



Posibilidades del software de modelado sólido y la fabricación aditiva en la docencia de trenes de engranajes

María del Rocío Fernández¹, José Manuel Sierra¹, José Luís Cortizo¹; Alberto García Martínez¹

¹ Departamento de Construcción e Ingeniería de Fabricación, Universidad de Oviedo, rocio@uniovi.es; jmsierra@uniovi.es; jcortizor@uniovi.es; garciamaralberto@uniovi.es

En las últimas dos décadas, hemos asistido a una revolución completa en la forma de hacer ingeniería, también ingeniería mecánica. Sin duda este cambio ha venido por un lado del desarrollo de las nuevas tecnologías que, aplicadas al diseño de mecanismos y máquinas, han permitido avanzar en modelos numéricos y simulaciones por ordenador impensables hace un tiempo. También el software de modelado sólido del que hoy disponemos tiene enormes potencialidades y facilita mucho las tareas de los ingenieros, de tal modo que, en todas nuestras Universidades, han pasado a formar parte de los programas docentes de grado o máster.

Por otro lado, la última revolución en diseño, lo constituyen sin duda los equipos de fabricación aditiva, que han experimentado unos avances importantes y han permitido la expansión de estas tecnologías a los centros de investigación primero, a la industria, y también a nuestros departamentos universitarios.

En esta comunicación presentamos una serie de prototipos realizados en el área de Ingeniería Mecánica utilizando software de modelado sólido y piezas impresas por fabricación aditiva (tecnología FDM: Modelado por Deposición Fundida) centrados en sistemas de transmisión con fines docentes. Así, los prototipos aquí presentados permiten a nuestros alumnos una mejora en la comprensión de trenes de engranajes epicicloidales o mecanismos peculiares, a través del análisis y observación de estos prototipos funcionales, en las prácticas de laboratorio.

Los prototipos presentados, abordan trenes de engranajes como el tren de Pecquer, la paradoja de Ferguson, o el acoplamiento Schmidt, mecanismos peculiares, complejos, al tiempo que muy interesantes para los graduados en ingeniería mecánica.

1. Introducción

La docencia en la ingeniería de cualquier especialidad ha sufrido grandes cambios en las últimas décadas, y se ha pasado de un modelo tradicional, memorístico, basado en las clases magistrales, y en el empleo de información con desarrollos en pizarras o pantallas de proyección y un alumnado meramente oyente, a una educación centrada en el desarrollo de pequeños proyectos. El modelo se ha ido transformando hacia una mayor participación del estudiante, con mayor peso de los proyectos en grupo que ayudan al desarrollo de capacidades muy necesarias en el ámbito profesional de nuestros egresados, como son la capacidad de trabajo en equipo, el reparto de tareas o roles, y el empleo de las nuevas tecnologías.

Probablemente, todos los estudiantes de ingeniería mecánica tienen en común su interés por el saber cómo y por qué funcionan las máquinas, y muchos han tenido la posibilidad de montar y desmontar juguetes de niños y con el paso del tiempo pequeños electrodomésticos o maquinaria de jardinería averiada e incluso alguna motocicleta o vehículo. Sin embargo, cuando llegan a la Universidad, todo parece mucho más teórico y poco aplicado.

En el caso de la ingeniería mecánica, hay dos tecnologías que han cambiado completamente el modo de hacer ingeniería, por un lado, el software que trae consigo el modelado 3D, y las posibilidades de simulación y cálculo de las que se dispone en la actualidad, y por otro las tecnologías de fabricación aditiva, algunas de las cuales han experimentado un desarrollo tal que nos permiten disponer de equipos de prototipado rápido, de bajo coste, que se han incorporado a las empresas y también a los centros educativos.

El modo de hacer ingeniería ha cambiado sin duda, y también la enseñanza universitaria de los ingenieros mecánicos debe adecuarse a este cambio [1- 4]. Desde hace ya años, se imparte dentro de la docencia reglada distinto tipo de software de modelado 3D, de cálculo por elementos finitos y de simulación cinemática y dinámica, etc.

El paso de los planos en dos dimensiones con secciones complejas, que requerían de capacidad de visión espacial, difícil de conseguir en estudiantes, y que se adquiría solo con los años de trabajo y experiencia adquirida de los ingenieros senior, disuadía a muchos estudiantes a dedicarse a la ingeniería de diseño mecánico. Sin embargo, el software de modelado 3D permite adquirir esa visión espacial, y mejorar las capacidades de comprensión de mecanismos y máquinas a nuestros estudiantes, fomentando también más vocaciones, y ayudando a la innovación de la mano de estas tecnologías.

Finalmente, desde hace ya años, también en las Universidades se han incorporado las impresoras 3D, si bien es cierto que la mayoría son de tecnologías asequibles. En nuestro departamento disponemos de impresoras con tecnología de Modelado por Deposición Fundida, conocida por las siglas en inglés como FDM, su innegable contribución al desarrollo de nuevos productos en tiempos más cortos las convierte también en necesarias en nuestras Universidades, contribuyendo a mejorar la docencia en ingeniería [5-7]. Son estas tecnologías parte ya de los planes de estudio de nuestros ingenieros, abarcando tanto las distintas tecnologías que permiten imprimir en materiales como ABS, PLA, materiales cerámicos o incluso metales. Como los nuevos campos de la ingeniería que surgen de la mano de estas tecnologías en el desarrollo, por ejemplo, de dispositivos médicos [8-11], prótesis personalizadas, o simplemente su empleo para obtener piezas de repuesto de instalaciones o como ya hemos dicho acortar tiempos de desarrollo de nuevos productos y fomentar la innovación.

En nuestra Escuela, llevamos años utilizando las impresoras 3D en el desarrollo de proyectos de investigación, en proyectos con empresas y también en trabajos fin de grado o máster [12]. Y, convencidos de su utilidad, mostramos en este artículo algunos prototipos implementados con ayuda de la impresión 3D utilizados en prácticas con nuestros alumnos de grado y máster.

2. Materiales y métodos

Los prototipos aquí presentados son de fabricación mixta, con piezas metálicas (acero o aluminio), madera y piezas en ABS o PLA, si bien los componentes principales han sido obtenidos por fabricación aditiva, en concreto, por impresión 3D con tecnología FDM.

La finalidad de estos prototipos es incorporarlos, mediante un guion complementario, a las prácticas de asignaturas como “Cálculo y Diseño de Máquinas”, sirviendo como complemento a la formación de los alumnos en temas específicos de ingeniería mecánica. Los prototipos aquí mostrados sirven de refuerzo en temas como engranajes, trenes de engranajes epicicloidales, y acoplamientos en sistemas de transmisión en el diseño de máquinas.

Los prototipos mostrados son de bajo coste y pueden ser fácilmente reproducibles. En nuestro caso disponemos de dos impresoras 3D, software de modelado sólido, y un pequeño taller mecánico que tiene un torno, taladro vertical, sierra mecánica, y herramientas.

2.1. Impresoras 3D

Las piezas obtenidas por FDM utilizadas en estos prototipos, han sido construidas empleando dos impresoras disponibles en nuestra área de conocimiento. Ambas trabajan con ABS y PLA, y las piezas a imprimir deben ser enviadas a la impresora en formato “stl”.



Figura 1: Impresoras utilizadas, tecnología FDM, materiales ABS y PLA.

2.2. Software

Como software de modelado sólido en nuestra Escuela se dispone de licencias de Solidworks® e Inventor®, y también se dispone del software KISSsoft® para el cálculo de elementos de máquinas normalmente utilizados tales como ejes, rodamientos, acoplamientos, correas. En este caso, especialmente útil ha sido el módulo de cálculo de engranajes, que permite obtener un modelo 3D de los engranajes, que puede ser exportado al software de modelado para ser integrado en los ensamblajes de los prototipos diseñados.

Los estudiantes tienen acceso a estos programas en salas de prácticas, a las que también pueden acceder para la realización de sus trabajos fin de Grado o fin de Master. En el caso de la impresión 3D. El acceso está más restringido y debe hacerse mediante el personal que realiza el mantenimiento de los equipos.

2.3. Equipamiento de taller

Se dispone de un espacio de taller para el montaje de los prototipos, alberga equipos de mecanizado, mini torno y fresadora manual, también se dispone de una rectificadora, equipo de soldadura eléctrica, sierra de cinta y de disco, y herramientas varias (Dremel, radial, ...), equipos de medida (reglas calibradas, goniómetro, calibres, etc.). En algunos de los prototipos aquí presentados, es importante la medida de velocidades de giro, para lo que también se cuenta con tacómetros digitales. La realización de las prácticas da acceso a los estudiantes a estos equipos.



Figura 2: Equipamiento de taller.

3. Resultados y discusión

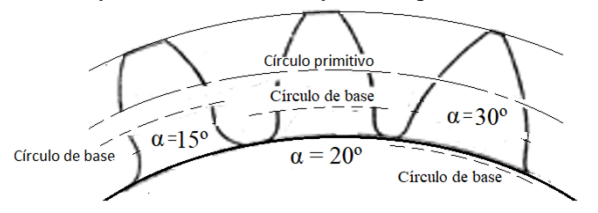
A continuación, describiremos cómo ayudados del software de modelado sólido y la impresión 3D, hemos ido preparando unos prototipos que ayudan en el proceso de enseñanza-aprendizaje de las materias de diseño de máquinas.

Los engranajes, su geometría y peculiaridades, así como los trenes de engranajes epicicloidales y alguna de sus aplicaciones, son sin duda temas fundamentales para los ingenieros mecánicos y su docencia puede verse favorecida por sesiones prácticas dónde los alumnos pueden ver físicamente, montar y desmontar y mejorar su comprensión a través de estos prototipos físicos.

Los engranajes pueden ser fácilmente modelados en 3D e impresos en ABS y/o PLA, y estos elementos pueden ser utilizados en la docencia, así describiremos a continuación cada prototipo, sus peculiaridades y finalidad.

3.1. Influencia del ángulo presión en la geometría de los dientes de engranajes.

El primer modelo que se describe aquí es simplemente un conjunto de engranajes, de dentado recto, con un mismo módulo y número de dientes y ancho, pero con una variación en el ángulo de presión.



Normalmente en las clases, se explica cómo obtener el perfil del diente, y la influencia en el mismo del ángulo de presión “ α ” parámetro de diseño que afecta a la distribución de esfuerzos sobre el diente, y también a su geometría. Por lo general, los estudiantes no pasan de ver un croquis en 2D como el de la figura 3.

Figura 3: Influencia del ángulo de presión.

La impresión 3D nos permite imprimir cualquier engranaje, definidos todos los parámetros del mismo, y ver claramente su geometría y peculiaridades, así en este caso, se han construido tres engranajes con el mismo número de dientes, el mismo módulo y ancho, pero con distintos ángulos de presión.

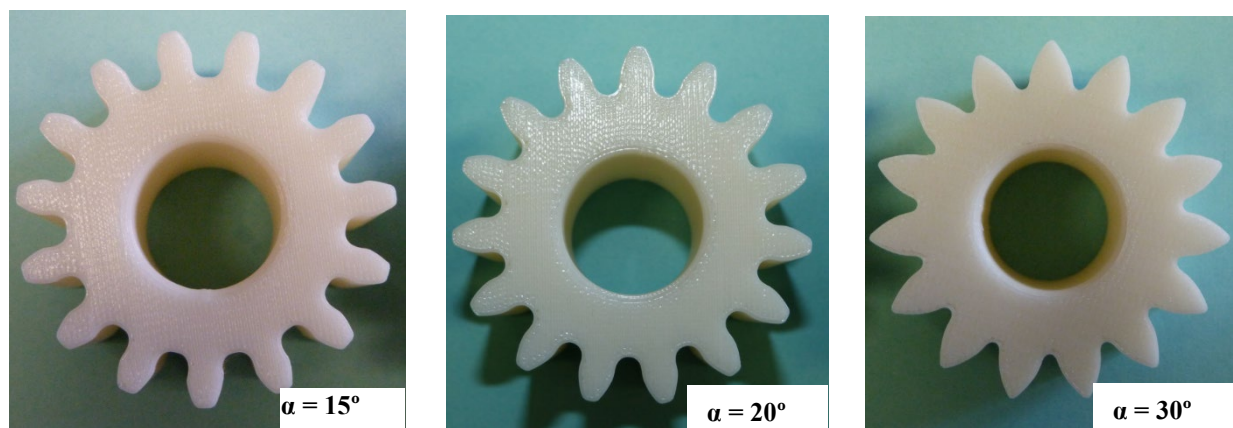


Figura 4: Influencia del ángulo de presión.

Los engranajes impresos en ABS, permiten ver claramente la influencia del ángulo de presión. Así cuando el ángulo de presión es muy alto $\alpha = 30^\circ$ (Fig. 4 derecha), se puede ver el efecto de ensanchamiento en la base del diente y la debilidad de la cabeza puntiaguda del diente. Con el ángulo de presión de $\alpha = 20^\circ$ (Fig. 4 centro), se aprecia claramente como la geometría del perfil del diente es más uniforme y robusta desde la base a la cabeza, esto hace que sea el ángulo de presión más utilizado en general. Finalmente, con un ángulo de presión $\alpha = 15^\circ$ (Fig. 4 izquierda), se aprecia ahora un diente más ancho en la cabeza, y cierta debilidad en la base del diente.

3.2. Trenes epicicloidales. Tren de Pecquer.

Cada curso comprobamos la dificultad de los estudiantes para comprender el movimiento relativo de los trenes de engranajes, en particular de los trenes epicicloidales y aún más cuando éstos presentan una cierta complejidad. Los estudiantes han de realizar el estudio de velocidades, por ejemplo, mediante la expresión de Willis (Figura 5), y se

observa que aún en trenes epicicloidales simples de tres o cuatro engranajes, no visualizan el movimiento si se representa con esquemas en dos dimensiones.

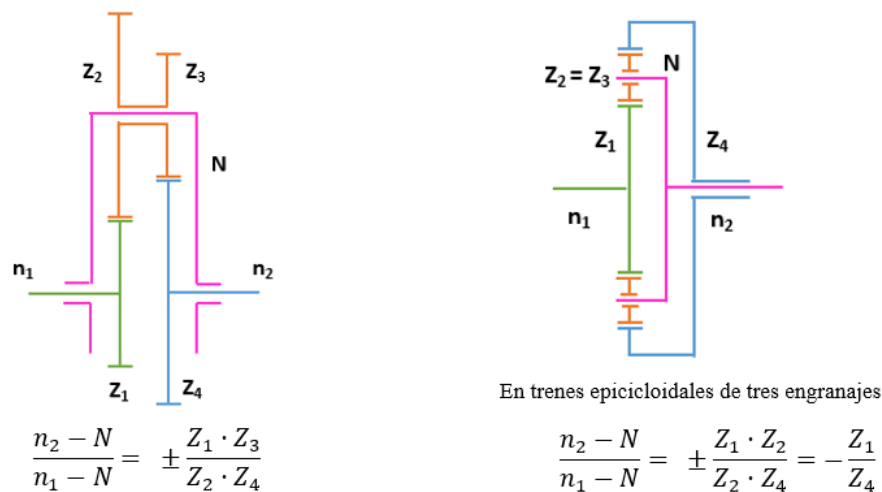


Figura 5: Expresión de Willis para trenes epicicloidales de tres y cuatro engranajes.

Donde:

n_1 = Velocidad del eje entrada

n_2 = velocidad eje de salida

N = velocidad del portasatélites

$Z_1; Z_3$ = nº de dientes de las ruedas conductoras

$Z_2; Z_4$ = nº de dientes de las ruedas conducidas

Signo (+) si n_1 y n_2 tienen el mismo sentido de giro considerando N en reposo.

Signo (-) si n_1 y n_2 tienen sentido contrario de giro considerando N en reposo.

Este problema se amplifica si lo que se pretende es un dimensionado de los engranajes que conforman el tren epicicloidal. Resulta muy complejo explicar en base a estos esquemas si los dientes de los engranajes soportan cargas repetidas o alternas, o qué esfuerzos considerar en el cálculo de los ejes de los engranajes planetarios, del brazo o del engranaje sol.

En este sentido, ya los modelos 3D implementados con software, permiten la observación tridimensional del tren epicicloidal. Los eDrawings de SolidWorks®, permiten la animación y la explosión del conjunto a fin de observar los distintos componentes y su función. Con el prototipo real se da un paso más, se puede ver en funcionamiento, se pueden medir velocidades con un tacómetro y luego verificar los cálculos numéricos de velocidades realizados manualmente utilizando Willis.

Los prototipos se montan fácilmente. Se dispone de todos los datos de los engranajes, modulo y número de dientes, así como velocidad nominal del motor y dimensiones de la transmisión por correa. Así, en la Fig. 6 se muestra en un tren de 4 engranajes, con tres pares de satélites y una reducción de $i = 4,68$ los alumnos pueden medir con un tacómetro las velocidades en el brazo del tren y en el eje del engranaje de salida.

Un caso particular de este montaje puede apreciarse en la figura 7, el tren epicicloidal de Pecquer, en el que, mediante el número adecuado de dientes en las ruedas de entrada, salida y satélites, se consigue una elevada relación de transmisión.

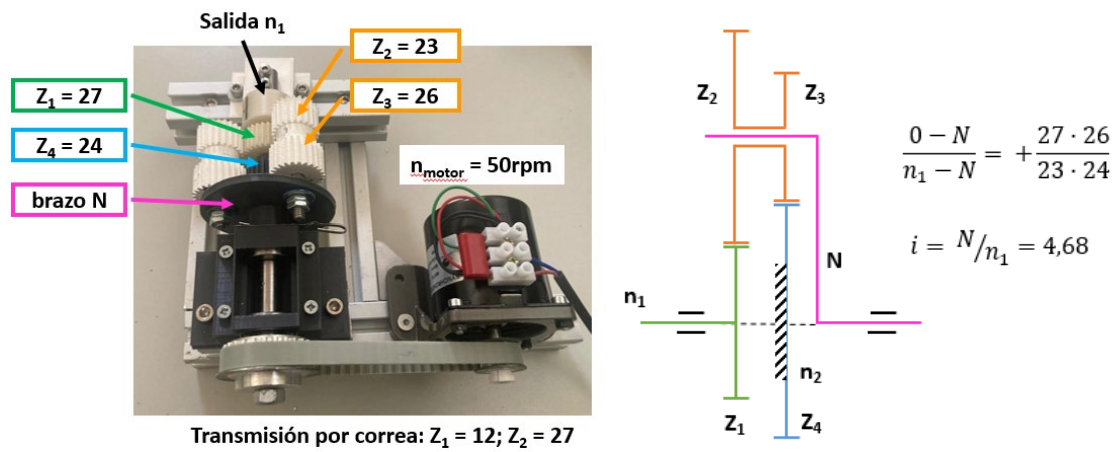


Figura 6: Tren epicicloidal de cuatro engranajes. Relación de reducción: $i = 4,68$.

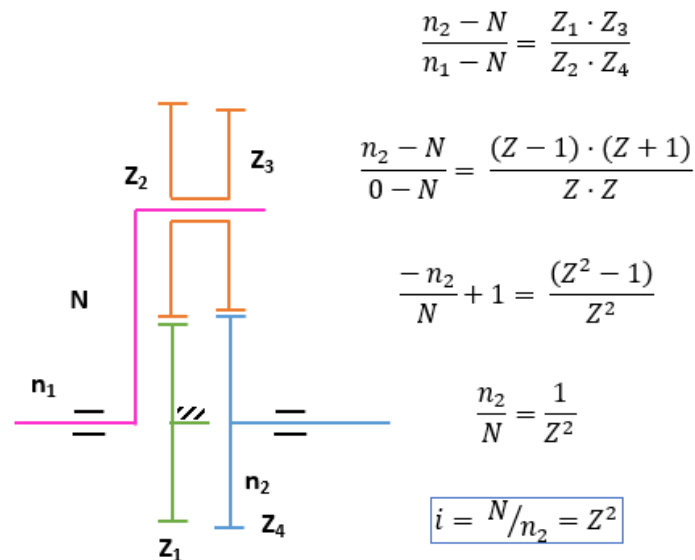


Figura 7: Tren epicicloidal de Pecquer. Relación de reducción: $i = Z^2$.

Los números de dientes de los engranajes empleados en el Tren epicicloidal de Pecquer:

Rueda de entrada (Z_1): $Z-1$

Rueda satélite que engrana con la salida (Z_3): $Z+1$

Rueda de salida (Z_4) y rueda satélite que engrana con la entrada (Z_2): Z

Atendiendo a los criterios enumerados para el tren de Pecquer, y con módulo y similares dimensiones a las del prototipo de la Fig. 6, se ha implementado un tren de Pecquer (Fig. 8). Ambas ejecuciones son puestas en funcionamiento una al lado de la otra, lo que permite a los estudiantes apreciar claramente la diferencia de relación de transmisión entre dos trenes aparentemente similares.

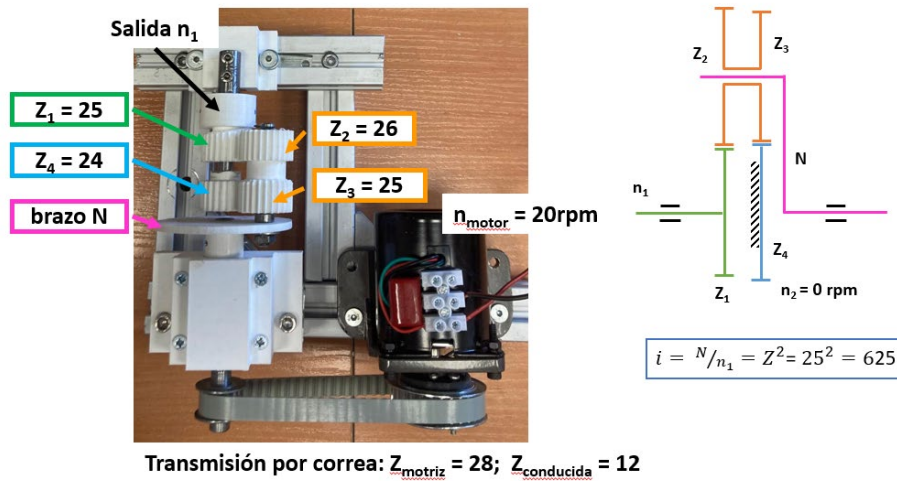


Figura 8: Tren epicicloidal de Pecquer. Relación de reducción: $i = 625$.

3.3. Paradoja de Ferguson.

Un tren peculiar, más complejo y de un gran impacto visual es el correspondiente a la paradoja de Ferguson. Todos los engranajes tienen el mismo módulo, todos los satélites que giran sobre el brazo del tren epicicloidal. En el caso de la figura 9, los satélites tienen 20 dientes y las ruedas tienen 50 dientes la inferior (verde) que está fija y no gira, 51 dientes la rueda superior y 49 dientes la intermedia. El efecto que se consigue es que, al girar el brazo, el engranaje verde inferior permanece fijo, pues está impedido de giro, mientras que los dos engranajes amarillos giran casi a la misma velocidad, pero con sentidos opuestos.

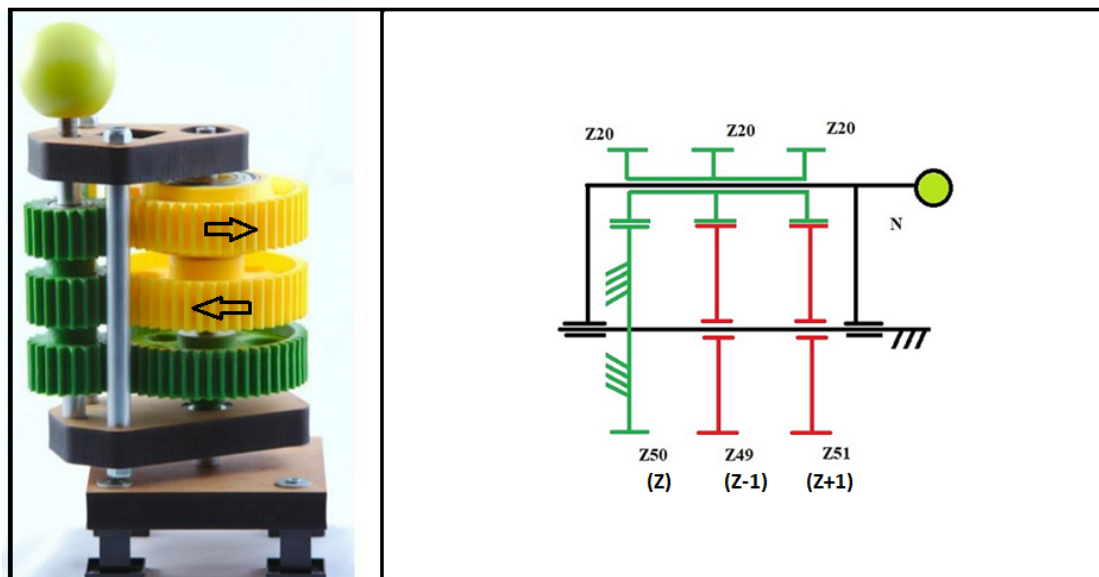


Figura 9: Paradoja de Ferguson.

El efecto visual intriga al estudiante que de este modo se ve sin duda motivado a aplicar Willis a los dos trenes epicicloidales de 4 engranajes involucrados y verificar así numéricamente el valor de las velocidades de los engranajes amarillos y su sentido de giro, partiendo de una velocidad dada del brazo.

Un análisis más detallado en este prototipo, así como el caso del prototipo de la Fig. 8, nos permite además introducir la necesidad de la corrección de dentado.

3.4. Mecanismo con doble embrague.

Muchos son los mecanismos peculiares de uso común en el diseño de máquinas, y que desafortunadamente, no suele disponerse de tiempo en las clases para su revisión. Convencidos de que, si bien una revisión bibliográfica

de todos los mecanismos es inabordable en los cursos reglados, si es posible despertar el interés de los alumnos por los mecanismos a través de este tipo de prototipos.

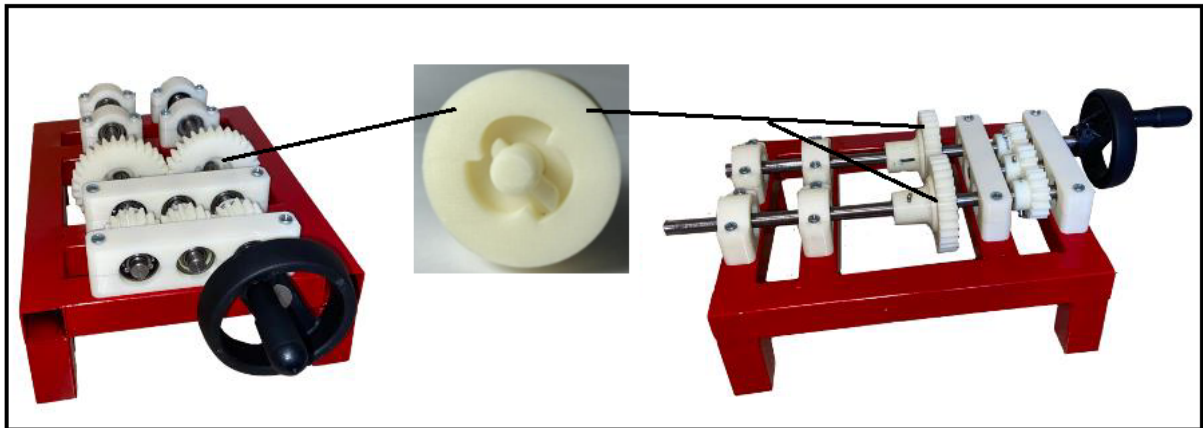


Figura 10: Mecanismo de doble embrague por chaveta deslizante.

Se presenta ahora un mecanismo de doble embrague por chaveta deslizante (Fig. 10). Este prototipo tiene dos engranajes que incorporan en su cubo como unión al eje sobre el que se apoyan, dos chavetas deslizantes, cuyo funcionamiento es similar a los trinquetes, de modo que dependiendo del sentido de giro del eje en el que van alojadas, permiten transmitir el movimiento del mismo al cubo de la pieza que apoya sobre dicho eje. Así, para ilustrar este mecanismo en el prototipo mostrado, al girar la manivela en cualquier sentido (horario o antihorario), el eje de salida del mecanismo siempre gira en el mismo sentido.

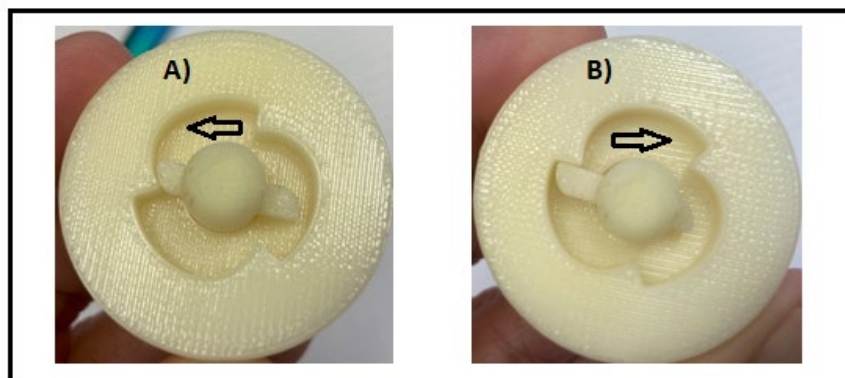


Figura 11: Mecanismo de doble embrague por chaveta deslizante.

Como se puede ver en la Fig. 11, las chavetas son prismáticas, pero dos de sus caras opuestas están redondeadas, mientras que las otras dos caras son planas. Además, el cubo de los engranajes sobre el que actúan, tiene mecanizada una forma de “rosa” de tres hojas, y de modo tal que por un lado, la hoja termina con forma curva y por el opuesto termina en una cara plana. Por último, la chaveta va alojada en una ranura prismática con la forma de la sección de la chaveta, y dimensiones con holgura, de modo que puede desplazarse libremente perpendicularmente al eje. Este conjunto permite que, según la disposición de la chaveta respecto del cubo mecanizado, si el eje gira a izquierda (Fig 11 A) no transmite movimiento, y si gira hacia la derecha (Fig. 11 B), arrastra consigo el cubo.

3.5. Acoplamiento Schmidt.

Otros mecanismos peculiares utilizados en la construcción de maquinaria han sido realizados. Así, para absorber la desalineación en la unión de ejes, se encuentran multitud de sistemas mecánicos en distintos acoplamientos.

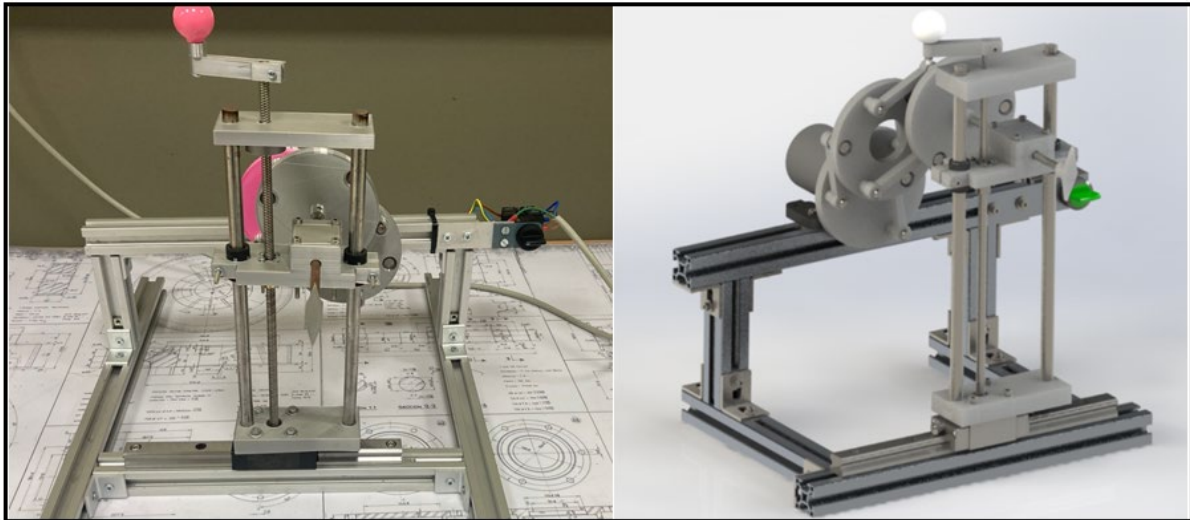


Figura 12: Acoplamiento Schmidt.

Uno particularmente atractivo es el acoplamiento Schmidt (Fig. 12), que permite absorber grandes desalineaciones radiales, y transmite el movimiento entre ejes cuya desalineación radial puede variar en el funcionamiento normal.

Para ilustrar este tipo de acoplamiento adecuadamente, se ha construido el prototipo mostrado, que incluye unos discos y bielas de unión construidos por FDM, una estructura con perfiles de aluminio y uniones atornilladas desmontables. Un motor eléctrico acciona el eje motriz, que va unido a través del acoplamiento Schmidt a un eje de salida que se desplaza verticalmente y horizontalmente respecto de la posición del eje motriz, mediante un sistema de guiado lineal y accionado en la elevación por un sinfín con manivela.

Como complemento a estos prototipos y para su empleo en las prácticas de laboratorio, se han desarrollado guiones con esquemas y cuestiones que ayudan a los alumnos a comprender y valorar estos mecanismos y sus posibles aplicaciones.

4. Conclusiones

No es posible concebir la ingeniería mecánica, en particular las tareas de diseño de máquinas, sin la representación gráfica. Esta hace décadas que ha ido cambiando del empleo de tableros de dibujo y CAD 2D, lo que requería una capacidad y un esfuerzo importante para su representación y comprensión, al empleo de CAD 3D, cuyas ventajas no necesitan ser enumeradas. Como complemento a este software, han aparecido las tecnologías de fabricación aditiva, hoy extendidas, y que forman ya parte de la docencia en Ingeniería Mecánica, y de las capacidades de los egresados en Ingeniería en nuestras Universidades.

Entendiendo que estas tecnologías pueden facilitar también el aprendizaje de ingeniería mecánica, hemos abordado el diseño y fabricación de varios prototipos para su empleo en las prácticas de laboratorio de la asignatura de Cálculo y Diseño de Máquinas (CDM) de 3º curso del grado en Ingeniería Mecánica.

Estos prototipos han sido implementados en varios TFG, lo que ya ha constituido una experiencia muy positiva por el interés suscitado en los alumnos, que bajo las indicaciones de los tutores, han desarrollado los modelos 3D han tenido que preparar los planos de fabricación, los planos de conjunto y montaje, han tenido que resolver los problemas sobrevenidos por ejemplo con las tolerancias, debido a la dificultad de establecerlas para las piezas impresas por FDM. También han tenido la oportunidad de colaborar en el taller en la fabricación de algunas piezas como ejes, chaveteros y chavetas, participar en el montaje, y han empleado también transmisiones flexibles, correas, rodamientos, ... Este tipo de proyectos son en sí mismos una forma de aprendizaje basada en proyectos muy interesante, si bien su oferta es limitada por los costes y capacidad de las áreas, ya que también requiere una implicación alta de los tutores.

Por último, indicaremos que todos estos prototipos construidos y algunos otros se han incorporado a las prácticas de la asignatura Cálculo y Diseño de Máquinas, de 3º curso del Grado en Ingeniería Mecánica, con gran aceptación por el alumnado.

5. Referencias

- [1] Almulla, M. A. (2020). "The Effectiveness of the Project-Based Learning (PBL) Approach as a Way to Engage Students in Learning". Sage Open, 10(3). <https://doi.org/10.1177/2158244020938702>
- [2] Ricardo Belda, Diego Infante, Raquel Megías, Norberto Feito. 2023. Aprendizaje basado en proyectos mediante aplicación de impresión 3D y modelos de elementos finitos en el Grado de Ingeniería Mecánica. En libro de actas: IX Congreso de Innovación Educativa y Docencia en Red. Valencia, 13 - 14 de julio de 2023. Doi: <https://doi.org/10.4995/INRED2023.2023.16631>
- [3] Ruiz-Rosa, I., Gutiérrez-Taño, D., & García-Rodríguez, F. J. (2021). Project-Based Learning as a tool to foster entrepreneurial competences (El Aprendizaje Basado en Proyectos como herramienta para potenciar la competencia emprendedora). Culture and Education, 33(2), 316-344. <https://doi.org/10.1080/11356405.2021.1904657>
- [4] Virginie F. C. Servant-Miklos, Anette Kolmos, "Student conceptions of problem and project based learning in engineering education: A phenomenographic investigation", JOURNAL OF ENGINEERING EDUCATION (JEE), 23 July 2022 <https://doi.org/10.1002/jee.20478>
- [5] Colorado, H.A., Mendoza, D.E., Valencia, F.L., Perdomo, J.M. (2020). Production of Teaching Materials Through 3D Printing as Support for Educational Processes Related to the Sciences, Heritage, and Culture. In: TMS 2020 149th Annual Meeting & Exhibition Supplemental Proceedings. The Minerals, Metals & Materials Series. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-36296-6_24
- [6] De la Cruz-Campos, J. C., Campos-Soto, M. N., Rodríguez-Jiménez, C. and Ramos Navas-Parejo, M. (2022). Impresión 3D en educación. Perspectiva teórica y experiencias en el aula. Revista Centra de Ciencias Sociales, 1(1), 67-80. <https://doi.org/10.54790/rccs.16>
- [7] Inzunza Oscar; Caro Iván; Mondragón Germán; Baeza Felipe; Burdiles Álvaro; Salgado Guillermo; Impresiones 3D, Nueva Tecnología que Apoya la Docencia Anatómica, Int. J. Morphol. vol.33 no.3 Temuco set. 2015, <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022015000300059>
- [8] Abdul Aleem Mohammed, Mohammed S. Algahtani, Mohammad Zaki Ahmad, Javed Ahmad, Sabna Kotta, 3D Printing in medicine: Technology overview and drug delivery applications, Annals of 3D Printed Medicine, Volume 4, December 2021, <https://doi.org/10.1016/j.stlm.2021.100037>
- [9] Jose Manuel Sierra Velasco; M. R. Fernández (AC); José Luis Cortizo Rodríguez; Juan Díaz González. 2025. Development of a Pain Measurement Device Using 3D Printing and Electronic Air Pressure Control. Biomedicines. MDPI. 13-2.
- [10] Ana Fernández Feito; María del Rocío Fernández Rodríguez; Marcos Cueto Cuiñas; Paula Zurrón Madera; José Manuel Sierra Velasco; José Luis Cortizo Rodríguez; María González García. 2024. TEN SPTEPS TO TRANSFORM IDEAS INTO PRODUCT INNOVATIONS: AN INTERDISCIPLINARY COLLABORATION BETWEEN NURSING AND ENGINEERING. INTERNATIONAL NURSING REVIEW. WILEY. pp.1-8. ISSN 0020-8132.
- [11] Sierra, J.M., Fernandez, M.d.R., Rodriguez Garcia, J.I.I., Cortizo, J.L. and Villazon, M.M. (2022), "Validation of design and materials for additive manufacturing of endocavitary mechanical distractor", Rapid Prototyping Journal, Vol. ahead-of-print No. ahead-of-print. <https://doi.org/10.1108/RPJ-06-2021-0143>.
- [12] Sierra Velasco, J.M., Cortizo Rodríguez, J.L., Fernández Rodríguez, M^a.R., Villazón Suárez, M., García Martínez, Alberto, "Experiencia de aprendizaje basado en proyectos con alumnos erasmus", XXVI Congreso Universitario de Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas: libro de actas, 2018, ISBN 978-84-17445-02-7, págs. 186-197.