Profesión

RECONSTRUCCIÓN DE UNA PEQUEÑA CAJA REDUCTORA PLANETARIA USANDO CONCEPTOS DE INGENIERÍA INVERSA. RELEVAMIENTO, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LOS ENGRANAJES CON TECNOLOGÍA FDM

SPERONI, Lucas[1] – DEFRANCO, Gabriel – LOPRESTI, Laura – FUERTES, Laura – GAVINO, Sergio
UIDET GIGA - Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de La Plata
Cátedra Gráfica para Ingeniería y Sistemas de Representación "C" -
[1] lucas.speroni@ing.unlp.edu.ar

RESUMEN

En el presente trabajo se relata la reconstrucción de una pequeña caja reductora planetaria de una hidrolavadora cuyos engranajes sufrieron el barrido de sus dientes en servicio por razones desconocidas. Siguiendo los principios de la ingeniería inversa se diseñan piezas de reemplazo construidas en ácido poliláctico (PLA) por impresión 3D con tecnología Fused Deposition Modeling (FDM). Si bien la selección del material está determinada por la escasa disponibilidad de otros materiales, al indagar la cuestión en la literatura específica se encuentra que el PLA viene demostrando su aptitud para la aplicación en trenes de engranajes de dimensiones reducidas. Se analizan también los criterios de diseño y se llega a la conclusión de que los lineamientos habitualmente utilizados para engranajes metálicos son parcialmente válidos para aplicarlos al diseño de engranajes plásticos. Para el diseño de las piezas a fabricar se usan herramientas de CAD paramétrico para obtener datos sobre el perfil de los dientes a partir de la única pieza que no ha sufrido daño: la corona. Habiendo construido los engranajes, la caja reductora reparada se encuentra actualmente en período de ensayos, por lo que en este trabajo se describen solamente las etapas de diseño y construcción quedando las conclusiones definitivas para futuros trabajos.

Palabras claves: impresión 3D, engranajes, ingeniería inversa, PLA, FDM, CAD paramétrico

INTRODUCCIÓN

Los engranajes plásticos continúan ganando espacio en aplicaciones que han sido tradicionalmente satisfechas solo por engranajes metálicos, siendo su campo de aplicación cada vez más amplio y desplazando a aquellos de un terreno que les había pertenecido completamente. La literatura especializada da cuenta de la evolución de los engranajes plásticos tanto en el terreno de los materiales como en el de los procesos de fabricación, hecho que contrasta con lo que ocurre con engranajes metálicos cuyo desarrollo ha alcanzado un estado de avance tal que las mejoras que pueden obtenerse son mínimas. [1][2][3]

OBJETIVO

A partir del estado del arte en engranajes plásticos y de las tecnologías disponibles en la UIDET GIGA (fotogrametría, láser escáner, CAD paramétrico, impresión 3D FDMC) el objetivo es fabricar, bajo el concepto de ingeniería inversa, réplicas de los engranajes planetarios de una caja reductora que sufrieron barrido de sus dientes en servicio. [4]

DISEÑO DE ENGRANAJES PLÁSTICOS

Los engranajes de plástico se pueden producir por arranque de viruta y por inyección mientras que la tecnología de impresión 3D está limitada a bajas cargas y temperaturas moderadas; los efectos del calor y la humedad deben ser cuidadosamente tenidos en cuenta, así como la combinación de plástico y metal en un mismo tren y la lubricación. [5] La literatura enumera fortalezas y debilidades de los engranajes plásticos en [6]

MÓDULO Y ÁNGULO DE PRESIÓN

De acuerdo con la literatura consultada los ángulos de presión más usuales en engranajes de plástico son los de 14,5°, 20° y 25°. El más utilizado es el de 20° por dar un diente más fuerte. Por su parte, el módulo será una solución de compromiso entre los de paso largo que dan dientes más fuertes con menor cantidad de dientes y consecuente probabilidad de socavación por mayor deslizamiento. [6] Es válida además la fórmula de Lewis [7] seleccionando los valores más adecuados para los coeficientes según cada caso.

PROPIEDADES DEL ÁCIDO POLILÁCTICO

El ácido poliláctico (PLA) es el material más difundido en la impresión 3D fundamentalmente por su bajo costo, fácil maquinabilidad, buena biodegradabilidad y excelentes propiedades mecánicas. La resistencia al desgaste es baja, característica que puede mejorarse disminuyendo el coeficiente de fricción (CoF) y controlando la temperatura. [2] Pawlak [8] investigó cómo el grafito influye en el CoF y en el desgaste de los compuestos de PLA mientras que Calvo et al. [9] explicaron cómo los parámetros de rugosidad y el CoF se correlacionan entre sí. La relación entre el desgaste y las propiedades de fricción fueron estudiadas por Zhang et al. [10] experimentalmente analizando densidades de relleno, direcciones de impresión y condiciones de carga.

PROCEDIMIENTO DE RECONSTRUCCIÓN DE LOS ENGRANAJES DE UNA REDUCCIÓN PLANETARIA

Siguiendo los principios de la ingeniería inversa se han diseñado y construido los engranajes de dientes rectos de una pequeña caja reductora de tipo planetario. Los engranajes han sufrido el barrido de sus dientes en servicio por razones desconocidas. Las piezas de reemplazo fueron construidas en ácido poliláctico (PLA) por impresión 3D con tecnología Fused Deposition Modeling (FDM). El procedimiento se basa en relevar todos los datos disponibles de las piezas que no resultaron dañadas y diseñar los nuevos engranajes mediante CAD paramétrico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Datos disponibles: corona original del conjunto reductor; piñón central (Sol): bujes de los engranajes planetarios. Teniendo acceso a la corona y el piñón central, se puede calcular el número de dientes de los engranajes planetarios según la relación de la ecuación [1]. Esquemáticamente el sistema responde a la figura 1.

$$C = S + 2 \cdot P \quad [1]$$

C: cantidad de dientes de la corona = 56
S: cantidad de dientes del Sol = 16
P: cantidad de dientes de los planetas

$$P = \frac{C-S}{2} = \frac{56-16}{2} = 20$$

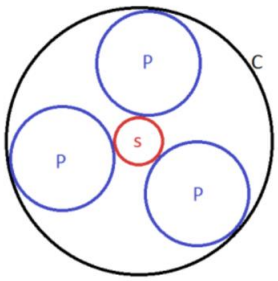

Figura 1

Para el cálculo del módulo se recurrió a la relación [2] válida para engranajes de dientes rectos [11]:

h = 2,25 M [2]

Donde

h: Altura del diente.
M: Módulo.

Para determinar la altura de los dientes se procedió a relevar la corona original mediante láser escáner. El modelo así obtenido fue adecuado dimensionalmente y exportado a Autodesk Inventor, donde se trazaron las circunferencias de base y de cabeza de los dientes (Figura 2).

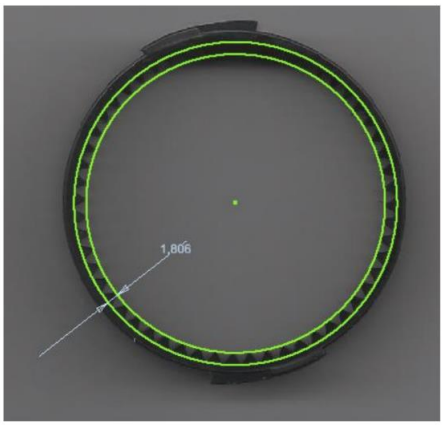

Figura 2

De esta forma se pudo obtener de una forma sencilla una altura aproximada de los dientes de la corona, que resulta ser h = 1,806 mm.

Reemplazando en [2] se obtiene el módulo M

$$M = \frac{h}{2{,}25} = \frac{1{,}806}{2{,}25} = 0{,}802$$

Obtenidos el número de dientes y el módulo de los engranajes, se pasó a diseñar el engranaje utilizando la respectiva herramienta Diseño de Autodesk Inventor. La figura 3 presenta la interfaz correspondiente a la herramienta mencionada.
En este caso se selecciona la opción de diseño según la distancia entre centros y se introducen los datos del módulo, cantidad de dientes y ancho del engranaje. El modelo paramétrico obtenido se presenta en la figura 4.

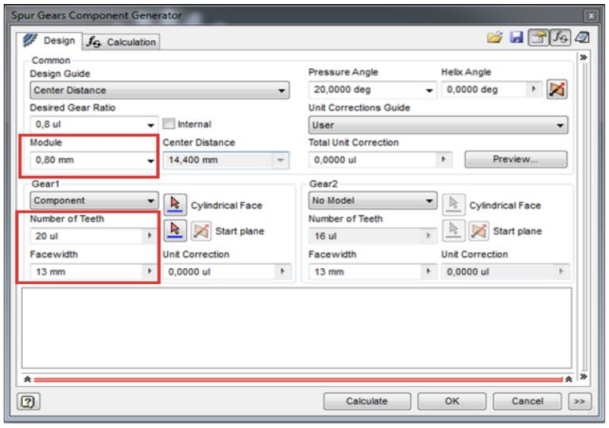

Figura 3

Figura 4

VERIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS OBTENIDOS SOBRE LOS DIENTES ORIGINALES DE LA CORONA

Los engranajes a fabricar se montarán sobre los bujes de los originales. Tienen que girar libremente, pero sin juego radial sobre los respectivos ejes, por lo que deberá tenerse en cuenta la contracción del PLA que puede dar lugar a reducción del diámetro de diseño y consecuente interferencia entre buje y eje. El diámetro del buje, medido con un calibre con una apreciación de 0,05 mm es de 7,20 mm. Datos experimentales disponibles en el laboratorio permiten estimar la reducción del diámetro por contracción en 5%, por lo que la corrección será la siguiente:

$$Ø_{agujero} = Ø_{buje}(1 + 0{,}05) = 7{,}20\ mm \cdot 1{,}05 = 7{,}56\ mm \quad [3]$$

IMPRESIÓN DE LOS ENGRANAJES

El modelo paramétrico se exportó en formato. stl para ser impreso en una impresora 3D MDF. Como slicer para la impresión se utiliza el software libre Cura [12], con la siguiente configuración dada en la tabla 1.

Modelo	Engranaje 20 dientes módulo 0,80.stl
Software	Cura
Temperatura de impresión	185ºC
Temperatura de la cama	-
Material	PLA
Velocidad de impresión	25 m/s
Altura de capa	0,3
Infill	100 %
Adhesión	-
Espesor de pared	1 mm
Tiempo	13 min

Tabla 1 - Configuración de impresión.

La firgura 5 presenta la interfaz del Repeteier Host [13].

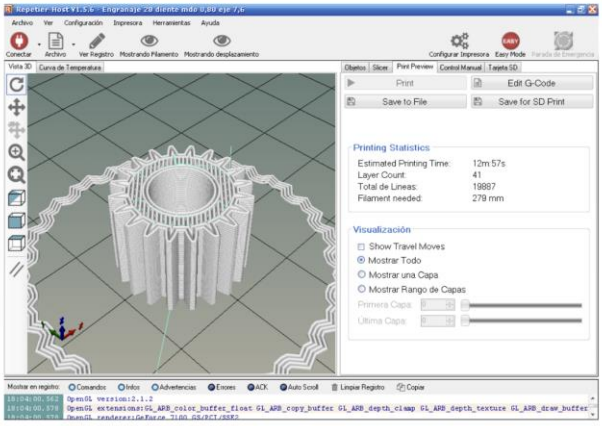

Figura 5

RESULTADOS

Mediante el procedimiento descripto se han podido fabricar los tres engranajes para reemplazar los originales dañados del conjunto reductor planetario. Los mismos se presentan en la figura 6.

Figura 6

Las piezas fueron colocadas en el subconjunto reductor y probadas a bajas velocidades antes de armar completamente la máquina, presentando un funcionamiento correcto. El paso siguiente fue armar completamente el sistema y hacer una breve prueba en vacío, quedando por hacer pruebas a carga plena en condiciones de funcionamiento normal.

CONTINUIDAD DE LA LÍNEA DE TRABAJO

Dado que el PLA no garantiza al presente las mejores cualidades para la fabricación de engranajes de dientes rectos con tecnología FDM se considera necesario llevar a cabo ensayos con engranajes construidos con otros materiales como ABS o PLA MAX.

REFERENCIAS

[1] The Measure of a Gear, Alex Cannella, Associate Editor GEAR TECHNOLOGY | July 2019 [www.geartechnology.com]

[2] Gusztáv Fekete Numerical Wear Analysis of a PLA-Made Spur Gear Pair as a Designing With Plastic Gears and General Considerations of Plastic Gearing

[3] Constructive design of plastic gears in high-load applications | VDI Wissensforum

[4] Processing and production of bioresorbable polymer scaffolds for tissue engineering J.L. Walker, M. Santoro In book: Bioresorbable Polymers for Biomedical Applications, (pp.181-203) January 2017

[5] Wear and Service Life of 3-D Printed Polymeric Gears Mert Safak Tunalioglu, and Bekir Volkan Agca

[6] SECTION 18 DESIGN OF PLASTIC GEARS en The Design, Properties, Bending Strength, and Shrinkage of Plastic Gears, Elements of Metric Gear Technology - https://www.sdp-si.com/resources/elements-of-metric-gear-technology/page10.php

[7] Lewis W. "Investigation of the Strength of Gear Teeth." Proceedings of the Engineers Club, Philadelphia, 1893

[8] Pawlak, W. Wear and coefficient of friction of PLA-graphite composite in 3D printing technology. In Proceedings of the 24th International Conference of Engineering Mechanics, Svratka, Czech Republic, 14—17 May 2018; pp. 649–652.

[9] Calvo, R.; D'Amato, R.; Gómez, E.; Ruggiero, A. Experimental analysis of the surface roughness in the coefficient of friction test. Procedia Manuf. 2019, 41, 153–160. [CrossRef].

[10] Zhang, P.; Hu, Z.; Xie, H.; Lee, G.-H.; Lee, C.-H. Friction and wear characteristics of polylactic acid (PLA) for 3D printing under reciprocating sliding condition. Ind. Lubr. Tribol. 2019, 72, 533–539. [CrossRef]

[11] American Gear Manufacturers Association (AGMA) en Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley - 8 Edición - McGraw Hill ISBN: 9789701064047

[12] https://ultimaker.com/es/software/ultimaker-cura

[13] Repetier.com is a project of Hot-World GmbH & Co. KG Knickelsdorf 42 47877 Willich Germany