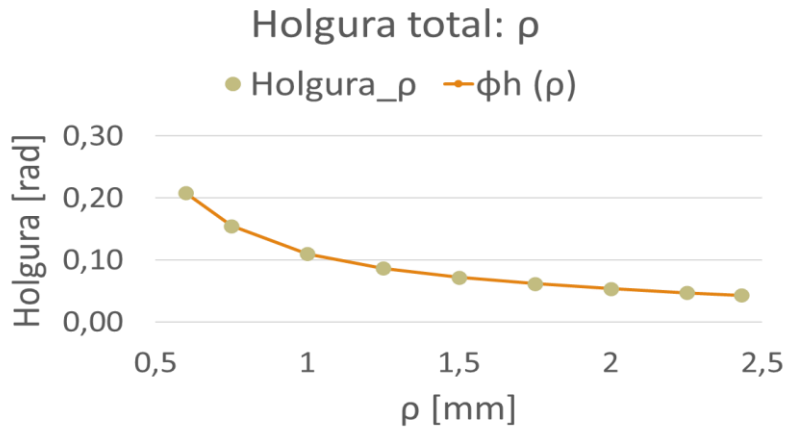
4.RESULTADOS

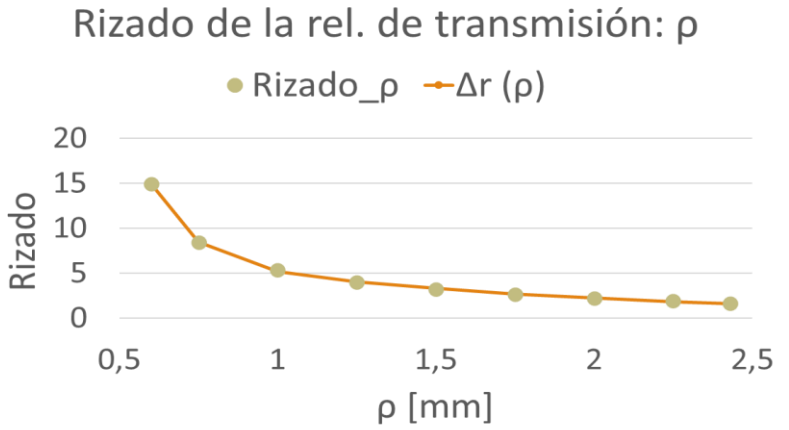
4.1 – COMPARACIÓN MODELO ANALÍTICO - CAD

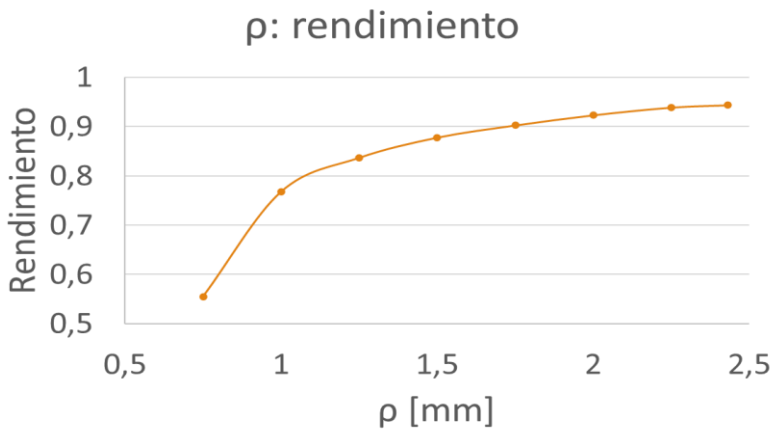


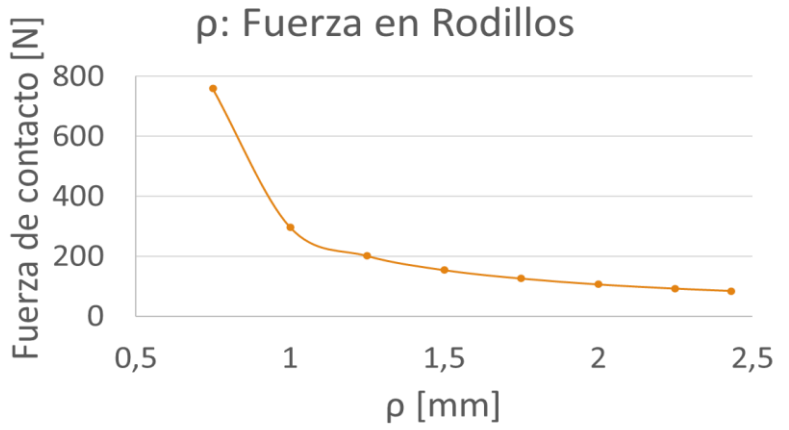


4.2 – EXCENTRICIDAD, ρ

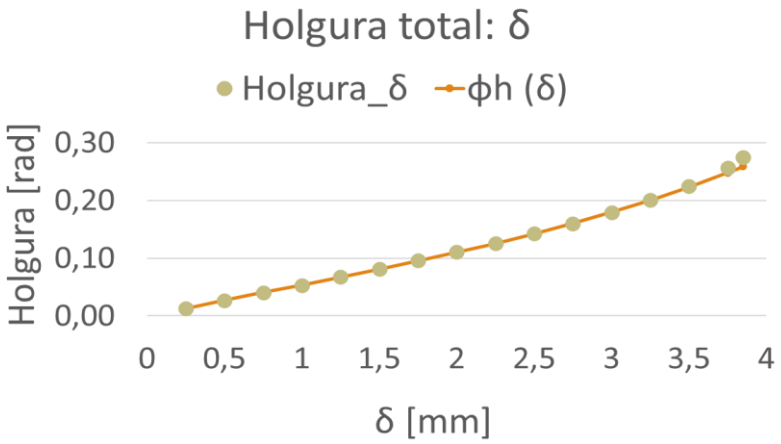


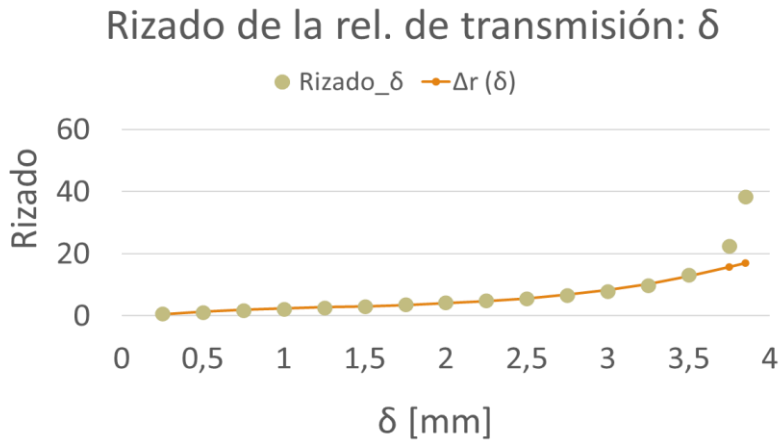


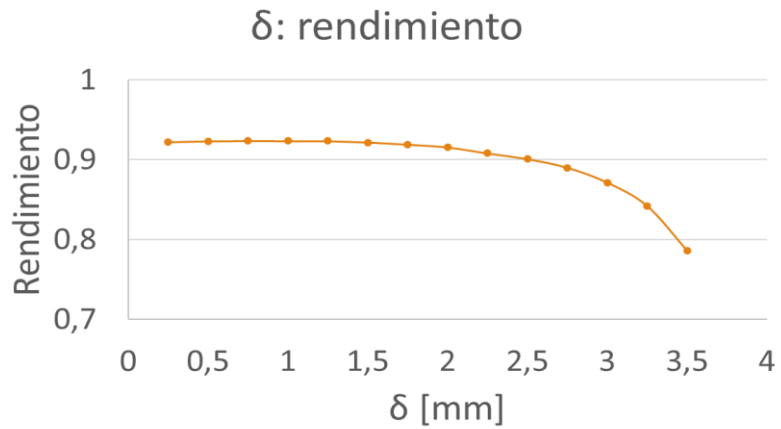


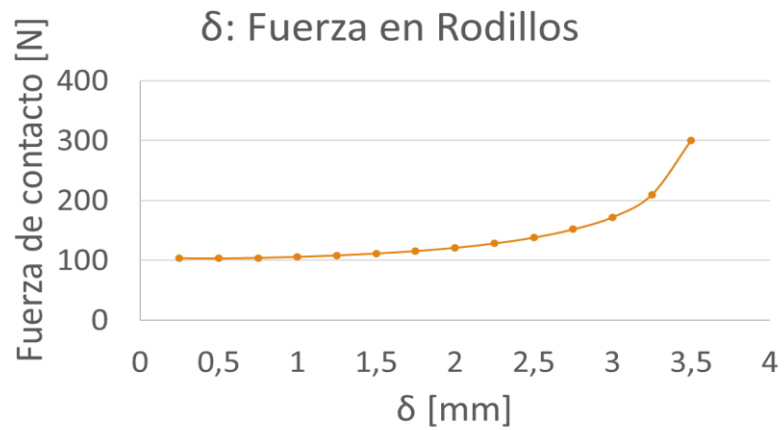


4.3 – TOLERANCIA DE FABRICACIÓN, δ

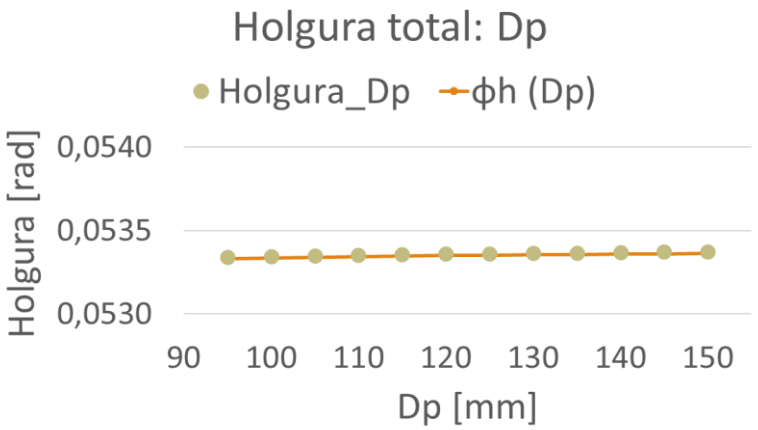


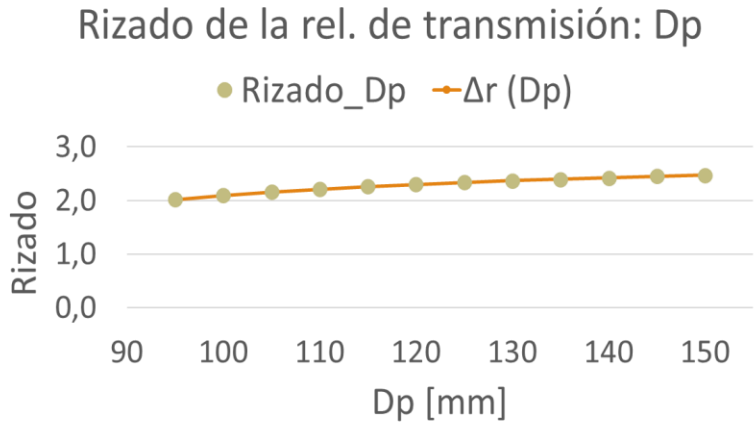


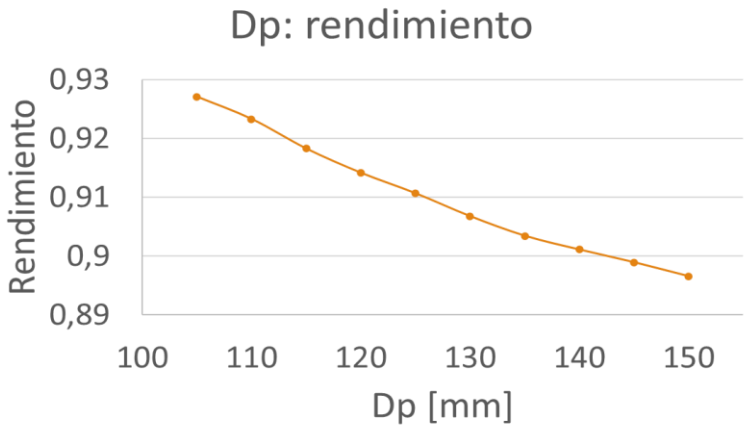


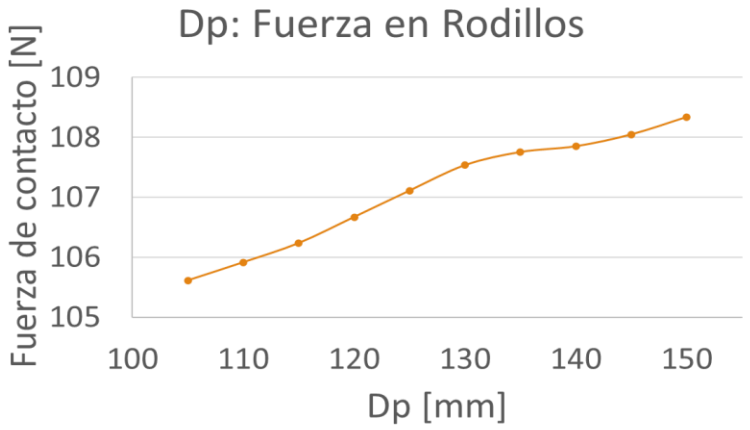


4.4 – DIÁMETRO DE LA CIRCUNFERENCIA QUE CONTIENE A LOS RODILLOS, D_p

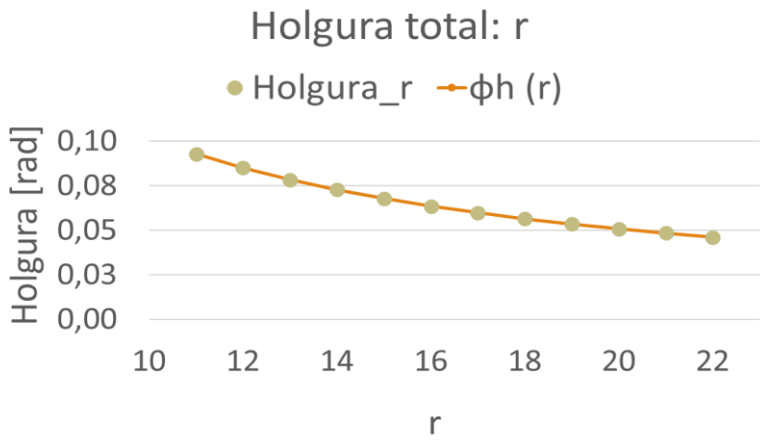


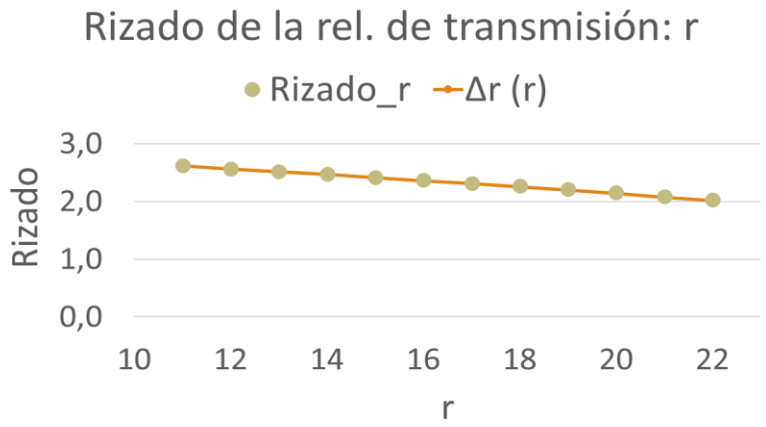


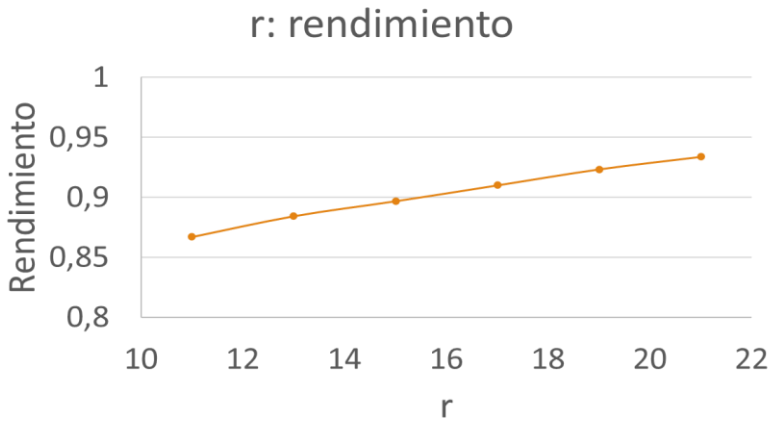


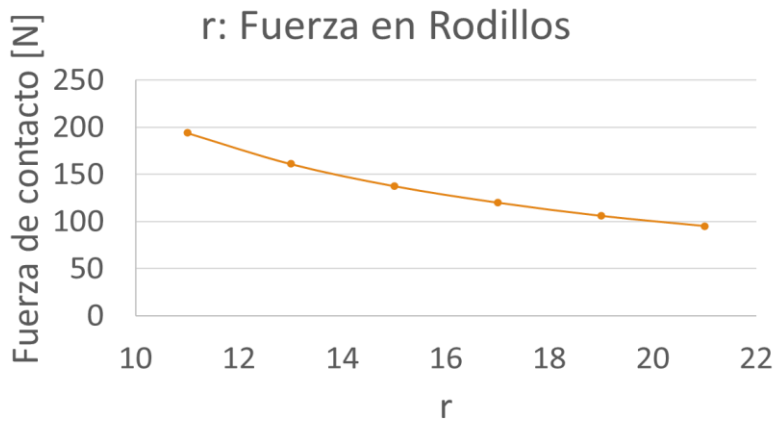


4.5 – RELACIÓN DE TRANSMISIÓN, r

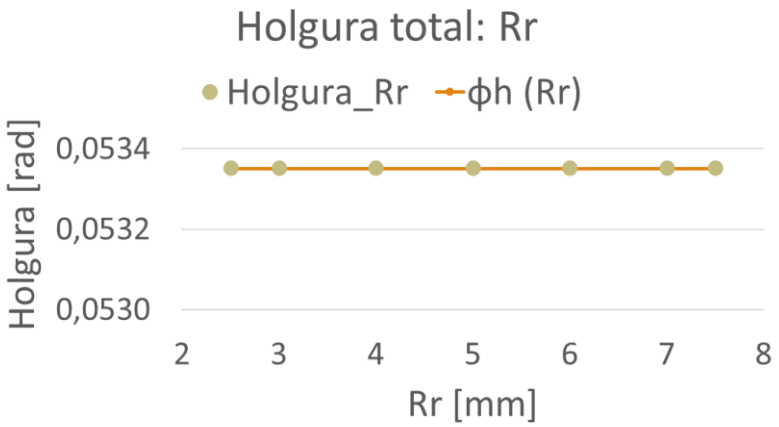


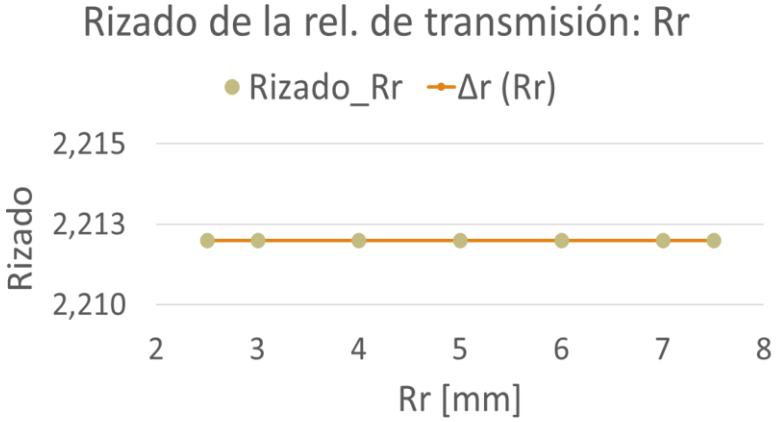


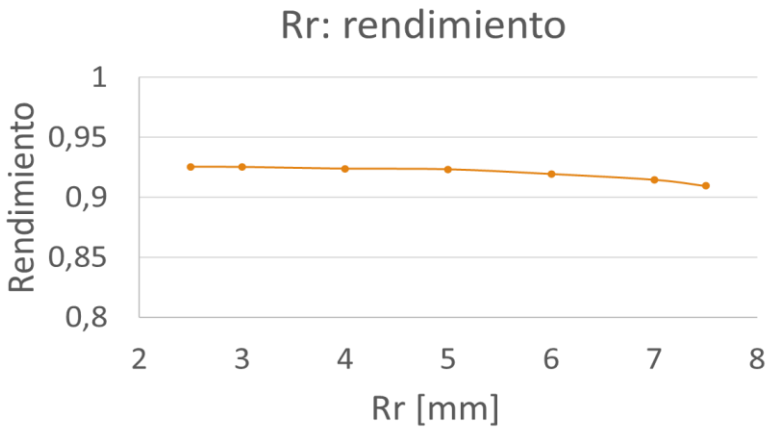


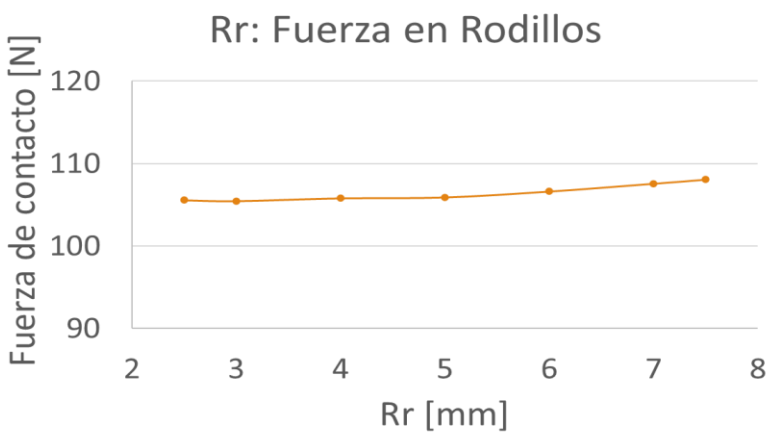


4.6 – RADIO DE LOS RODILLOS, R_r

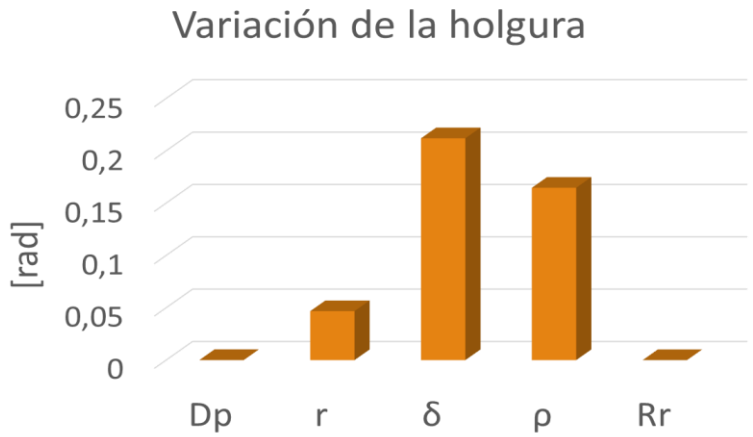


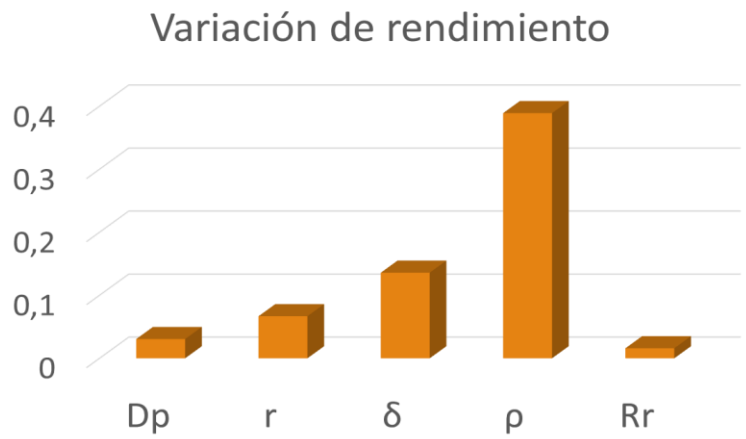


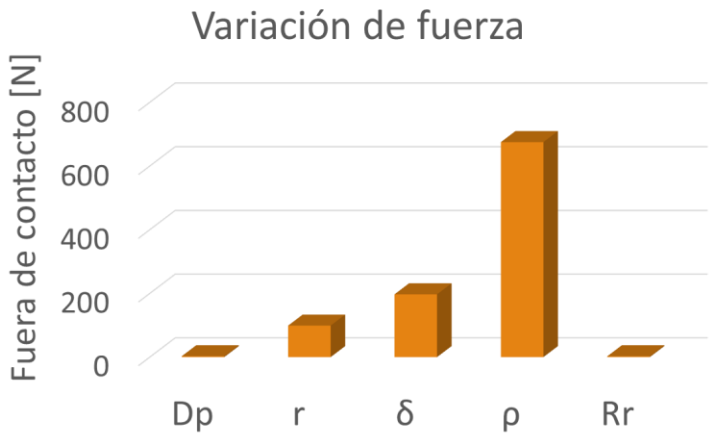




4.7 – RESUMEN DE RESULTADOS



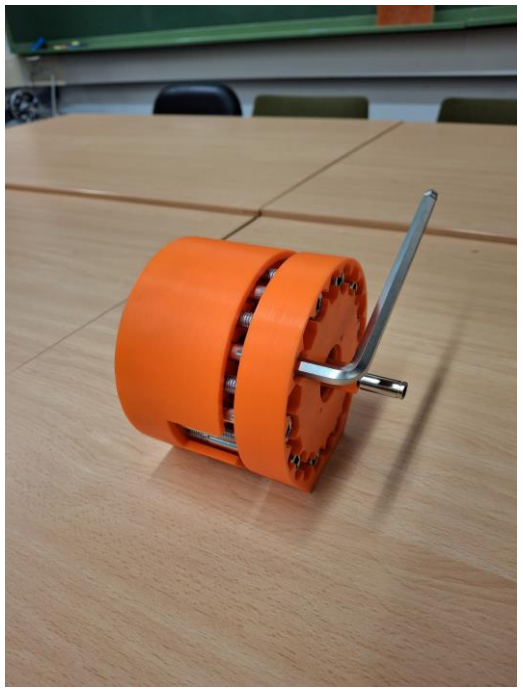




5.PROTOTIPO

5.1 – MEDIDAS DEFINITIVAS Y CONSTRUCCIÓN

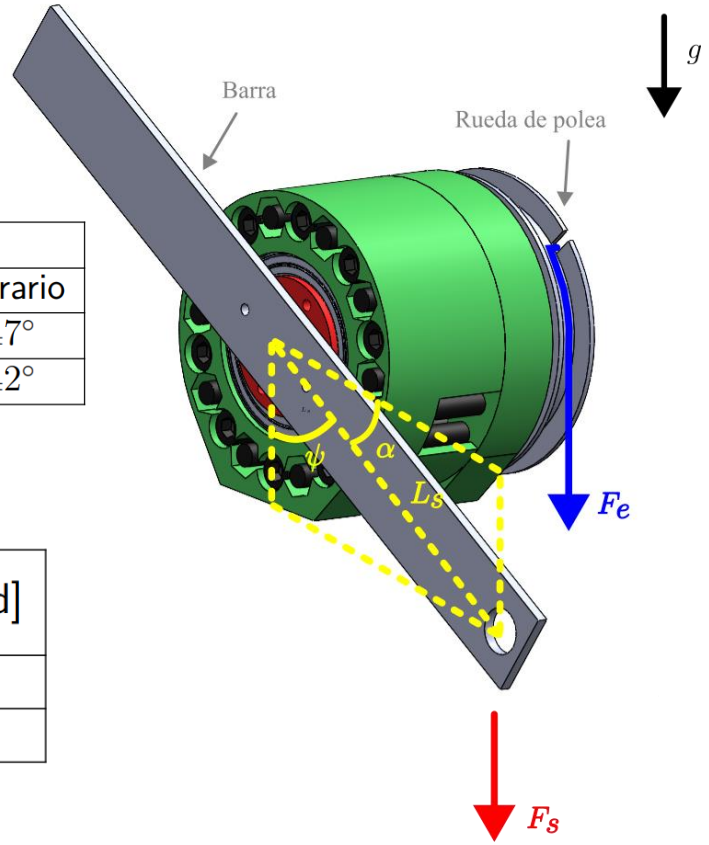
- Parámetros prototipo
  - ρ = 2,48 mm
  - R_r = 5 mm → Tornillos M10
  - D_p = 110 mm
  - r = 19
  - δ = 0,25 mm

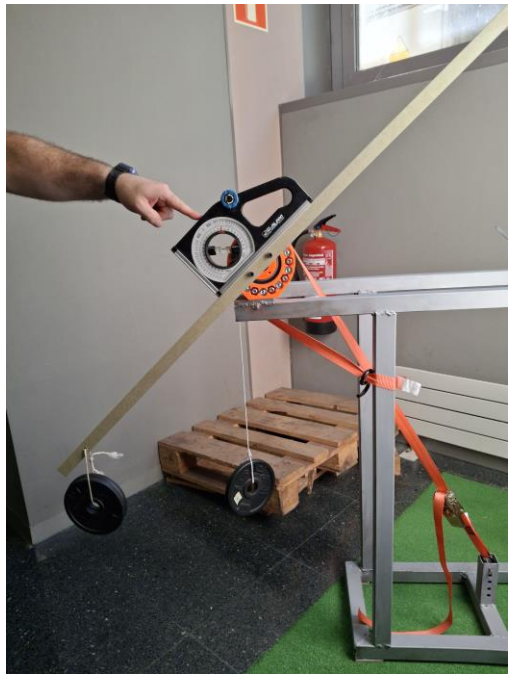


5.2 – ENSAYOS

Ensayos	Masa entrada [kg]	Masa salida[kg]	α	
			Antihorario	Horario
"1"	$1,070$	$3,043$	$53°$	$47°$
"2"	$2,039$	$5,073$	$46°$	$42°$

Ensayos	η		Holgura total [rad]
	Antihorario	Horario	
Prueba 1	$85,58\,\%$	$96,98\,\%$	$0,00637$
Prueba 2	$86,41\,\%$	$92,45\,\%$	$0,00749$





- Valor analítico de holgura: 0,011 rad

$$\eta = \frac{T_s\omega_s}{T_e\omega_e} = \frac{T_s\frac{\omega_e}{r}}{T_e\omega_e} = \frac{T_s}{T_e\cdot r}$$

$$T_s = L_s sin(\psi)\cdot F_s\cdot g$$

$$T_e = \left(\frac{110\,\text{mm}}{2} + \frac{2\,\text{mm}}{2}\right)\cdot F_e\cdot g$$

6.CONCLUSIONES

6.1 – CONCLUSIONES

- Se han determinado los parámetros de diseño.
- Se ha desarrollado un modelo analítico para predecir holguras y relación de transmisión
- Se ha desarrollado un modelo CAD.
- Se ha logrado una convergencia de resultados entre ambos modelos.
- Se ha visto que la tolerancia y la excentricidad son los parámetros más influyentes.
- Se ha construido un prototipo y realizado ensayos de holgura y rendimiento.

6.1 – TRABAJOS FUTUROS

- Considerar la tolerancia de fabricación como un incremento de D_p
- Considerar holguras provenientes de los defectos dimensionales en los taladros de salida.
- Realizar una simulación detallada del rendimiento y fuerzas de contacto del prototipo.
- Realizar un estudio vibratorio del comportamiento de la reductora.

¡MUCHAS GRACIAS POR SU ATENCIÓN!

ESCOLA POLITÉCNICA DE ENXEÑARÍA DE FERROL (EPEF) - UNIVERSIDADE DA CORUÑA (UDC)

Autor: Francisco Rodríguez Gavín

Tutor: Emilio Sanjurjo Maroño

TRABAJO DE FIN DE GRADO – INGENIERÍA MECÁNICA

22 DE SEPTIEMBRE DE 2025

UNIVERSIDADE DA CORUÑA

epef