

17-18

MÁSTER UNIVERSITARIO EN  
INVESTIGACIÓN EN TECNOLOGÍAS  
INDUSTRIALES

# GUÍA DE ESTUDIO PÚBLICA



## TRANSMISIONES AVANZADAS DE ENGRANAJES

CÓDIGO 28801316



Ámbito: GUJ - La autenticidad, validez e integridad de este documento puede ser verificada mediante el "Código Seguro de Verificación (CSV)" en la dirección <https://sede.uned.es/valida/>



DACAB9602F42190DC28F1854CF3406A4

17-18

TRANSMISIONES AVANZADAS DE  
ENGRANAJES  
CÓDIGO 28801316

# ÍNDICE

PRESENTACIÓN Y CONTEXTUALIZACIÓN  
REQUISITOS Y/O RECOMENDACIONES PARA CURSAR ESTA  
ASIGNATURA  
EQUIPO DOCENTE  
HORARIO DE ATENCIÓN AL ESTUDIANTE  
COMPETENCIAS QUE ADQUIERE EL ESTUDIANTE  
RESULTADOS DE APRENDIZAJE  
CONTENIDOS  
METODOLOGÍA  
SISTEMA DE EVALUACIÓN  
BIBLIOGRAFÍA BÁSICA  
BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA  
RECURSOS DE APOYO Y WEBGRAFÍA



Nombre de la asignatura	TRANSMISIONES AVANZADAS DE ENGRANAJES
Código	28801316
Curso académico	2017/2018
Títulos en que se imparte	MÁSTER UNIVERSITARIO EN INVESTIGACIÓN EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES
Tipo	TRABAJO DE INVESTIGACIÓN
Nº ETCS	15
Horas	375.0
Periodo	ANUAL
Idiomas en que se imparte	CASTELLANO

## PRESENTACIÓN Y CONTEXTUALIZACIÓN

Las transmisiones por engranajes en general, y los engranajes cilíndricos –rectos y helicoidales– en particular, han sido siempre objeto de estudio y continuo desarrollo, 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. A ello dedican sus esfuerzos, entre otros organismos e instituciones, el Comité Técnico TC 60 de ISO (con sus distintos subcomités y grupos de trabajo) o los distintos comités y divisiones técnicas de la *American Gear Manufacturers Association*, AGMA. Y fruto de ello es el elevado grado de desarrollo de las normas que ambas publican, que permite predecir con notable precisión el comportamiento de las dentaduras. A pesar de ello, todas estas normas son objeto de permanente revisión, en busca de modelos cada vez más precisos, que permitan ajustar el diseño a los requerimientos, cada vez más exigentes, de la industria moderna.

Muchos retos permanecen planteados en el momento presente. En el terreno de la normalización, por ejemplo, llama la atención que ni ISO ni AGMA, en ninguna de sus normas, proponga un método de cálculo de la capacidad de carga para transmisiones por piñón y corona de dentado interior. Ciertamente, son engranajes que se vienen utilizando asiduamente, pero su finalidad ha venido siendo más bien la transmisión de movimiento, y no tanto la de potencia, como se empieza a demandar en la actualidad. Tampoco consideran, ni ISO ni AGMA, con la suficiente profundidad, los engranajes con alto grado de recubrimiento transversal –esto es, mayor que 2–, cuando los métodos actuales de generación de los dientes proporcionan la precisión requerida para asegurar el contacto simultáneo de tres parejas de dientes; ni los engranajes con interferencia de tallado, que si bien quedan con los dientes debilitados, ofrecen en determinadas ocasiones mayores grados de recubrimiento, lo que compensaría el debilitamiento con el reparto de la carga entre un mayor número de dientes, pudiendo aumentar la capacidad de potencia.

Se trabaja también en la determinación del reparto de carga entre parejas de dientes y a lo largo de la línea de contacto de cada pareja. Existen métodos de simulación –el de los elementos finitos es el más utilizado, aunque no el único– que permiten conocer con razonable precisión este reparto de carga para una transmisión con una geometría determinada, pero es necesario buscar una formulación general que permita el desarrollo de modelos de cálculo resistente más ajustados o el desarrollo de modelos avanzados de determinación del rendimiento mecánico de la transmisión.

Finalmente, son actuales también otros campos de trabajo, como la localización del contacto



o el prediseño de funciones parabólicas de error de transmisión, para reducir los niveles de ruido y vibración por errores de fabricación o alineamiento, y reducir los niveles de presión superficial por contacto de borde, todo ello mediante la modificación de la geometría de corte y las condiciones de generación.

La línea de investigación en *Transmisiones avanzadas de engranajes* está orientada a estos objetivos que se acaban de esbozar, muchos de los cuales constituyen líneas de trabajo de los comités técnicos ISO y AGMA que se mencionaron antes. Los trabajos de investigación que se realicen dentro de esta línea consistirán en el desarrollo de alguno de los modelos anteriores, para algún tipo de transmisión determinada.

## REQUISITOS Y/O RECOMENDACIONES PARA CURSAR ESTA ASIGNATURA

A esta línea de investigación sólo se puede acceder a través del itinerario en *Ingeniería de Máquinas*, y tras haber cursado (o cursar simultáneamente), entre las asignaturas optativas de itinerario, la de *Análisis actual de problemas de mecánica de medios continuos: método de los elementos finitos, método de los elementos de contorno y métodos sin malla* y la de *Biodinámica y biomateriales*.

Adicionalmente, es necesario el conocimiento de la lengua inglesa, al menos con suficiente nivel para el manejo de documentación técnica. Asimismo, se precisarán conocimientos informáticos a nivel de usuario de paquetes estándar (ofimática, etc.), así como de algún producto –o lenguaje de programación– de cálculo científico.

## EQUIPO DOCENTE

Nombre y Apellidos  
Correo Electrónico  
Teléfono  
Facultad  
Departamento

JOSE IGNACIO PEDRERO MOYA  
jpedrero@ind.uned.es  
91398-6430  
ESCUELA TÉCN.SUP INGENIEROS INDUSTRIALES  
MECÁNICA

Nombre y Apellidos  
Correo Electrónico  
Teléfono  
Facultad  
Departamento

MIGUEL PLEGUEZUELOS GONZALEZ  
mpleguezuelos@ind.uned.es  
91398-7674  
ESCUELA TÉCN.SUP INGENIEROS INDUSTRIALES  
MECÁNICA

Nombre y Apellidos  
Correo Electrónico  
Teléfono  
Facultad  
Departamento

MIRYAM BEATRIZ SANCHEZ SANCHEZ  
msanchez@ind.uned.es  
91398-6434  
ESCUELA TÉCN.SUP INGENIEROS INDUSTRIALES  
MECÁNICA



## HORARIO DE ATENCIÓN AL ESTUDIANTE

La tutorización y el seguimiento de los aprendizajes se realizarán a través del curso virtual. Dependiendo del trabajo a desarrollar y de la dedicación prevista, el alumno recibirá indicación personalizada de los envíos que debe realizar, y los plazos recomendados para cada uno. Todos estos envíos serán objeto de respuesta, con correcciones o comentarios, por parte del equipo docente.

Asimismo, se podrán realizar consultas personales o telefónicas en el siguiente horario:

### **Prof. D. José Ignacio Pedrero Moya**

- Martes, de 16 a 20 horas
- Dpto. de Mecánica, ETS de Ingenieros Industriales, despacho 1.49
- Tel.: 913 986 430

### **Prof. D. Miguel Pleguezuelos González**

- Martes, de 16 a 20 horas
- Dpto. de Mecánica, ETS de Ingenieros Industriales, despacho 1.47
- Tel.: 913 987 674

### **Prof. D.ª Miryam Beatriz Sánchez Sánchez**

- Martes, de 16 a 20 horas
- Dpto. de Mecánica, ETS Ingenieros Industriales, despacho 1.43
- Tel.: 913 986 434

## COMPETENCIAS QUE ADQUIERE EL ESTUDIANTE

### RESULTADOS DE APRENDIZAJE

El objetivo final del trabajo de investigación será el desarrollo de un modelo de comportamiento, ya sea para un tipo de transmisión de características especiales o la mejora del modelo de una transmisión conocida, o la propuesta de unas condiciones de generación óptimas para unos requisitos establecidos.

Con este objetivo técnico y el desarrollo metodológico a él asociado, se pretende que el alumno alcance los siguientes objetivos de aprendizaje:

**Objetivos de conocimientos:** que el alumno adquiera conocimiento de:

- Modelos de comportamiento sobre los que se fundamentan los métodos de cálculo empleados en el diseño de engranajes, especialmente por los comités técnicos internacionales de normalización.
- Procesos de simulación de la generación del dentado, análisis del contacto y análisis tensional.
- Métodos energéticos para la determinación de la distribución de carga.

**Objetivos de habilidades y destrezas:** que el alumno adquiera capacidad de:



- Aplicar los modelos de comportamiento mecánico y de distribución de carga al desarrollo de nuevos métodos de cálculo y diseño de transmisiones especiales, o la mejora de los métodos de transmisiones convencionales.
- Simular la generación de dentaduras con geometría modificada.
- Optimizar los parámetros de generación según diferentes objetivos de capacidad de carga, nivel de ruido y vibración o localización del contacto.

**Objetivos de actitudes:** que el alumno adquiera capacidad de:

- Proponer metodologías de desarrollo de nuevos modelos de comportamiento y métodos de cálculo de engranajes.
- Diseñar estudios de optimización de la geometría y las condiciones de generación de dientes de engranajes.

## CONTENIDOS

## METODOLOGÍA

La realización del trabajo de investigación se llevará a cabo individualmente, y dirigido a distancia a través del portal de enseñanza virtual *UNED-e*. Como se explica en el apartado de Evaluación de los aprendizajes, el alumno habrá de presentar y defender los resultados de su trabajo de investigación ante un tribunal en la sede de la Escuela de Ingenieros Industriales de la UNED, en Madrid.

El alumno recibirá una ficha con la descripción y el alcance del trabajo de investigación a realizar. En el curso virtual encontrará bibliografía que le servirá de base para el desarrollo del trabajo, que eventualmente podría ser completada con bibliografía adicional, específica para cada trabajo, que remitiera el equipo docente. Con dicha bibliografía y los conocimientos adquiridos en la asignatura de *Diseño avanzado de transmisiones por engranajes*, el alumno deberá estar capacitado para acometer el desarrollo del trabajo. El plan de trabajo a seguir se puede establecer, en términos generales, como se describe a continuación (las horas de dedicación a cada una de las actividades previstas, que se indican para cada una de ellas, constituyen obviamente una estimación, que podrá oscilar dependiendo del propio alumno y de las características del trabajo):

- Estudio de la documentación aportada por el equipo docente:** complemento de los conocimientos técnicos adquiridos en la asignatura de *Diseño avanzado de transmisiones por engranajes*, y guía del itinerario a seguir en el desarrollo del trabajo. Dedicación estimada: 25 horas.
- Elección y puesta a punto de la herramienta computacional a utilizar:** eventualmente incluirá el estudio y adecuación de herramientas computacionales suministradas por el equipo docente, que podrán servir de base a posteriores desarrollos. Dedicación estimada: 25 horas.





- **Establecimiento del modelo teórico de comportamiento:** aplicación de los modelos generales utilizados en el diseño de engranajes –en especial por las normas internacionales de diseño– al problema considerado, incluyendo el desarrollo de las rutinas de cálculo necesarias. Dedicación estimada: 50 horas.
- **Desarrollo del modelo de distribución de carga:** ajustando el modelo general de mínimo potencial de deformación a la geometría de la transmisión considerada, incluyendo asimismo el desarrollo de las rutinas de cálculo apropiadas. Dedicación estimada: 100 horas.
- **Desarrollo del modelo de cálculo y elaboración de la propuesta:** formulación del método de cálculo asociado al modelo (determinación de las condiciones críticas de carga y valores críticos de las tensiones, rendimiento, etc.), incluyendo el desarrollo de las herramientas para la realización de los estudios. Dedicación estimada: 150 horas.
- **Preparación de un informe escrito:** que habrá de contener la presentación y justificación de los resultados de su trabajo. Dedicación estimada: 50 horas.
- **Preparación de la presentación y defensa de los resultados del trabajo:** incluido el soporte informático (PowerPoint o similar), si procede. Dedicación estimada: 24 horas.
- **Presentación y defensa ante un tribunal.** Dedicación: 1 hora.

Las tareas de dirección del trabajo serán desarrolladas por el equipo docente a través del curso virtual. Las consultas habrán de formularse, por lo general, a través del correo electrónico, pues en principio, al hacer referencia al trabajo en concreto del alumno que pregunta, no es de esperar que sean de interés para los restantes alumnos. No obstante, el equipo docente podrá abrir foros y colgar de ellos información que considere de interés para la generalidad de los estudiantes.

El mismo procedimiento se habrá de seguir para cualquier envío que el alumno haya de hacer al equipo docente.

## SISTEMA DE EVALUACIÓN

## BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

La siguiente bibliografía estará a disposición del alumno en el curso virtual, aunque no necesariamente habrá de trabajar con toda ella para el desarrollo de su trabajo. En la ficha de definición del mismo encontrará información detallada de la bibliografía que hace referencia a su trabajo.

1. AGMA Standard 2001–D04, Fundamental rating factors and calculation methods for involute spur and helical gear teeth, American Gear Manufacturers Association, Alexandria, VA, 2004.



2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. J. I. Pedrero, M. Estrems, A. Fuentes, “Determination of the efficiency of cylindrical gear sets”, Proc. IV World Congress on Gearing and Power Transmissions, París (Francia), vol. 1, pp. 297-302, 1999.
6. J. I. Pedrero, M. Artés, A. Fuentes, “Modelo de distribución de carga en engranajes cilíndricos de perfil de evolvente”, Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica, **3**(1), pp. 31-43, 1999.
7. J. I. Pedrero, M. Artés, C. García-Masiá, “Determination of the effective path of contact of undercut involute gear teeth”, Journal of Mechanical Engineering Science, **218**(7), pp. 751-760, 2004.
8. 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.
9. 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.
10. J. I. Pedrero, M. Pleguezuelos, S. Aguiriano, “Load distribution model for involute internal gear sets”, Proc. X ASME International Power Transmission and Gearing Conference, Las Vegas (Nevada), 2007.
11. M. Pleguezuelos, Modelo de distribución de carga en engranajes cilíndricos de perfil de evolvente, Tesis Doctoral, UNED, Madrid, 2006.
12. M. Sánchez, Modelo de cálculo resistente de engranajes cilíndricos de alto grado de recubrimiento, Tesis Doctoral, UNED, Madrid, 2013.

## BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

Las siguientes referencias pueden resultar de interés en el desarrollo de algunos de los trabajos que se realicen dentro de la línea de investigación en *Transmisiones avanzadas de engranajes*. La ficha de definición de cada trabajo indicará aquéllas que podrían tener especial relación con el mismo, y cuya adquisición o consulta podría ser recomendable.





No se incluyen aquí referencias de contenidos muy específicos que, aun pudiendo ser de interés para algunos trabajos, el equipo docente podría suministrarlos a través del curso virtual.

1. J. A. Antona, Modelo de potencial elástico de deformación en engranajes cilíndricos de perfil de evolvente, Proyecto Fin de Carrera, UNED, Madrid, 2007.
2. J. R. Beltrán, Método de cálculo del factor geométrico a flexión de engranajes cilíndricos de dentado interior, Proyecto Fin de Carrera, UNED, Madrid, 2006.
3. M. Estrems, Modelo de cálculo a presión superficial de engranajes cilíndricos de perfil de evolvente, Tesis Doctoral, Universidad de Murcia, Murcia, 1998.
4. A. Fuentes, Modelo de cálculo a flexión de engranajes cilíndricos de perfil de evolvente, Tesis Doctoral, UNED, Madrid, 1996.
5. F. L. Litvin, A. Fuentes, Gear geometry and applied theory, 2nd ed., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2004.
6. J. I. Pedrero, C. García-Masiá, A. Fuentes, "On the location of the tooth critical section for the determination of the AGMA  $J$ -factor", AGMA 1997 Fall Technical Meeting, San Diego (California), Paper 97FTM6, 1997.
7. J. I. Pedrero, M. Artés, M. Pleguezuelos, C. García-Masiá, A. Fuentes, "Theoretical model for load distribution on cylindrical gears: application to contact stress analysis", AGMA 1999 Fall Technical Meeting, Denver (Colorado), Paper 99FTM15, 1999.
8. J. I. Pedrero, A. Fuentes, M. Estrems, "Approximate method for the determination of the bending strength geometry factor for external spur and helical gear teeth", Journal of Mechanical Design, **122**(3), pp. 331-336, 2000.
9. J. I. Pedrero, M. Pleguezuelos, S. Aguiriano, "Load distribution model of minimum elastic potential for involute internal gears", Machine Design, Novi Sad (Serbia), pp. 245-250, 2007.
10. I. I. Vallejo, Modelo de cálculo resistente de engranajes cilíndricos de alto grado de recubrimiento transversal, Proyecto Fin de Carrera, UNED, Madrid, 2008.
11. C. Zanzi, Modelo avanzado para la generación de dientes de engranaje con abombamiento longitudinal --aplicación a transmisiones de engranajes rectos y frontales, Tesis Doctoral, UNED, Madrid, 2004.

## RECURSOS DE APOYO Y WEBGRAFÍA

Cuando lo considere conveniente, el equipo docente pondrá a disposición de los alumnos --de aquellos a quienes pueda resultar de utilidad, no necesariamente todos-- herramientas computacionales que pueden servir de base o de guía para posteriores desarrollos que se hayan de realizar en los distintos trabajos de investigación.



## IGUALDAD DE GÉNERO

En coherencia con el valor asumido de la igualdad de género, todas las denominaciones que en esta Guía hacen referencia a órganos de gobierno unipersonales, de representación, o miembros de la comunidad universitaria y se efectúan en género masculino, cuando no hayan sido sustituido por términos genéricos, se entenderán hechas indistintamente en género femenino o masculino, según el sexo del titular que los desempeñe.

