



II SIMPOSIO DE DISEÑO Y INGENIERÍA ASISTIDA POR COMPUTADORA, BIOMECÁNICA Y MECATRÓNICA

Proyecto CAD para caja de engranajes

Gearbox CAD project

Asafe Almeida Pinheiro¹, Louis Dias Asensi², Thassio Henrique da Silva³, Edry Antonio Garcia Cisneros⁴, João Evangelista Neto⁵, Eduardo Rafael Barreda⁶

- 1- Asafe Almeida Pinheiro. Universidade do Estado de Amazonas, Brasil. E-mail: aap.eng22@uea.edu.br
- 2- Louis Dias Asensi. Universidade do Estado de Amazonas, Brasil. E-mail: lda.eng21@uea.edu.br
- 3- Thassio Henrique da Silva. Universidade do Estado de Amazonas, Brasil. E-mail: thdsl.eng22@uea.edu.br
- 4- Edry Antonio Garcia Cisneros. Universidade do Estado de Amazonas, Brasil. E-mail: ecisneros@uea.edu.br
- 5- João Evangelista Neto. Universidade do Estado de Amazonas, Brasil. E-mail: jneto@uea.edu.br
- 6- Eduardo Rafael Barreda. Universidade do Estado de Amazonas, Brasil. E-mail: ecampo@uea.edu.br
- 7- Daniel Guzman del Rio. Universidade do Estado de Amazonas, Brasil. E-mail: drio@uea.edu.br

Resumen:

En el contexto de los proyectos mecánicos, la fabricación aditiva (FA) se ha empleado en la creación de prototipos funcionales, la validación de formas y ensamblajes, e incluso en la producción de componentes finales para aplicaciones con baja demanda o geometrías complejas. Los estudios indican que el uso de esta tecnología puede reducir significativamente el tiempo de desarrollo y mejorar el rendimiento de los productos mecánicos mediante la optimización topológica (Yang et al., 2018). La fabricación aditiva representa un cambio de paradigma en la ingeniería mecánica, ya que permite proyectos



XII CONFERENCIA CIENTIFICA INTERNACIONAL DE INGENIERIA MECANICA

más ágiles, eficientes e innovadores, pero requiere un reajuste metodológico en los procesos de diseño y fabricación. El objetivo de este artículo es estudiar el proceso de fabricación de engranajes utilizando tecnología de impresión 3D para la construcción de una caja reductora funcional y eficiente. Se eligió la impresión 3D por su flexibilidad en la creación de prototipos y su fabricación rápida y económica. La metodología utilizada incluye el diseño y el modelado en CAD, optimizando parámetros como el número y el perfil de los dientes, el diámetro, el módulo y el ángulo de presión. Se considera la viabilidad de la impresión 3D como alternativa económica y accesible en comparación con los métodos tradicionales, además de analizar posibles aplicaciones industriales, como en robótica y en sistemas automotrices a pequeña escala.

Palabras Clave: Fabricación, manufactura aditiva, CAD, engranajes.

Abstract

In the context of mechanical projects, additive manufacturing (AM) has been used in functional prototyping, shape and assembly validation, and even in the production of final components for applications with low demand or complex geometries. Studies indicate that the use of this technology can significantly reduce development time and improve the performance of mechanical products through topological optimization (Yang et al., 2018). Additive manufacturing represents a paradigm shift in mechanical engineering, enabling more agile, efficient, and innovative designs, but requiring a methodological readjustment in design and manufacturing processes. This article aims to study the gear manufacturing process using 3D printing technology to build a functional and efficient reduction gearbox. 3D printing was chosen for its flexibility in prototyping and fast and inexpensive manufacturing. The methodology used includes CAD design and modeling, optimizing parameters such as number and profile of teeth, diameter, module, and pressure angle. The feasibility of 3D printing as an economical and accessible alternative to traditional methods is considered, in addition to analyzing possible industrial applications, such as in robotics and small-scale automotive systems.

Keywords: manufacturing, additive manufacturing, CAD, gears.



XII CONFERENCIA CIENTIFICA INTERNACIONAL DE INGENIERIA MECANICA

1. Introducción

Los mecanismos de transmisión son fundamentales para el funcionamiento de los sistemas mecánicos, ya que permiten adaptar y controlar la potencia generada por máquinas motrices, como motores eléctricos, motores de combustión interna y turbomáquinas. Mediante mecanismos como correas, cadenas y engranajes, estas transmisiones ajustan las características dinámicas de la energía motriz, garantizando que las fuerzas y los movimientos se adapten a las necesidades específicas de los procesos industriales. Entre estas soluciones, las cajas reductoras desempeñan un papel fundamental, ya que convierten el par y la velocidad de forma eficiente y precisa, y se utilizan ampliamente en sectores como el automovilístico, el industrial y el energético.

Los engranajes, elemento central de las cajas reductoras, destacan por su versatilidad y eficiencia. Pueden transmitir potencia en diferentes configuraciones de ejes, desde ejes paralelos hasta disposiciones no coplanares, y son capaces de funcionar desde micro potencias en instrumentos de medición hasta grandes potencias en barcos. Sus ventajas incluyen alta durabilidad, transmisión sin deslizamiento, precisión en los movimientos y bajo índice de mantenimiento. Sin embargo, retos como los costes más elevados y el mayor nivel de ruido de funcionamiento siguen siendo aspectos a tener en cuenta.

En los últimos años, la fabricación aditiva ha transformado la forma en que se diseñan y producen los componentes mecánicos, incluidos los engranajes y las cajas de reducción. El objetivo de este artículo es estudiar el proceso de fabricación de engranajes utilizando tecnología de impresión 3D para la construcción de una caja reductora funcional y eficiente. Se eligió la impresión 3D por su flexibilidad en la creación de prototipos y su fabricación rápida y económica. La metodología utilizada incluye el diseño y el modelado en CAD, optimizando parámetros como el número y el perfil de los dientes, el diámetro, el módulo y el ángulo de presión.

Esta tecnología se destaca, principalmente por su mayor libertad de diseño, reducción de peso y prototipado rápido, lo que permite soluciones personalizadas para aplicaciones específicas.



XII CONFERENCIA CIENTIFICA INTERNACIONAL DE INGENIERIA MECANICA

2. Desarrollo

La fabricación aditiva (FA), comúnmente conocida como impresión 3D, ha revolucionado el desarrollo de proyectos mecánicos al permitir la fabricación de piezas complejas directamente a partir de modelos digitales, eliminando etapas intermedias y reduciendo significativamente el tiempo y el coste de desarrollo (Gibson, Rosen y Stucker, 2015). A diferencia de los métodos tradicionales de mecanizado, que son esencialmente sustractivos, la fabricación aditiva construye los objetos capa por capa, lo que proporciona una mayor libertad de diseño y permite la creación de geometrías que antes eran inviables (Gebhardt, 2016).

En el contexto de los proyectos mecánicos, la MA se ha empleado en la creación de prototipos funcionales, la validación de formas y montajes, e incluso en la producción de componentes finales para aplicaciones con baja demanda o geometrías complejas. Los estudios indican que el uso de esta tecnología puede reducir significativamente el tiempo de desarrollo y mejorar el rendimiento de los productos mecánicos mediante la optimización topológica (Yang et al., 2018).

Además, la integración de la AM en los entornos de ingeniería asistida por ordenador (CAE) y prototipado rápido facilita las iteraciones de diseño y permite análisis mecánicos más detallados en las fases iniciales del desarrollo (Rosen, 2007). Este enfoque favorece la innovación en sectores como el aeroespacial, el automovilístico y el biomédico, que exigen piezas ligeras, resistentes y con tolerancias estrictas.

El avance de los materiales utilizados, incluyendo aleaciones metálicas y compuestos, también ha ampliado el alcance de la MA en los proyectos mecánicos, permitiendo aplicaciones estructurales y funcionales con un rendimiento comparable al de las piezas producidas por métodos tradicionales (Herzog et al., 2016).

Sin embargo, aún quedan retos por superar, como el control de calidad, la estandarización de los procesos y la garantía de propiedades mecánicas predecibles. Estudios recientes indican que los enfoques integrados de diseño, simulación y control de procesos son esenciales para garantizar la fiabilidad y la reproducibilidad de los componentes producidos por AM (Frazier, 2014; Thompson et al., 2016).

La fabricación aditiva representa un cambio de paradigma en la ingeniería mecánica, ya que permite diseños más ágiles, eficientes e innovadores, pero requiere una readaptación metodológica en los procesos de diseño y fabricación.



XII CONFERENCIA CIENTIFICA INTERNACIONAL DE INGENIERIA MECANICA

Los engranajes se han utilizado a lo largo de la historia como elemento fundamental para la transmisión mecánica. Por definición, son ruedas con dientes estandarizados diseñadas para transmitir fuerza entre sus ejes, funcionando en pares, encajando el diente de un engranaje en el hueco de otro, transmitiendo así movimiento, alterando la velocidad angular, el par y la dirección del movimiento de un eje en relación con el otro. Su geometría no permite el deslizamiento, lo que permite aumentar o reducir el momento de torsión sin pérdidas significativas de energía. Tienen diversas geometrías para diferentes propósitos, esenciales para convertir y adaptar fuerzas, lo que permite avances tecnológicos en áreas como el transporte, la industria, la robótica y la generación de energía, siendo hasta hoy vitales para el funcionamiento de diversos sistemas mecánicos. Los engranajes son componentes clave dentro de las cajas de reducción.

Los engranajes de dientes rectos, tienen dientes paralelos al eje de rotación y se utilizan para transmitir el movimiento de un eje a otro paralelo al primero. Estos engranajes tienen un alto rendimiento, son fáciles de fabricar y sus principales aplicaciones son máquinas industriales, cintas transportadoras y transmisiones de baja velocidad.

Los engranajes helicoidales tienen dientes en ángulo, lo que proporciona un funcionamiento suave y silencioso, especialmente a velocidades más altas, y tienen una mayor capacidad de carga debido al contacto gradual de las cargas. Se utilizan principalmente en transmisiones automotrices, ascensores, equipos industriales de par medio y alto y transportadores de carga.

Los engranajes cónicos tienen dientes con forma de superficies cónicas y se utilizan para transmitir movimiento entre ejes que se cruzan, utilizados en sistemas diferenciales de vehículos, cajas de transmisión y máquinas herramienta.

El diseño de un engranaje implica la definición de diversos parámetros técnicos que determinan su rendimiento y eficiencia. A continuación, serán mencionados, algunos de los conceptos principales utilizados para diseñar y fabricar los engranajes que se utilizarán en este proyecto:

El módulo es uno de los parámetros principales cuando se trata de engranajes y es el parámetro relacionado con el tamaño de los dientes. Se define como la relación entre el diámetro primitivo del engranaje y el número de dientes:

$$m = d_p / N$$



XII CONFERENCIA CIENTIFICA INTERNACIONAL DE INGENIERIA MECANICA

Siendo d_p el diámetro primitivo y N el número de dientes. Por lo general, el módulo se expresa en milímetros y, cuanto mayor sea el módulo, mayor será el tamaño de los dientes del engranaje.

De esta forma, cada valor del módulo influye directamente en la resistencia del engranaje, ya que los módulos más grandes generan dientes más robustos y los más pequeños, menos robustos.

Número de dientes (N)

El número de dientes de un engranaje es crucial, ya que influye directamente en la relación de transmisión y también en el contacto entre los engranajes. Cuando se trata de engranajes con más dientes, estos tienden a transmitir el movimiento de forma más suave, pero cuantos más dientes haya, mayor será el engranaje. La cantidad de dientes se definirá de acuerdo con la relación que se desee que tenga el conjunto de engranajes al final.

El diámetro primitivo es el diámetro teórico en el que se produce el contacto ideal entre dos engranajes cuando están juntos (acoplados). Se calcula teniendo en cuenta el número de dientes y el módulo del engranaje. El diámetro primitivo se utiliza como referencia para el cálculo de otros parámetros relacionados con los engranajes y es esencial.

El ángulo de presión es el ángulo formado entre la línea de acción (la línea a lo largo de la cual se transmite la fuerza entre los dientes) y la tangente al diámetro primitivo del engranaje. Por lo general, el ángulo de presión es de 20° y ese será también el valor utilizado en el presente proyecto, pero puede variar dependiendo del tipo de aplicación. Este ángulo afecta directamente a la forma de los dientes del engranaje y a la eficiencia de la transmisión de fuerza. Un ángulo mayor puede aumentar la capacidad de carga del engranaje, pero puede generar más ruido, como es el caso de los engranajes comúnmente llamados en el ámbito de la preparación automotriz de engranajes «forjados», que son engranajes rectos y generan más ruido, pero son más resistentes.

La relación de transmisión entre dos engranajes es la relación entre el número de dientes del engranaje motor (N_1) y el engranaje movido (N_2), según la fórmula: $i = N_1/N_2$

En el proyecto en cuestión, la relación final deseada es de 3,8, lo que significa que el engranaje movido deberá girar 3,8 veces más lentamente que el engranaje motor. Esto aumenta el par disponible en la salida, lo que lleva a la conclusión de que al final será una caja reductora.



XII CONFERENCIA CIENTIFICA INTERNACIONAL DE INGENIERIA MECANICA

Autodesk Inventor es una potente herramienta de modelado CAD que permite la creación detallada de diversos componentes mecánicos, como engranajes. En el proyecto, utilizamos el módulo específico para engranajes, que en este caso es el 2 del software, donde es posible ajustar todos los parámetros mencionados anteriormente para crear un conjunto de engranajes funcional. Los cuatro engranajes rectos se diseñaron basándose en los cálculos del módulo, el número de dientes y el diámetro primitivo, optimizándolos para que la relación de transmisión entre las etapas cumpliera con la relación final de 3,8. Los dos engranajes cónicos se diseñaron para cambiar la dirección del par entre ejes que se cruzan en ángulo, una característica común en los sistemas de transmisión automotriz en general.

3. Metodología

La metodología seguida se ajusta a las condiciones de un proyecto docente. En el diagrama de bloques abajo se describen las etapas seguidas.

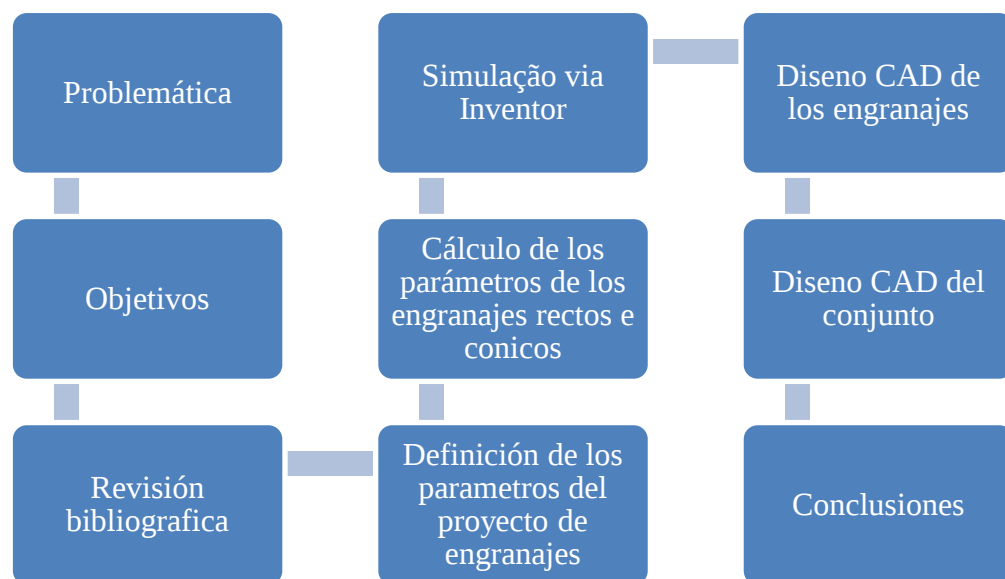


Figura 1. Diagrama de la estructura analítica seguida en el trabajo. Fuente: Autores, 2025

3. Resultados y discusión

A continuación, son mostrados los parámetros de los engranajes proyectados tanto para los dientes rectos como para los dientes cónicos en las figuras 2 y 3.



XII CONFERENCIA CIENTIFICA INTERNACIONAL DE INGENIERIA MECANICA

The figure displays three screenshots of a software interface for calculating gear parameters. The top two screenshots show individual gear settings for two gears, and the bottom screenshot shows the combined settings for a gear pair.

Top Left Screenshot (Gear 1):

- Atributos comuns: Saida do projeto, Distância do centro, Coeficiente de engrenagem desajado, Módulo, Distância do centro, Engrenagem1, Componente, Número de dentes, Largura da face, Correção de unidades.
- Engrenagem2: Componente, Número de dentes, Largura da face, Correção de unidades.
- Buttons: Calcular, OK, Cancelar.

Top Right Screenshot (Gear 2):

- Atributos comuns: Saida do projeto, Distância do centro, Coeficiente de engrenagem desajado, Módulo, Distância do centro, Engrenagem1, Componente, Número de dentes, Largura da face, Correção de unidades.
- Engrenagem2: Componente, Número de dentes, Largura da face, Correção de unidades.
- Buttons: Calcular, OK, Cancelar.

Bottom Screenshot (Gear Pair):

- Atributos comuns: Coeficiente de engrenagem, Módulo, Engrenagem1, Componente, Número de dentes, Correção de unidades, Deslocamento tangencial.
- Engrenagem2: Componente, Número de dentes, Correção de unidades, Deslocamento tangencial.
- Buttons: Calcular, OK, Cancelar.
- Footer: Tipo de entrada, Tipo de tamanho, Tamanhos de dentes unitários, Adendo, Foiga, Arredondamento de raiz.

Figura 2. Parâmetros de los engranajes rectos

Figura 3. Parâmetros de los engranajes cónicos.

Diseño CAD de los engranajes

Los engranajes se generaron por separado y se agruparon en conjuntos dobles, tal y como se muestra en las siguientes imágenes de las figuras 4 y 5.



XII CONFERENCIA CIENTIFICA INTERNACIONAL DE INGENIERIA MECANICA

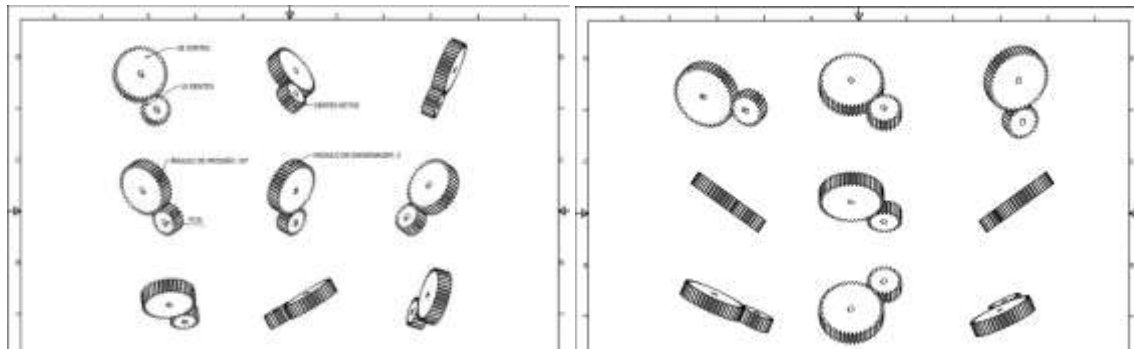


Figura 4. Vista de la agrupación de los engranajes rectos. Autores, 2025

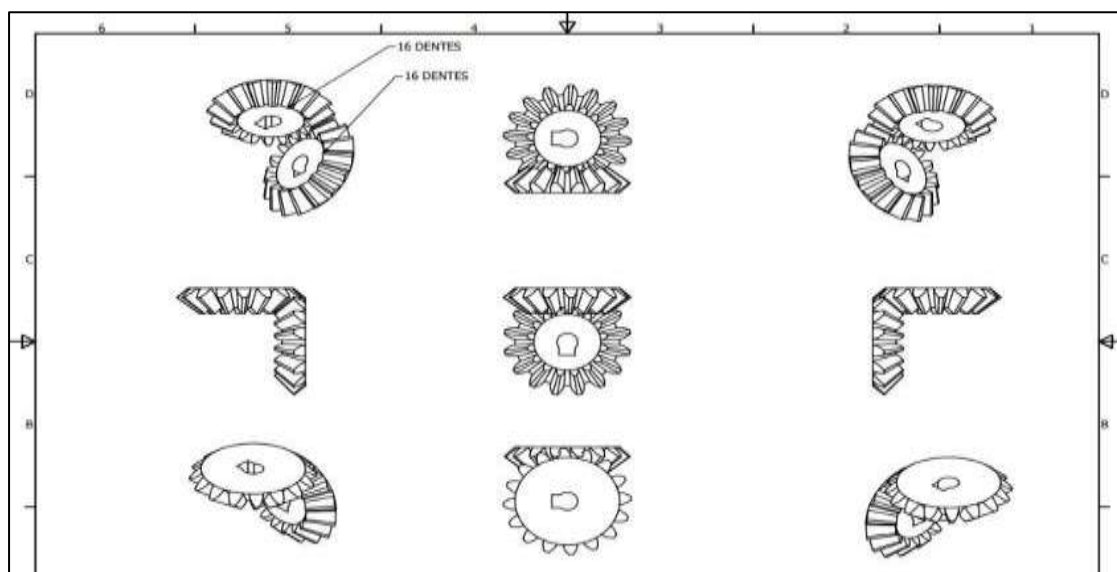


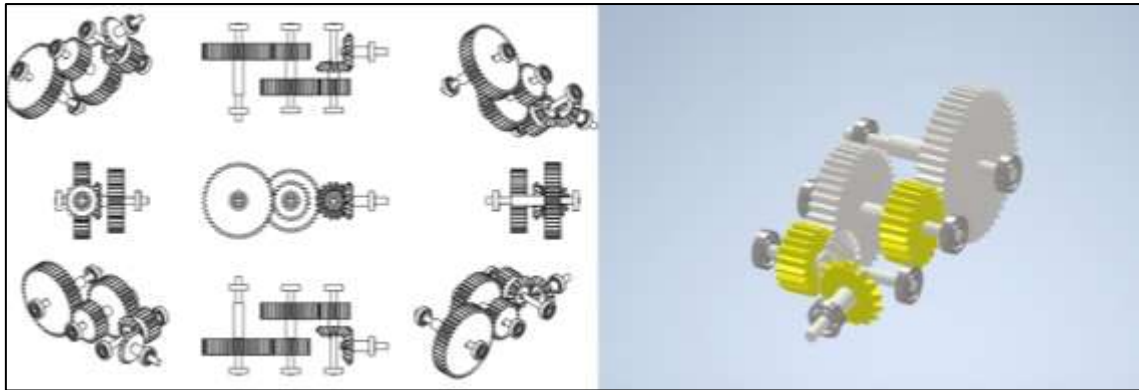
Figura 5. Vista de la agrupación de los engranajes cónicos. Autor4e, 2025

Diseño CAD del conjunto de engranajes.

Una vez finalizados los engranajes, se inició la creación del conjunto acoplando todos los engranajes creados según las imágenes de las figuras 6 y 7 siguientes:

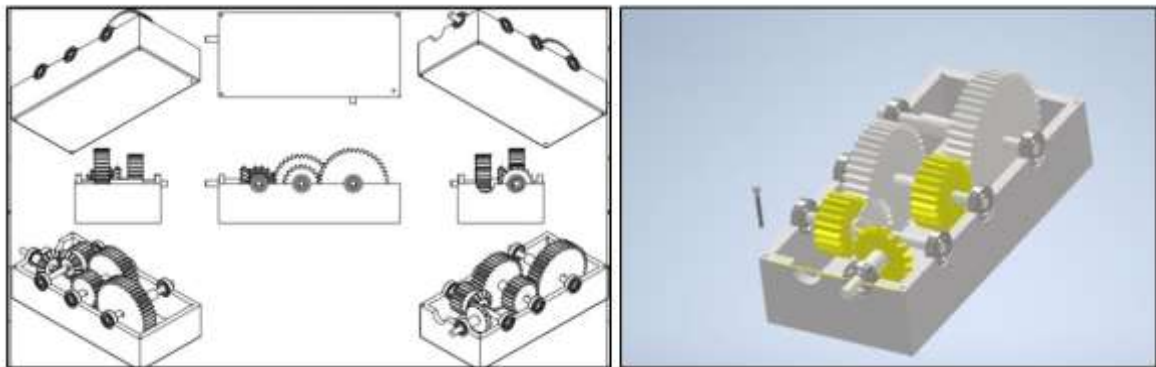


XII CONFERENCIA CIENTIFICA INTERNACIONAL DE INGENIERIA MECANICA



Figuras 6 y 7. Conjunto acoplando todos los engranajes y vista 3D colorida. Autores, 2025.

Una vez creado el conjunto, se inició la construcción de la base según las imágenes que se muestran a continuación:



Figuras 8 y 9. Dibujos CAD del conjunto de engranajes.

En la imagen detallada que aparece a continuación se pueden observar todos los componentes de la caja reductora diseñada, tanto los engranajes rectos y cónicos como los ejes y tornillos. A la derecha de la imagen la lista con los detalles de todas las piezas componentes, así como, algunas observaciones sobre cojinetes y los tornillos de tipo Phillips.



XII CONFERENCIA CIENTIFICA INTERNACIONAL DE INGENIERIA MECANICA

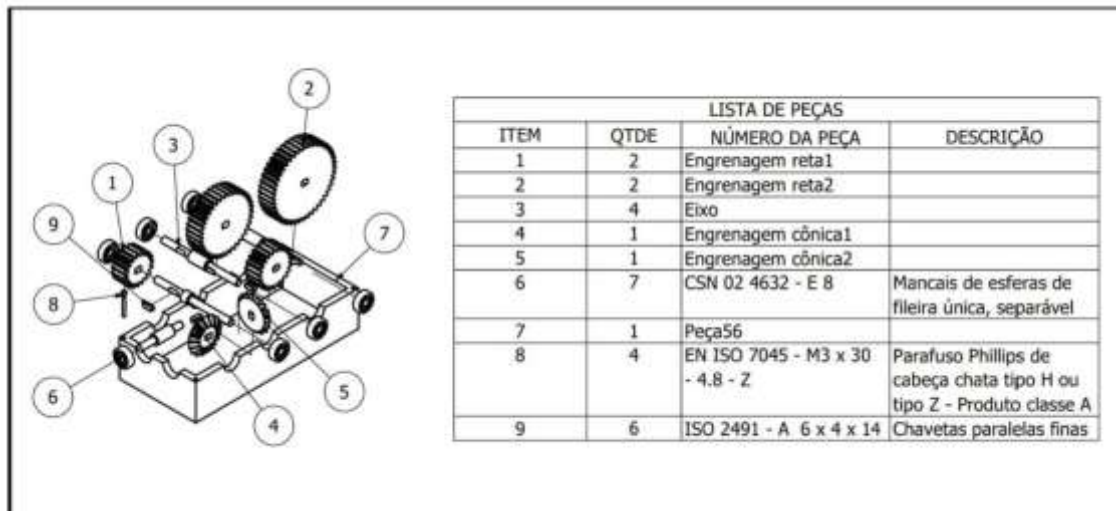


Figura 10. Dibujo o vista expandida de los componentes de la caja reductora.

Tras el diseño y modelado en Inventor, los engranajes se enviarán a impresión en 3D utilizando una impresora con tecnología FDM (Fused Deposition Modeling), ampliamente utilizada por su accesibilidad, eficiencia y valor. Se utilizarán materiales plásticos, como PLA o ABS, con capas de impresión ajustadas para permitir un precio accesible y la precisión necesaria en el presente proyecto, con el objetivo de reducir los costes, el relleno será del 15 %.

Las pruebas de precisión se realizarán con herramientas de medición, como un calibre, para verificar que las dimensiones de los engranajes impresos se ajustan a las especificaciones diseñadas en Inventor. Además, también se realizarán pruebas básicas de resistencia para evaluar la capacidad de los engranajes de soportar el par y la carga sin fallos estructurales.

4. Conclusiones

La propuesta de proyecto CAD de los engranajes para una caja reductora fueron desarrollados exitosamente lo que demuestra el cumplimiento del objetivo propuesto.

El uso de Autodesk Inventor para el modelado de engranajes permite un control preciso sobre los parámetros críticos del diseño, como el módulo, el número de dientes y el diámetro primitivo, mientras que la impresión 3D ofrece la flexibilidad necesaria para fabricar piezas con geometrías personalizadas y variadas con cierta rapidez.

Las pruebas de precisión y resistencia serán esenciales para validar la funcionalidad del conjunto impreso, y se esperan algunas limitaciones en cuanto a la resistencia mecánica



XII CONFERENCIA CIENTIFICA INTERNACIONAL DE INGENIERIA MECANICA

de los materiales utilizados. Sin embargo, con el avance de la tecnología de impresión 3D y la disponibilidad de nuevos materiales, la aplicación de esta metodología tiende a expandirse a una variedad de sectores industriales.

La fabricación de engranajes mediante tecnología de impresión 3D demuestran ser una alternativa viable y accesible para la producción de componentes mecánicos complejos y diversos.

5. Referencias bibliográficas

CASTRO, R. V. P. (2021). *Caracterização de comportamento mecânico de engrenagens poliméricas produzidas por manufatura aditiva* [Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal de Ouro Preto].

<https://www.monografias.ufop.br/handle/35400000/3303>

CORREA, P. M., et al. (2021, setembro 30). Desenvolvimento de técnicas para fabricação de engrenagens por manufatura aditiva. *Revista de Extensão e Iniciação Científica da UNISOCIESC*, 8(3). <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=oP-uDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=engrenagens>

COSTA, J. da, MURARA, M., ROCHA, G. G., ZADUSKI, M. S., SILVA, W. J. da, & VIEIRA, B. C. (2021). Desenvolvimento de técnicas para fabricação de engrenagens por manufatura aditiva. *Revista de Extensão e Iniciação Científica da UNISOCIESC*, 8(3).

DE, L. (2024). Um processo para utilizar a tecnologia de impressão 3D na construção de instrumentos didáticos para o ensino de Ciências.

<https://repositorio.unesp.br/items/2b62be68-e0b4-47c2-9674-8ce3fdedc564>

Frazier, W. E. (2014). Metal additive manufacturing: A review. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 23(6), 1917–1928. <https://doi.org/10.1007/s11665-014-0958-z>

Gebhardt, A. (2016). *Additive manufacturing: 3D printing for prototyping and manufacturing*. Hanser Publishers.

Gibson, I., Rosen, D. W., & Stucker, B. (2015). *Additive manufacturing technologies: 3D printing, rapid prototyping, and direct digital manufacturing* (2nd ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2113-3>



XII CONFERENCIA CIENTIFICA INTERNACIONAL DE INGENIERIA MECANICA

GIORDANO, C. M., ZANCUL, E. de S., & RODRIGUES, V. P. (2016). Análise dos custos da produção por manufatura aditiva em comparação a métodos convencionais.

Revista Produção Online, 16(2), 499–523. <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v16i2.2157>

Herzog, D., Seyda, V., Wycisk, E., & Emmelmann, C. (2016). Additive manufacturing of metals. *Acta Materialia*, 117, 371–392. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2016.07.019>

Rosen, D. W. (2007). Computer-aided design for additive manufacturing of cellular structures. *Computer-Aided Design and Applications*, 4(5), 585–594.

<https://doi.org/10.1080/16864360.2007.10738581>

SANTOS, J. A. A. (2002). *Redutor de engrenagens cilíndricas de dentado exterior* [Trabalho de conclusão de curso, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto].

<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/9284/2/41387.pdf>

Thompson, M. K., Moroni, G., Vaneker, T., Fadel, G., Campbell, R. I., Gibson, I., ... & Martina, F. (2016). Design for additive manufacturing: Trends, opportunities, considerations, and constraints. *CIRP Annals*, 65(2), 737–760.

<https://doi.org/10.1016/j.cirp.2016.05.004>

Yang, S., Zhao, Y. F., & Xu, X. (2018). Condition-monitoring based process planning for additive manufacturing of lattice structures. *Journal of Manufacturing Systems*, 46,

267–274. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.02.003>