

Rediseño de un engranaje planetario perteneciente a un motorreductor modelo MPIOZM-10

Redesign a planetary gear belonging to a model MPIOZM-10 gearmotor

Edgar Ernesto Molina Tons* edgarernetomolin121@gmail.com ⁽¹⁾

<https://orcid.org/0009-0009-3534-3138>

Ariana Rodríguez Suárez aroguez@ismm.edu.cu ⁽²⁾

<https://orcid.org/0000-0001-5898-2818>

Sulennis Torres Aguirre sulennistorres@gmail.com ⁽²⁾

<https://orcid.org/0009-0007-5318-8659>

Eider Sánchez Olivero esanchez@ismm.edu.cu ⁽²⁾

<https://orcid.org/0009-0005-9260-4833>

⁽¹⁾ Empresa Niquelífera Ernesto Che Guevara, Moa, Cuba

⁽²⁾ Universidad de Moa, Moa, Cuba

* Autor para la correspondencia

Resumen: Se desarrolló el rediseño del tren planetario del motorreductor soviético МПОЗМ-10 ubicado en la empresa productora de níquel Ernesto Che Guevara de Moa, mediante análisis dimensional de sus componentes: piñón solar, satélites y coronas dentadas. Se determinaron los parámetros geométricos mediante mediciones con calibradores de precisión, aplicando corrección de perfiles con factores entre -0,400 y +0,100 según el componente. Se seleccionaron aceros 18X y 40X según su composición química y se establecieron los tratamientos térmicos específicos para cada pieza. Los resultados incluyen el cálculo de módulo (1,5 mm), paso (4,71 mm), espesor de diente (2,35 mm) y los diámetros característicos de todos los componentes, proporcionando la documentación técnica completa para su fabricación. El diseño obtenido permite la recuperación de equipos industriales fuera de servicio.

Palabras clave: diseño de máquinas, dispositivo mecánico, equipo industrial, motores eléctricos, tecnología mecánica

Abstract: The redesign of the planetary gear of the Soviet motor-reducer МПОЗМ-10 located in the nickel-producing factory Ernesto Che Guevara de Moa was carried out through dimensional analysis of its components: solar pinion, satellites and crown wheels. The geometric parameters were determined by using precision calibrators, applying profile correction with factors ranging between -0.400 and +0.100 depending on the component. The 18X and 40X steels were selected according to their chemical composition and specific heat treatments were established for each piece. The results include module calculation (1.5 mm), pitch (4.71 mm), tooth thickness (2.35 mm) and characteristic diameters of all components, providing complete technical documentation for their manufacture. The design obtained allows recovering industrial equipment out of service.

Key Words: machine design, mechanical device, industrial equipment, electric motors, mechanical technology

1. Introducción

Los motorreductores son dispositivos mecánicos reguladores de la velocidad de transmisión, que integran un motor eléctrico con un reductor de velocidad. Esta adaptación se realiza a través de engranajes que adaptan la velocidad y la potencia (Bermúdez *et al.*, 2011).

Los engranajes son mecanismos necesarios para la transmisión de la potencia mecánica y los elementos de uso más común para estas transmisiones de un eje giratorio a otro (Kailuke y Yenarkar, 2013; Mott, *et al.*, 2018; Xu *et al.*, 2023; Ghorashi, 2025). La mayoría de las transmisiones por engranajes provocan un cambio en la velocidad del engranaje de salida en relación con el engranaje de entrada (Zamora-Hernández *et al.*, 2023; Arana *et al.*, 2025). Los engranajes planetarios tienen mejor relación de transmisión, alta capacidad de carga y mayor compacidad (Huo *et al.*, 2023) por lo que son ampliamente utilizados en la industria (Cooley *et al.*, 2014; Hu *et al.*, 2019).

Los sistemas de engranajes planetarios, por sus numerosas direcciones de transmisión de fuerza, son eficientes, pero sensibles a las variaciones de fabricación, la elasticidad y la excitación dinámica. Son susceptibles a errores de transmisión dependiendo de diversos actores que incluyen errores de montaje, excentricidad y dinamismo (Verucchi *et al.*, 2015; Huo *et al.*, 2023; Iglesias *et al.*, 2025; Letsela *et al.*, 2026). También se

reportan deformaciones de los dientes (Mena-Chavarrea *et al.*, 2023; Guerra *et al.*, 2025) provocando sobrecarga dinámica, ruido y vibraciones.

Los motorreductores planetarios soviéticos МПОЗМ-10 constituyen equipos críticos en los sistemas de electrofiltros de la industria niquelífera Che Guevara (Figura 1). Actualmente, varios de estos equipos se encuentran fuera de servicio debido al desgaste avanzado o rotura de los engranajes de su tren planetario, generando paradas productivas y afectando la eficiencia del proceso de filtrado industrial.



Figura 1. Motorreductor modelo МПОЗМ-10.

El tren planetario del МПОЗМ-10 está compuesto por un piñón solar de dos secciones (18 y 36 dientes), tres satélites con dos secciones cada una (47 y 48 dientes) y dos coronas dentadas (140 dientes). La complejidad de este sistema y la imposibilidad de obtener repuestos originales debido a la discontinuidad de fabricación, hacen necesario el rediseño de estos componentes mediante metodologías y técnicas precisas.

La corrección de perfiles en engranajes cilíndricos representa una técnica fundamental en el rediseño de componentes dentados. Como establecen González Rey *et al.* (2007) esta corrección permite mejorar la resistencia del dentado mediante el desplazamiento radial de la herramienta cortante, optimizando el perfil activo de los dientes para evitar interferencias en el engrane.

El mantenimiento y recuperación de los equipos en las empresas industriales favorece el aumento de la productividad, permite obtener una mayor relación costo-beneficio, aumentar las horas de servicio y mantener la eficiencia de los equipos (Luddey Marulanda & Trujillo, 2007). La optimización de los procesos, posibilita a las empresas reducir los tiempos de inactividad y maximizar la utilización de los recursos disponibles (Arroyo Vaca & Obando Quito 2022; Guillén-Sánchez & Depaz-Paucar, 2023). Según Cruz Deviana *et al.* (2025) el rediseño de elementos mecánicos es un proceso continuo

y esencial para la obtención de productos de calidad, reducir los tiempos de manufactura en procesos industriales e incrementar la durabilidad de las máquinas. Un rediseño a la configuración que proporciona el fabricante puede mejorar la gestión del proceso sin comprometer la calidad de los elementos (Yime & Páez, 2016; Aldea Molina, 2021; Chalupa *et al.*, 2023), por lo que establecer metodologías para el rediseño es de vital importancia, tomando en consideración las condiciones reales de trabajo (Montijo-Valenzuela, 2019; Cortez Olivera *et al.*, 2022).

Este trabajo tiene como objetivo rediseñar el tren planetario completo del motorreductor MPOZM-10 mediante análisis dimensional exhaustivo, aplicación de corrección de perfiles y selección adecuada de materiales y tratamientos térmicos, proporcionando la documentación técnica necesaria para la fabricación de los componentes y la recuperación de los equipos fuera de servicio en la industria niquelífera.

La investigación se desarrolla a través de mediciones dimensionales precisas de los componentes existentes, determinación de parámetros geométricos clave, aplicación de metodologías de cálculo de engranajes y establecimiento de especificaciones técnicas para fabricación, contribuyendo a la solución de una problemática industrial concreta mediante la aplicación de principios de ingeniería mecánica.

2. Materiales y métodos

El tren planetario a diseñar consta de varias piezas fundamentales como un piñón solar, tres satélites y dos coronas dentadas.

El piñón solar es el engranaje central fabricado de acero 18X que consta de 2 secciones con 18 dientes y un diámetro exterior de 30 mm. La segunda sección tiene 36 dientes y un diámetro exterior de 75 mm con una longitud de 72 mm. Cuenta con tres satélites de dos secciones cada uno. La sección mayor tiene 48 dientes y un diámetro exterior de 75 mm, la menor tiene 47 dientes y un diámetro exterior de 72.2 mm con una longitud de 55 mm. Posee 2 coronas dentadas, ambas con diámetro exterior de 213 mm y 140 dientes. La sección del dentado interior, que conjuga con la sección mayor del satélite, tiene 114 dientes y un diámetro interior 172.5 mm, y la que conjuga con la sesión menor, tiene 112 dientes y un diámetro interior de 166.5 mm, ambas con 18 mm de longitud y fabricadas de acero 40X.

Los diámetros corresponden a medidas exteriores e interiores reales tomadas de la muestra física sin incluir los cálculos. La cantidad de dientes es exacta según las mediciones realizadas.

2.1. Instrumentos de medición

Se utilizó un calibrador *Vernier* con resolución de 0.05 mm. Cada medición se realizó tres veces en diferentes posiciones y se tomó el valor promedio para minimizar errores. La incertidumbre de la medición se estimó en ± 0.02 mm.

2.2. Composición química del acero 40X Y 18X

La composición química del acero 40x revela un equilibrio diseñado para aplicaciones de alta exigencia mecánica. Para una mayor resistencia se debe aplicar un tratamiento térmico de temple + revenido para alcanzar una mayor resistencia a la fatiga (Tabla 1).

Tabla 1. Composición química del acero 40x

Elemento	Composición (%)
C (carbono)	0,36-0,44
Cr (cromo)	0,80-1,10
Ni (Níquel)	1,30-1,70
Mo (Molibdeno)	0,15-0,25
Si (silicio)	0,17-0,37
Mn (manganeso)	0,50-0,80

La formulación se enfoca en maximizar las propiedades superficiales del acero 40x. Esta composición está especialmente diseñada para partes donde se requiera máxima resistencia superficial al desgaste sin comprometer la tenacidad del núcleo (Tabla 2). Para ello se debe de realizar un tratamiento térmico de cementación + temple para asegurar una alta resistencia al desgaste.

Tabla 2. Composición química del acero 18x

Elemento	Composición (%)
C (carbono)	0,15-0,21
Cr (cromo)	0,90-1,20
Mn (manganeso)	0,80-1,10
Ti (titanio)	0,03-0,09

2.3. Metodología de cálculo para el tren planetario

El Módulo (M) indica el tamaño relativo de los dientes.

$$M = \frac{De}{N+2} \quad [1]$$

Donde

De: diámetro exterior tomado de la muestra física

N: número de dientes

La altura total del diente (h) es la parte que sobrepasa el diámetro primitivo y la altura de raíz.

$$h = 2,167 * Módulo \quad [2]$$

El espesor del diente (e) debe de ser suficiente para resistir las fuerzas sin fracturarse, pero no excesivo para evitar interferencias.

$$e = 0,5 * paso \quad [3]$$

El espacio entre dientes (c) es la ranura entre dos dientes consecutivos. Debe de coincidir con el espesor del diente del engranaje que lo acompaña para un acoplamiento preciso.

$$c = 0,5 * paso \quad [4]$$

Radio del pie del diente (R)

$$R = 0,3 * Módulo \quad [5]$$

Paso (P) es la distancia entre dos puntos homólogos de dientes consecutivos.

$$P = 3,1416 * M \quad [6]$$

Las ecuaciones 7-14 muestran las fórmulas para el cálculo de los diámetros primitivo, de cabeza para corona interior corregida, exterior para engranajes sin corrección, de cabeza del diente para piñones corregidos, de raíz del diente para piñón corregido, de raíz para corona interior corregida y de raíz para engranajes sin corrección.

El diámetro primitivo (D_p) es el diámetro teórico donde ocurre el contacto entre los engranajes.

$$D_p = M * N \quad [7]$$

El diámetro de cabeza para corona interior corregida (D_a) para engranajes con corrección este diámetro varío con respecto al estándar para evitar interferencia y mejorara el contacto.

$$D_a = D_p - 2M(1 - X) \quad [8]$$

Donde

D_p : diámetro primitivo

X: factor de corrección

El diámetro exterior para engranajes sin corrección (D_e) es el diámetro total del engranaje incluyendo los dientes.

$$D_e = M(N + 2) \quad [9]$$

Diámetro de cabeza del diente para piñones corregidos (D_a):

$$D_a = M(Z + 2 + 2x) \quad [10]$$

Donde

Z: número de dientes

El diámetro de raíz del diente para piñón corregido (D_f) define hasta donde llega el fondo del diente.

$$D_f = M(Z - 2,5 + 2X) \quad [11]$$

Diámetro de raíz para corona interior corregida (D_f):

$$D_f = D_p + 2M(1,25 + X) \quad [12]$$

La distancia entre centros (a) es la separación que hay entre los ejes de dos engranajes.

$$a = \frac{(z_2 - z_1)M}{2\cos\beta} \quad [13]$$

Diámetro de raíz para engranajes sin corrección (D_f):

$$D_f = D_{primitivo} - (2 * 1) \quad [14]$$

En la figura 2 se muestra la representación de algunos de los parámetros a calcular para el diseño de un engranaje con dentado interior y exterior.

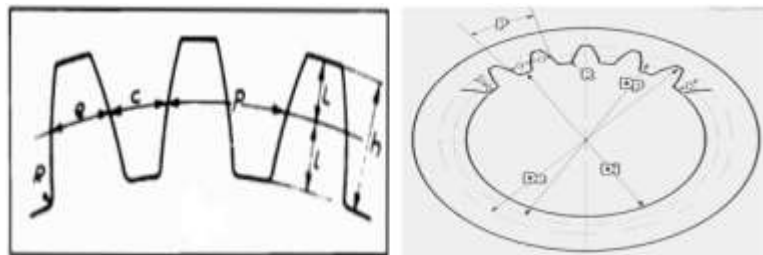


Figura 2. Diseño y cálculo de engranajes (Casillas, 2000).

2.4. Tratamientos térmicos para los componentes del tren planetario

El tratamiento para el acero 40X (satélites y corona dentada) consistió en un pre calentamiento hasta alcanzar la temperatura deseada. Luego se realizó un enfriamiento al aire libre en condiciones ambientales controladas. El propósito de este proceso fue refinar la estructura granular y eliminar tensiones internas de la forja o el mecanizado.

La segunda sección de temple consistió en el calentamiento en un horno atmosférico para evitar descarburación alrededor de una hora por cada milímetro de espesor. Luego se enfrió en aceite mineral a una velocidad controlada para evitar grietas.

Posteriormente se aplicó el revenido calentando la pieza y luego realizando el enfriamiento al aire libre. El objetivo de este tratamiento fue lograr una alta resistencia mecánica y un núcleo tenaz, con dureza superficial para resistir al desgaste (Ovalle, 2020; Parra, 2025).

2.5. Tratamiento térmico del acero 18X para el piñón solar

El tratamiento térmico para este acero constó de 3 etapas fundamentales.

- Se comenzó con la cementación que debe de realizarse en un horno atmosférico donde la pieza se expone a gases carburantes a altas temperaturas durante varias horas hasta crear una difusión de carbono en la capa superficial del material.

- Posterior a la cementación se le aplicó el temple que consiste en someter a la pieza a un enfriamiento rápido en líquido. Este proceso transforma la estructura cristalina de la zona superficial enriquecida con carbono, generando una capa extremadamente dura y resistente al desgaste.
- Como etapa final (revenido) se aplicó un calentamiento a la pieza de forma controlada a temperatura intermedia. Esto redujo las tensiones internas generadas durante el temple y mejoró la tenacidad del material.

3. Resultados y discusión

3.1. Análisis de los resultados obtenidos para los satélites sección A

En el desarrollo de los satélites para el engranaje planetario, se han obtenidos resultados significativos que permiten el diseño de estos componentes cruciales para el funcionamiento del sistema.

3.1.1. Características técnicas y resultados obtenidos durante el proceso

El cálculo del módulo arrojó un resultado de 1.5 mm. La altura del diente dio un resultado de 3.25 mm. Al utilizar un factor de corrección la altura del diente varió, quedando un resultado de 4.71 mm. El espesor del diente es de 2.35 mm.

Con base en el módulo y el coeficiente de corrección aplicado con un valor de 0.100 se han calculado los diámetros interior y exterior de los satélites, obteniendo como resultado un diámetro exterior 75.3 mm y un diámetro interior de 68.55 mm. El cálculo del diámetro primitivo es de 72 mm.

La distancia entre los centros planetarios es de 49.5 mm. Este valor es crítico para la alineación y el acoplamiento adecuado de los satélites en el sistema planetario, asegurando que las fuerzas se distribuyan de manera equilibrada y se minimicen las tensiones mecánicas.

La selección de un factor de corrección positivo ($X=+0.100$) para esta sección del satélite tuvo como objetivo principal aumentar el espesor de la base del diente, mejorando su capacidad para soportar la carga de flexión y reducir la concentración de tensiones en la raíz.

3.2. Análisis de los resultados obtenidos para los satélites sección B

Se verificó el módulo de 1.5 mm del satélite de la sección B mediante la ecuación 1. La geometría dentada presenta una altura de 3.25 mm, paso de 4.71 mm y espesor de 2.35 mm. Aplicando corrección ($X=-0.400$), se obtuvo un diámetro exterior de 72.3 mm (ecuación 10) e interior de 67.05 mm (ecuación 11), con diámetro primitivo de 70.5 mm (ecuación 7) y distancia entre centros de 48.75 mm (ecuación 13).

El factor de corrección ($X= -0,400$) aplicado en esta sección se justifica por la necesidad de evitar interferencias de engrane con la corona dentada conjugada, asegurando un contacto uniforme y eliminando la posibilidad de interferencia en los flancos.

3.3. Análisis de los resultados obtenidos para la corona dentada sección A002

La corona A002 se caracteriza por un módulo de 1.5 mm determinado con la ecuación 1. Sus parámetros geométricos incluyen altura de diente de 3.25 mm (ecuación 2), paso de 4.71 mm (ecuación 6) y espesor de 3.25 mm (ecuación 3). Los diámetros calculados son: primitivo 172 mm (ecuación 7), exterior 174.48 mm (ecuación 8) e interior 167.7 mm (ecuación 12).

3.4. Análisis de los resultados para la corona dentada sección B002 y B003

Las coronas B002/B003 emplean módulo de 1.5 mm (ecuación 1) con altura de diente de 3.25 mm (ecuación 2) y paso de 4.71 mm (ecuación 6). El espesor del diente es de 3.25 mm (ecuación 3). Los diámetros resultantes son: primitivo 210 mm (ecuación 7), exterior 213 mm (ecuación 9) e interior 208 mm (ecuación 14).

3.5. Análisis de los resultados obtenidos para la corona dentada sección A003

Mediante la ecuación 1 se confirmó el módulo de 1.5 mm para el diseño de la corona A003. La configuración dentada muestra una altura de 3.25 mm (ecuación 2), paso de 4.71 mm (ecuación 6) y espesor de 3.25 mm (ecuación 3). Los diámetros característicos son: primitivo 168 mm (ecuación 7), exterior 171.45 mm (ecuación 8) e interior 164.7 mm (ecuación 12).

3.6. Análisis de los resultados obtenidos para el piñón solar sección A

El piñón solar fue diseñado con un módulo de 1.5 mm, lo que indica una relación adecuada con el tamaño del diente. La altura del diente de 3.25 mm y el paso del diente de 4.71 mm son parámetros que aseguran un buen engranaje y una transmisión eficiente. El espesor del diente de 3.25 mm, determinado mediante la ecuación 3, es coherente con las dimensiones generales del engranaje.

Los diámetros primitivos, exterior e interior son igualmente significativos en el diseño del piñón solar, obteniendo un diámetro exterior de 30 mm (ecuación 9) e interior de 25 mm (ecuación 14) asegurando una correcta alineación y funcionalidad. Se estableció el diámetro primitivo de 27 mm mediante la ecuación 7.

3.7. Análisis de los resultados obtenidos para el piñón solar sección B

El diseño de la corona A003 confirma el módulo de 1.5 mm. La configuración dentada muestra una altura de 3.25 mm, paso de 4.71 mm y espesor de 3.25 mm. Los diámetros característicos son: primitivo 168 mm, exterior 171.45 mm e interior 164.7 mm.

4. Conclusiones

Se logró desarrollar el diseño completo de los engranajes planetarios del motorreductor МПОЗМ-10, determinando todos los parámetros geométricos necesarios para la fabricación.

La aplicación de corrección de perfiles con factores entre -0,400 y +0,100 optimizó las condiciones de engrane en cada componente según sus requerimientos específicos.

Los satélites sección A y B presentan diámetros primitivos de 72 mm y 70,5 mm respectivamente, con correcciones positiva y negativa adaptadas a sus funciones.

Las coronas dentadas A002, B002/B003 y A003 muestran diámetros primitivos de 172 mm, 210 mm y 168 mm respectivamente, garantizando la correcta relación cinemática.

La documentación técnica generada permite la fabricación de las piezas con equipos convencionales, proporcionando una solución práctica para el mantenimiento de equipos industriales.

Referencias bibliográficas

- Aldea Molina, A.L. (2021). Influencia del rediseño de los procesos productivos de una empresa de envolturas flexibles basado en la mejora continua. *Revista Industrial Data* 24(1), 7-22. <https://dx.doi.org/10.15381/idata.v24i1.19616>
- Arana, A., Ulacia, I., Larrañaga, J., Iñurritegui, A., & San José, E. (2025). Modelo térmico-dinámico acoplado para engranajes rectos de alta velocidad. *Anales De Ingeniería Mecánica*, 1(24). <https://doi.org/10.63450/aim.1.193.2025>
- Bermúdez, H.H., Gallego, H.A., & Bermúdez, H.F. (2011). Prototipo mecatrónico para la enseñanza y el aprendizaje del movimiento armónico simple. *Scientia et technica*, 16(49), 245-252. <https://www.redalyc.org/pdf/849/84922625041.pdf>
- Casillas, A.L. (2000). *Diseño y Cálculo de Engranajes*. Editorial Paraninfo.
- Cooley, C.G., & Parker, R.G. (2014). A Review of Planetary and Epicyclic Gear Dynamics and Vibrations Research. *Journal of Applied Mechanics*, 66(4). <http://doi.org/10.1115/1.4027812>
- Cortez Olivera, R., Martínez Cosgalla, J.J., & Santana Villarreal, J. (2022). Propuesta metodológica para el rediseño de una pieza automotriz, utilizando simulación matemática. *Revista de Ingeniería Industrial y Mecánica*, 6(11), 16-16. <https://hologramatica.unlz.edu.ar/index.php/riym/article/view/102>
- Cruz Deviana, M.R., Olmedo Obrero, G., Aguilar Pérez, A., Padilla García, E.A., & Rosas Amaro, M.C. (2025). Análisis y rediseño de una impresora 3d tipo cartesiana. *Humanidades, Tecnología y Ciencia, del Instituto Politécnico Nacional*, 3, 21-26. https://revistaelectronica-ipn.org/ResourcesFiles/Contenido/33/TECNOLOGIA_33_001345.pdf
- Chalupa, V., Stanek, M., Vanek, J., Strnad, J., & Ovsik, M. (2023). Design of Dual-Head 3D. Printer, *Manufacturing Technology*, 23(2), 177–185. <https://doi.org/10.21062/mft.2023.032>
- Ghorashi, M. (2025). Fixed-Axis and Planetary Gear Trains. In *Introduction to Machine Dynamics*. Cham: Springer Nature Switzerland. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-94736-0_7

- González Rey, G., Frechilla Fernández, P., & García Martín, R.J. (2007). Coeficiente de corrección en engranajes cilíndricos como factor de conversión entre sistemas AGMA e ISO. *Ingeniería Mecánica*, 10(3), 63-69. <https://www.redalyc.org/pdf/2251/225115060009.pdf>
- Guerra, D., Pedrero, J.I., Pleguezuelos, M., & Sánchez, M.B. (2025). Determinación de la profundidad de rebaje óptima para reductoras planetarias. *Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica*, 29(1), 17-30. <https://doi.org/10.5944/ribim.29.1.44287>
- Guillén-Sánchez, J.S., & Depaz-Paucar, Á. (2023). Mantenimiento productivo total en la eficiencia productiva de las empresas industriales: una breve revisión de literatura. *Signos, Investigación en Sistemas de Gestión*, 16(1). <https://doi.org/10.15332/24631140.8807>
- Hu, Y., Ryali, L., Talbot, D., & Kahraman, A. (2019). A theoretical study of the overall transmission error in planetary gear sets. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C. *Journal of Mechanical Engineering Science*, 233(21-22), 7200-7211. <http://doi.org/10.1177/0954406219830436>
- Huo, G., Sánchez-Espiga, J., Iglesias Santamaria, M., Fernández-del-Rincón, A., Jiao, Y., & Viadero-Rueda, F. (2023). Influence of manufacturing errors on the behavior of a two-stage planetary gear train. *DYNA*, 98(4), 384.390. <https://doi.org/10.6036/10879>
- Iglesias, M., Fernández Del Rincón, A., De-Juan, A., Díez-Ibarbia, A., García, F., & Viadero, P. (2015). Advanced model for the calculation of meshing forces in spur gear planetary transmissions. *Meccanica*, 50(7), 1869-1894. <http://doi.org/10.1007/s11012-015-0130-3>
- Kailuke, J., & Yenarkar, Y. (2013). Investigation of stresses in the thin rimmed spur gear tooth using fem. *IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology*, 2, 437-441. <https://ijret.org/volumes/2013v02/i11/IJRET20130211064.pdf>
- Letsela, M., Filipeson, D., Tchomeni, B.X., & Alugongo, A.A. (2026). Transmission error in Planetary gear Systems as an excitation Source Influencing vibration response and

wear Mechanisms. *Engineering Proceedings*, 132(1).
<https://doi.org/10.3390/engproc2026132003>

Luddey Marulanda, J., & Trujillo, G. (2007). Recuperación de piezas desgastadas con recubrimientos protectores. *Scientia et Technica*, XIII(37), 199-204.
https://www.redalyc.org/pdf/849/Resumenes/Resumen_84903734_1.pdf

Mena Chavarrea, J.M., Granizo, J.A., Hernández Dávila, E.S., & Audelo Guevara, M.E. (2023). Calculation of abrasive wear speed in straight and helical gears with evolving profile, using a Matlab Gui. *Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología*, 29. <https://doi.org/10.17163/ings.n29.2023.03>

Montijo-Valenzuela, E.E. (2019). Metodología de cálculo teórico y diseño computarizado de un engrane planetario para aplicación en generador eólico por medio de programa computarizado. *Revista de Investigación Académica Sin Frontera*, 12(29).
<https://doi.org/10.46589/rdiasf.v0i29.204>

Mott, R., Vavrek, E.M., & Wang, J. (2018). *Machine elements in mechanical design*. Pearson Education. <https://ftp.idu.ac.id/wp-content/uploads/ebook/tdg/DESIGN%20SISTEM%20DAYA%20GERAK/Machine%20Elements%20in%20Mechanical%20Design.pdf>

Ovalle, S.J. (2020). *Práctica sobre temple y revenido: tratamiento térmico en aceros*. <https://www.academia.edu/44458155/PRÁCTICA SOBRE TEMPLE Y REVENIDO Tratamiento térmico en Acero>

Parra, P. (2025). *Tratamientos térmicos en el acero: temple, revenido y recocido*. Transformados Metálicos Toral. <https://transformadosmetalicostoral.com/tratamientos-termicos-en-el-acero-temple-revenido-recocido/>

Verucchi, C.J., Bossio, G.R., Bossio, J.M., & Acosta, G.G. (6-9 de octubre de 2015). *Detección de fallas en reductores a engranajes impulsados por motores de inducción: un estudio experimental*. XVI Reunión de Trabajo en Procesamiento de la Información y Control, Argentina. <https://bicyt.conicet.gov.ar/fichas/produccion/en/5573581>

Xu, H., Ren, H., & Qin, D. (2023). Dynamic characteristics of the planetary gear system with rolling bearing. *Multibody System Dynamics*, 59(2), 171-191. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11044-023-09905-9>

Yime, E., & Páez, J. (2016). Rediseño y automatización de un molde para la fabricación de Vitricas Refrigeradas usando inyecciones de espuma de Poliuretano. *Ingeniería*, 21(3), 290-304. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.reving.2016.3.a03>

Zamora-Hernández, Y.K., Santana-Reyes, S.A., Morales-Tamayo, Y., Cárdenas-Yanez, R.A., & Jacome-Alarcon, L.F. (2023). Procedimiento para la determinación de la calidad geométrica del perfil del diente en engranajes cilíndricos de dientes rectos. *Revista EIA*, 20(40), 1-19. <https://doi.org/10.24050/reia.v20i40.1686>

Conflicto de intereses: Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

Contribución de autoría según taxonomía CRediT

Edgar E. Molina Tons: Conceptualización/Investigación/Análisis formal de los datos/Redacción - borrador original

Ariana Rodríguez Suárez: Conceptualización Metodología/Análisis formal de los datos/Supervisión/Validación/Redacción – revisión y edición

Surlenis Torres Aguirre: Investigación/Visualización/Redacción - borrador original

Eider Sánchez Olivero: Curación de datos/Metodología/Visualización