

# DISEÑO AVANZADO DE TRANSMISIONES POR ENGRANAJES

Curso 2017/2018

(Código: 28801195)

## 1. PRESENTACIÓN

Los engranajes cilíndricos, rectos y helicoidales, de perfil de evolvente son, con total seguridad, los elementos de transmisión de potencia entre ejes paralelos más utilizados en la práctica industrial. Y por esta razón, han sido siempre objeto de estudio, tanto para la mejora de los procesos de generación de los dientes como para la evaluación de la capacidad de carga –o potencia transmisible– en condiciones de operación. Resultado de ello, es un elevado grado de desarrollo de la normativa internacional de diseño de engranajes (ISO y AGMA, principalmente), que permite predecir con notable precisión el comportamiento de las dentaduras. A pesar de ello, todas estas normas son objeto en la actualidad de permanente revisión, en busca de modelos cada vez más precisos, que permitan ajustar el diseño a los requerimientos establecidos, con la mayor reducción de costes posible, pero manteniendo los niveles de fiabilidad.

Esta búsqueda incesante de mejoras está llevando a considerar determinados tipos de transmisiones que, aunque conocidos desde hace tiempo, no han sido objeto de particular atención en el pasado; en unas ocasiones por no haberse suscitado la necesidad, en otras porque los inconvenientes que presentaban parecían superar las ventajas que proporcionaban.

El caso tal vez más llamativo sea el de las transmisiones por piñón y corona de dentado interior. Ciertamente, son engranajes que se han utilizado asiduamente; sin embargo, su finalidad ha venido siendo más bien la transmisión de movimiento, y no tanto la transmisión de potencia, como se empieza a demandar en la actualidad. Resultado de ello es, por ejemplo, que la mencionada normativa internacional de cálculo de la capacidad de carga, no contempla este tipo de transmisiones, o no la desarrolla con la suficiente profundidad.

Otro caso destacable es el de los engranajes con interferencia de tallado, también llamados engranajes con penetración. Se trata de dentaduras en las que, durante el proceso de tallado, se produce una eliminación de material en la parte del perfil activo en la base del diente, que obviamente lo debilita e incluso puede llegar a acortar el camino de contacto de la transmisión. Es muy conocido que la interferencia de tallado es fácil de evitar en la fase de diseño (por ejemplo, aumentando el número de dientes, el ángulo de hélice o el desplazamiento de herramienta, entre otras posibilidades), de manera que si es un fenómeno dañino y fácil de evitar, la recomendación ha sido siempre, como parece razonable, que se evite, razón por la cual este tipo de dentaduras tampoco se encuentra recogido en las normas de diseño internacionales, mencionadas más arriba. Sin embargo, se sabe también que existen determinadas posibilidades en el diseño que permiten aumentar el grado de recubrimiento (que representa el número medio de dientes en contacto) pero aumentan la penetración. El caso más claro es la reducción del ángulo de presión de tallado. De esta forma, el diente puede debilitarse en su base, pero si la carga se reparte entre más dientes, la capacidad de carga puede, en determinados casos, aumentar.

Finalmente, empiezan a cobrar interés las transmisiones con alto grado de recubrimiento transversal. Se trata de engranajes en los que el grado de recubrimiento transversal es mayor que 2, de manera que, en cada sección transversal, existen al menos dos dientes en

contacto simultáneo. No habían sido objeto de especial atención hasta la actualidad por el hecho de que se requería un procedimiento de fabricación extremadamente preciso que asegurara el contacto simultáneo de tres parejas de dientes; pero es un hecho que estos niveles de precisión están ampliamente garantizados con los modernos procesos de generación. En este caso, la norma ISO 6336 proporciona algunas orientaciones para el cálculo de la capacidad de carga (no así AGMA, que establece expresamente que sus métodos de cálculo no son aplicables a este tipo de engranajes), pero se basan en un modelo de cálculo resistente incompleto, muy débilmente justificado y en exceso conservador, lo que unido a las condiciones de diseño cada vez más restrictivas y a la creciente competitividad de los mercados, la hacen inservible en la práctica.

Esta asignatura de *Diseño Avanzado de Transmisiones por Engranajes* se orienta al estudio de este tipo de transmisiones avanzadas que se acaban de mencionar, y que tan poco estudiadas han sido en el pasado. Se trata de estudiar su proceso de generación, sus condiciones de operación, y partiendo de los modelos que utilizan las normas ISO y AGMA para engranajes convencionales, desarrollar nuevos modelos para la determinación de su capacidad de carga.

Como es natural, esta asignatura constituye la base fundamental sobre la que se asienta la línea de investigación sobre *Transmisiones Avanzadas de Engranajes*, que se ofrece en este Máster.

## 2.CONTEXTUALIZACIÓN

La asignatura *Diseño Avanzado de Transmisiones por Engranajes* se integra dentro de la oferta de materias optativas del Departamento de Mecánica. En el programa, figura como asignatura optativa en el itinerario en Ingeniería de Construcción y Fabricación, y como obligatoria en el itinerario en Ingeniería Mecánica. Será obligatoria, por tanto, para seguir cualquiera de las cinco líneas de investigación asociadas a este itinerario, y constituye el fundamento específico para la línea de investigación en Transmisiones Avanzadas de Engranajes.

Presenta el cálculo resistente de los dientes de engranaje, por flexión en la base y por presión superficial, del que el alumno tendrá conocimientos previos, como un proceso continuo que, partiendo de la geometría de la herramienta de tallado y del proceso de generación, obtiene en primer lugar la geometría de los dientes del piñón y la rueda, para a continuación, y en función de las condiciones de operación, determinar la distribución de fuerzas, las condiciones críticas de carga y la resistencia a rotura y a picadura.

La asignatura viene a ampliar los conocimientos adquiridos por el alumno durante los estudios de grado, en disciplinas tales como *Teoría de Máquinas* o *Tecnología de Máquinas*. A lo largo de su desarrollo se justificarán los métodos de cálculo propuestos por las normas internacionales de diseño de engranajes y se establecerán los fundamentos para el análisis de transmisiones con modificaciones en la geometría o en las condiciones de operación.

Las principales competencias que se pretenden alcanzar son:

1. Conocimiento de los procesos de tallado por generación de dientes de engranajes.
2. Capacidad de determinación, a partir de la geometría de la herramienta y de las condiciones de tallado, de las características geométricas de la rueda dentada generada.
3. Capacidad de simulación de las condiciones de operación a partir de la geometría de las ruedas y de las condiciones de montaje.
4. Conocimiento de los modelos de cálculo resistente, a flexión en la base y a presión superficial, de las normas internacionales de diseño de engranajes ISO y AGMA.
5. Destrezas en la aplicación de los métodos energéticos para la determinación de la distribución de carga en la línea de contacto.
6. Capacidad de desarrollo de modelos avanzados de cálculo resistente.
7. Habilidades para el diseño y análisis de transmisiones especiales (interferencia de tallado, alto grado de recubrimiento transversal, rebaje de dentadura, etc.).

### 3. REQUISITOS PREVIOS RECOMENDABLES

La asignatura no tiene requisitos obligatorios. No obstante, para un adecuado seguimiento y aprovechamiento del curso se precisan conocimientos, a nivel de grado universitario, de algunas disciplinas como:

- *Elasticidad y Resistencia de Materiales*: tensión, deformación, potencial elástico, resistencia, esfuerzo normal, flexión y cortadura.
- *Teoría de Máquinas*: palancas rodantes, acción conjugada, transmisiones por engranajes.
- *Tecnología de Máquinas*: fatiga, presión superficial.

### 4. RESULTADOS DE APRENDIZAJE

El objetivo fundamental de esta asignatura es transmitir al alumno los conocimientos necesarios para abordar problemas avanzados de diseño de engranajes desde el punto de vista resistente, así como desarrollar las capacidades para la realización de actividades de investigación en este campo del conocimiento.

Este objetivo general se concreta en los siguientes objetivos específicos de la asignatura:

1. Establecer la relación existente entre la geometría de la herramienta de tallado y las condiciones de generación, por un lado, y las características del perfil generado, por otro.
2. Identificar las propiedades de funcionamiento de las transmisiones a partir de las condiciones de operación y montaje.
3. Estudiar los modelos de cálculo resistente, a flexión en la base y a presión superficial, de las normas internacionales de diseño de engranajes ISO y AGMA.
4. Presentar los métodos energéticos para la determinación de la distribución de carga en la línea de contacto.
5. Desarrollar modelos avanzados de cálculo.
6. Aplicar los nuevos modelos al diseño y análisis de transmisiones especiales.

### 5. CONTENIDOS DE LA ASIGNATURA

Los contenidos de la asignatura *Diseño Avanzado de Transmisiones por Engranajes* se han dividido en cinco bloques, llamados unidades didácticas, cada uno de los cuales se ha dividido a su vez en temas, hasta un total de 12. El esquema de contenidos es el siguiente:

#### Unidad Didáctica I. Geometría de los dientes y del engrane

- Tema 1. Introducción. Propiedades de la evolvente de circunferencia
- Tema 2. Generación de perfiles conjugados
- Tema 3. Generación de dientes de perfil de evolvente
- Tema 4. Engrane de dientes de perfil de evolvente

#### Unidad Didáctica II. Modelos de cálculo resistente

- Tema 5. Cálculo a presión superficial. Modelos ISO y AGMA
- Tema 6. Cálculo a flexión en la base. Modelos ISO y AGMA

#### Unidad Didáctica III. Distribución de carga

- Tema 7. Distribución de carga de mínimo potencial de deformación
- Tema 8. Modelo de cálculo a presión superficial
- Tema 9. Modelo de cálculo a flexión en la base

#### Unidad Didáctica IV. Transmisiones especiales

- Tema 10. Dientes con interferencia de tallado y rebaje de cabeza  
Tema 11. Transmisiones de alto grado de recubrimiento transversal

## Unidad Didáctica V. Trabajo final de síntesis

- Tema 12. Trabajo final de síntesis

## 6.EQUIPO DOCENTE

- [JOSE IGNACIO PEDRERO MOYA](#)
- [MIGUEL PLEGUEZUELOS GONZALEZ](#)
- [MIRYAM BEATRIZ SANCHEZ SANCHEZ](#)

## 7.METODOLOGÍA

Para cada unidad didáctica, el aprendizaje estará basado en los siguientes aspectos:

- Estudio del material didáctico que desarrolla los contenidos de la unidad.
- Planteamiento, discusión y resolución de dudas (interacción profesor–alumno y entre alumnos).
- Realización de ejercicios de entrenamiento (pruebas de autoevaluación).
- Realización de pruebas de evaluación, consistentes en la resolución de ejercicios prácticos, que se remitirán al equipo docente.

Finalmente, el trabajo final de síntesis consistirá en el desarrollo de un ejercicio de aplicación de los contenidos de las cuatro unidades didácticas anteriores.

Todo ello se llevará a cabo a través del curso virtual de la asignatura, al que se tendrá acceso a través del portal de enseñanza virtual *UNED-e*, y que constituirá el cauce habitual de comunicación entre alumnos y equipo docente, y entre los alumnos entre sí. En este curso virtual el alumno tendrá acceso a los siguientes medios de apoyo:

- Material didáctico: estará accesible toda la bibliografía básica necesaria para el seguimiento del curso, así como cuantas guías, adendas, ejercicios o material didáctico auxiliar se vaya generando a medida que avanza el curso para mantener toda la información permanentemente actualizada.
- Pruebas de autoevaluación: ejercicios de entrenamiento, con sus correspondientes guías para la autoevaluación por parte del alumno.
- Foros de debate: organizados por temas, servirán para el planteamiento, discusión y resolución de dudas o aclaraciones de interés general, relacionadas con los contenidos de la asignatura o la marcha del curso. Serán el cauce habitual de comunicación entre el equipo docente y los alumnos, y entre los alumnos entre sí.
- Correo electrónico: para la comunicación entre el equipo docente y los alumnos, o los alumnos entre sí, cuando se trate de temas particulares, sin especial interés para el resto de alumnos.
- Entornos virtuales para trabajo en grupo.
- Enlaces de interés.
- Pruebas de evaluación a distancia: que el alumno deberá realizar y remitir al equipo docente para su evaluación.

El alumno deberá comenzar el estudio de cada una de las unidades didácticas descargando el material didáctico correspondiente: la bibliografía básica, notas o guías del equipo docente, casos prácticos, pruebas de autoevaluación y pruebas de evaluación a distancia. Todo el material necesario para la preparación de la asignatura estará disponible en el curso virtual.

Deberá estudiar el material didáctico recomendado, realizando los ejercicios y actividades que en él se propongan, con la vista puesta en la prueba de evaluación que habrán de realizar al final de cada unidad.

Para resolver las dudas o problemas que vayan surgiendo podrá acudir a los foros de debate, donde el equipo docente responderá cuantas cuestiones se vayan planteando. Será recomendable que participen, asimismo, en la discusión otros alumnos que se hubieran enfrentado previamente a la misma cuestión, o que sobre la marcha, al pensar sobre el tema, tuvieran ideas que aportar. En todo caso, se recomienda vivamente la consulta asidua de estos foros, pues la experiencia demuestra que las dudas que plantean unos alumnos y otros son con frecuencia similares, y que en muchas ocasiones estas discusiones hacen aparecer cuestiones que inicialmente habían pasado totalmente desapercibidas.

A medida que se avanza en el estudio de la unidad, se habrán de ir realizando las pruebas de autoevaluación, que deberán dar una indicación del progreso del alumno. Finalmente, se realizará la prueba de evaluación a distancia, que se habrá de remitir al equipo docente.

El trabajo final de síntesis deberá desarrollarse con los conocimientos adquiridos en las unidades didácticas anteriores. No obstante, los foros de debate y el correo electrónico seguirán accesibles para las dudas y aclaraciones. Una vez finalizado, deberá ser remitido al equipo docente para su evaluación.

## 8. BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

Comentarios y anexos:

- AGMA Standard 2001–D04, Fundamental rating factors and calculation methods for involute spur and helical gear teeth, American Gear Manufacturers Association, Alexandria, VA, 2004.
- AGMA Information Sheet 908–B89, Geometry factors for determining the pitting resistance and bending strength of spur, helical and herringbone gear teeth, American Gear Manufacturers Association, Alexandria, VA, 1989.
- ISO Standard 6336–2: 1996, Calculation of load capacity of spur and helical gears – Part 2: Calculation of surface durability (pitting), International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 1996.
- ISO Standard 6336–3: 1996, Calculation of load capacity of spur and helical gears – Part 3: Calculation of tooth bending strength, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 1996.
- J. I. Pedrero, I. I. Vallejo, Determinant bending load conditions on high transverse contact ratio spur and helical gear drives, *Journal of Mechanical Engineering Design* 9(1), pp. 29–37, 2006.
- J. I. Pedrero, I. I. Vallejo, M. Pleguezuelos, Calculation of tooth bending strength and surface durability of high transverse contact ratio spur and helical gear drives, *Journal of Mechanical Design* 129(1), pp. 69–74, 2007.
- M. Pleguezuelos, Modelo de distribución de carga en engranajes cilíndricos de perfil de evolvente, Tesis Doctoral, UNED, Madrid, 2006.
- M. Sánchez, Modelo de cálculo resistente de engranajes cilíndricos de alto grado de recubrimiento, Tesis Doctoral, UNED, Madrid, 2013.

## 9. BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

## 10. RECURSOS DE APOYO AL ESTUDIO

En el apartado de Metodología y Plan de Trabajo de esta guía se han presentado someramente los medios de apoyo que se ponen a disposición de los alumnos en el curso virtual: carpetas de contenidos, foros de debate, correo electrónico, entornos virtuales y enlaces.

En principio, no se han previsto programas de radio ni videoconferencias relacionados con

los contenidos de la asignatura. No obstante, se podrían organizar si existiera interés por parte de los alumnos.

## 11. TUTORIZACIÓN Y SEGUIMIENTO

La tutorización y el seguimiento de los aprendizajes se realizarán a través del curso virtual. También se pueden realizar consultas personales o telefónicas a los profesores del equipo docente, en el siguiente horario:

Prof. D. José Ignacio Pedrero Moya

Día: Martes, de 16 a 20 horas

Lugar: ETS de Ingenieros Industriales, Dpto. de Mecánica, despacho 1.49

Teléfono: 913 986 430

Prof. D. Miguel Pleguezuelos González

Día: Martes, de 16 a 20 horas

Lugar: ETS de Ingenieros Industriales, Dpto. de Mecánica, despacho 1.47

Teléfono: 913 987 674

Prof. D.<sup>a</sup> Miryam Beatriz Sánchez Sánchez

Día: Martes, de 16 a 20 horas

Lugar: ETS Ingenieros Industriales, Dpto. de Mecánica, despacho 1.43

Teléfono: 913 986 434

## 12. EVALUACIÓN DE LOS APRENDIZAJES

La evaluación consistirá en una prueba presencial, pruebas de evaluación a distancia y trabajos de síntesis, así como otros elementos de evaluación que establezca el equipo docente para evaluar la actividad del alumno a lo largo del curso.

Las pruebas de evaluación a distancia (PED) consisten en la realización de determinados ejercicios de carácter práctico, relacionados con los contenidos de la asignatura. Habrá una PED por cada una de las unidades didácticas del programa. La PED de la quinta unidad didáctica coincide con el trabajo final de síntesis.

La prueba presencial consistirá en la resolución de ejercicios prácticos (por lo general 2), similares a los de las PED, para lo que el alumno podrá utilizar todo tipo de material escrito.

Las características de los distintos elementos de evaluación y su peso en la calificación final se establecerán al comienzo del curso y podrán consultarse en el curso virtual de la asignatura. Como idea orientativa, la calificación de las cuatro primeras pruebas de evaluación a distancia contará en torno al 30% de la nota; el trabajo final de síntesis (o quinta prueba de evaluación a distancia) el 50%; y el examen el 20%.

Dado que la asignatura se imparte durante el segundo semestre del curso, la prueba presencial se celebrará en las convocatorias de junio y septiembre.

## 13. COLABORADORES DOCENTES

Véase equipo docente.