

24-25

# GUÍA DE ESTUDIO PÚBLICA



## SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DEL CONTACTO EN ENGRANAJES

CÓDIGO 28010299

UNED

**24-25**

**SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DEL CONTACTO  
EN ENGRANAJES  
CÓDIGO 28010299**

# 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  
IGUALDAD DE GÉNERO

Nombre de la asignatura	SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DEL CONTACTO EN ENGRANAJES
Código	28010299
Curso académico	2024/2025
Título en que se imparte	MÁSTER UNIVERSITARIO EN INVESTIGACIÓN EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES
Tipo	CONTENIDOS
Nº ETCS	5
Horas	125
Periodo	SEMESTRE 2
Idiomas en que se imparte	CASTELLANO

## PRESENTACIÓN Y CONTEXTUALIZACIÓN

La asignatura de *Simulación y Análisis del Contacto en Engranajes* forma parte de la oferta de asignaturas optativas del itinerario de *Ingeniería Mecánica* del Máster. Ha sido concebida como continuación de la asignatura *Diseño Avanzado de Transmisiones por Engranajes*, obligatoria del mencionado itinerario, junto con cual constituye el fundamento de la línea de investigación *Transmisiones Avanzadas de Engranajes*, para la realización del trabajo fin de máster. Además, y dado que el máster proporciona acceso directo al *Programa de Doctorado en Tecnologías Industriales* de la Escuela de Doctorado de la UNED, la realización del TFM en la mencionada línea de investigación capacita de forma idónea para la realización del doctorado en la línea L16 del programa, *Diseño de Máquinas y Diagnóstico Mediante Vibraciones*, en alguna de las líneas de trabajo del *Grupo de Investigación de Ingeniería Mecánica*, del que forman parte todos los profesores de la asignatura.

Para el estudio del comportamiento dinámico de un engranaje es necesario determinar la relación entre la rigidez de engrane, el reparto de carga y el error de transmisión. En la asignatura previa de *Diseño Avanzado de Transmisiones por Engranajes* se estudió la relación entre la rigidez y el reparto de carga, y con ello se establecieron modelos de cálculo resistente a rotura en la base y a presión superficial, y modelos de pérdidas por fricción. Sin embargo, la aplicación de carga entre dientes de engranaje tiene otro importante efecto, que es la deformación que produce en ellos. En efecto, la carga sobre el diente conductor tiende a desplazarlo hacia atrás, según el sentido del movimiento, mientras que la carga sobre el diente conducido tiende a desplazarlo hacia adelante. El resultado es un retraso del diente conducido respecto del diente conductor, que además se puede demostrar que es igual para todas las parejas de dientes en contacto simultáneo, y por tanto representa un retraso de la rueda conducida respecto de la conductora, que es lo que se conoce como error de transmisión.

Este retraso de la rueda conducida tiene dos consecuencias principales. En primer lugar, el inicio del contacto se produce antes de alcanzar el punto de inicio teórico. La base del diente conductor se encuentra con la cabeza del diente conducido fuera de la línea de presión, y se produce un contacto no conjugado con la punta del último durante un cierto intervalo. Es lo que se conoce como impacto de inicio de engrane, lo que es fuente de ruido y vibraciones, y puede tener consecuencias catastróficas en el funcionamiento de la transmisión. En segundo lugar, el error de transmisión, aun siendo igual para todas las parejas de dientes en contacto, es diferente en cada posición de contacto, describiendo obviamente una función periódica,

de periodo el de contacto entre dientes. Entonces, si el error de transmisión constituye un retraso de la rueda conducida respecto de la conductora, si la velocidad de entrada es constante, la velocidad de salida variará como lo haga el error de transmisión, lo que significa la aparición de aceleraciones y deceleraciones, que provocan la aparición de sobrecarga dinámica, además de ser fuente de vibraciones y ruido.

Para hacer frente a estos problemas se recurre con frecuencia a la modificación del perfil, también conocido como rebaje de punta. Se trata de eliminar una cierta cantidad de material en la punta del diente conducido, de manera que se evite el impacto de inicio de engrane, y se retrase éste hasta su punto teórico. Eso obliga, naturalmente, a modificar la geometría del perfil en un cierto intervalo, llamado intervalo de modificación o de rebaje, lo que permite, mediante la elección de la longitud y forma del rebaje, controlar en alguna medida la forma y amplitud del error de transmisión.

En esta asignatura de *Simulación y Análisis del Contacto en Engranajes* se estudiará la relación entre la rigidez y la distribución de carga con la modificación del perfil y el error de transmisión. En definitiva, se presentará un modelo para la simulación del error de transmisión de engranajes con modificación de perfil, para, a través de él, encontrar posibilidades de mejora del comportamiento dinámico (emisión de ruido y vibraciones) y del comportamiento resistente (limitación de sobrecargas de origen dinámico).

El programa de la asignatura consta de cuatro unidades didácticas. En la primera de ellas se establecerá el modelo integrado rigidez - reparto de carga - error de transmisión para engranajes rectos de dentado exterior, que se desarrollará en tres etapas: modelo teórico, modelo extendido -considerando deformaciones- y modelo con rebaje -considerando modificación de perfil-. En la Unidad Didáctica II se desarrollará un modelo similar para engranajes helicoidales exteriores, en las mismas tres etapas que el anterior. En la Unidad Didáctica III se hará lo mismo con engranajes rectos de dentado interior, incluyendo una breve descripción del desarrollo del modelo para engranajes planetarios como combinación de los modelos de engranajes exteriores e interiores. Finalmente, en la Unidad Didáctica IV se desarrollará un trabajo final de síntesis, de características similares al que se desarrolló en la asignatura de *Diseño Avanzado de Transmisiones por Engranajes*.

De acuerdo con lo anterior, las competencias que se alcanzarán con la asignatura son las siguientes:

1. Conocimiento de la relación entre la rigidez de engrane, el reparto de carga y el error de transmisión.
2. Capacidad de simulación de las deformaciones de los dientes inducidas por la carga.
3. Conocimiento de la influencia de la modificación del perfil en el comportamiento resistente y dinámico del engranaje.
4. Capacidad para la elaboración de modelos matemáticos de simulación.
5. Capacidad de desarrollo de modelos para engranajes planetarios.
6. Habilidades para el diseño y análisis de transmisiones especiales (mínima amplitud de error de transmisión, mínima carga instantánea inducida, etc.).

## REQUISITOS Y/O RECOMENDACIONES PARA CURSAR ESTA ASIGNATURA

Aunque no se establece como requisito obligatorio, para cursar esta asignatura se considera imprescindible haber superado la asignatura de *Diseño Avanzado de Transmisiones por Engranajes*.

## EQUIPO DOCENTE

Nombre y Apellidos	JOSE IGNACIO PEDRERO MOYA (Coordinador de asignatura)
Correo Electrónico	jpedrero@ind.uned.es
Teléfono	91398-6430
Facultad	ESCUELA TÉCN.SUP INGENIEROS INDUSTRIALES
Departamento	MECÁNICA

Nombre y Apellidos	MIGUEL PLEGUEZUELOS GONZALEZ
Correo Electrónico	mpleguezuelos@ind.uned.es
Teléfono	91398-7674
Facultad	ESCUELA TÉCN.SUP INGENIEROS INDUSTRIALES
Departamento	MECÁNICA

Nombre y Apellidos	MIRYAM BEATRIZ SANCHEZ SANCHEZ
Correo Electrónico	msanchez@ind.uned.es
Teléfono	91398-6434
Facultad	ESCUELA TÉCN.SUP INGENIEROS INDUSTRIALES
Departamento	MECÁNICA

## HORARIO DE ATENCIÓN AL ESTUDIANTE

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

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

Día: Martes, de 16 a 20 horas

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

Calle Juan del Rosal 12, 28040 Madrid

Teléfono: 913 986 430, email: jpedrero@ind.uned.es

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

Día: Martes, de 10 a 14 horas

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

Calle Juan del Rosal 12, 28040 Madrid

Teléfono: 913 987 674, email: mpleguezuelos@ind.uned.es

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

Día: Martes, de 10 a 14 horas

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

Calle Juan del Rosal 12, 28040 Madrid

Teléfono: 913 986 434, email: msanchez@ind.uned.es

## COMPETENCIAS QUE ADQUIERE EL ESTUDIANTE

### COMPETENCIAS

CP1 Desarrollar habilidades sistémicas (metodológicas): aplicación de conocimientos, habilidades en investigación, y creatividad.

CP3 Que los estudiantes sean capaces de integrar conocimientos y enfrentarse a la complejidad de formular juicios a partir de una información que, siendo incompleta o limitada, incluya reflexiones sobre las responsabilidades sociales y éticas vinculadas a la aplicación de sus conocimientos y juicios.

CP4 Que los estudiantes sepan comunicar sus conclusiones y los conocimientos y razones últimas que las sustentan a públicos especializados y no especializados de un modo claro y sin ambigüedades.

## RESULTADOS DE APRENDIZAJE

### CONOCIMIENTOS O CONTENIDOS

C1 Adquirir el conocimiento de los métodos y técnicas de investigación.

C3 Elaborar y tratar modelos matemáticos que representen el comportamiento de los sistemas industriales.

C4 Adquirir destrezas en la aplicación de técnicas de simulación computacional.

C5 Tomar conciencia de la importancia de la adquisición del conocimiento científico a la luz de la teoría de la ciencia actual, así como de la diversidad metodológica.

C6 Poseer y comprender conocimientos que aporten una base u oportunidad de ser originales en el desarrollo y/o aplicación de ideas, a menudo en un contexto de investigación.

### HABILIDADES O DESTREZAS

H1 Desarrollar capacidad de análisis y síntesis de la información científico-técnica.

H2 Adquirir destrezas en la búsqueda y gestión bibliográfica y documental.

H3 Desarrollar capacidad de razonamiento crítico.

H4 Desarrollar habilidades técnicas, de análisis y síntesis: resolución de problemas, toma de decisiones y comunicación de avances científicos.

H6 Que los estudiantes sepan aplicar los conocimientos adquiridos y su capacidad de resolución de problemas en entornos nuevos o poco conocidos dentro de contextos más amplios (o multidisciplinares) relacionados con su área de estudio.

H7 Que los estudiantes posean las habilidades de aprendizaje que les permitan continuar estudiando de un modo que habrá de ser en gran medida autodirigido o autónomo.

### COMPETENCIAS

CP1 Desarrollar habilidades sistémicas (metodológicas): aplicación de conocimientos, habilidades en investigación, y creatividad.

CP3 Que los estudiantes sean capaces de integrar conocimientos y enfrentarse a la complejidad de formular juicios a partir de una información que, siendo incompleta o limitada, incluya reflexiones sobre las responsabilidades sociales y éticas vinculadas a la aplicación

de sus conocimientos y juicios.

CP4 Que los estudiantes sepan comunicar sus conclusiones y los conocimientos y razones últimas que las sustentan a públicos especializados y no especializados de un modo claro y sin ambigüedades.

## CONTENIDOS

### Unidad Didáctica I. Engranajes rectos

En esta unidad didáctica se presenta el modelo integrado de rigidez de engrane - reparto de carga - error de transmisión para engranajes rectos de dentado exterior. Se introduce la rigidez en el intervalo extendido de contacto, a partir de la cual se obtiene el reparto de carga a lo largo de todo el intervalo de contacto. Con la rigidez y el reparto de carga se calculan las deformaciones, que originan el error de transmisión. Finalmente, el proceso se repite para dientes con modificación de perfil.

El desglose de contenidos de la unidad didáctica es el siguiente:

- Modelo teórico de rigidez de engrane, reparto de carga y error de transmisión.
- Modelo extendido con deformaciones.
- Modelo con modificación de perfil.

### Unidad Didáctica II. Engranajes helicoidales

En esta unidad didáctica se hace una generalización del modelo de rigidez de engrane - reparto de carga - error de transmisión de engranajes rectos presentado en la unidad didáctica anterior, al caso de engranajes helicoidales. El diente helicoidal se trata como una sucesión de infinitos dientes rectos de espesor diferencial, cada uno de los cuales contacta en un punto diferente. Posteriormente se calcula por integración la rigidez del diente en cada posición de contacto, y se procede de manera similar a como se hizo en la Unidad Didáctica I.

Los contenidos de esta unidad son:

- Rigidez de la sección y rigidez del diente.
- Modelo teórico.
- Modelo extendido.
- Modelo con modificación de perfil.

### Unidad Didáctica III. Engranajes interiores y planetarios

En la Unidad Didáctica III se presenta la geometría de los engranajes de dentado interior, tanto la generación del perfil con piñón cortador como la geometría del engrane entre piñón y corona, incluyendo engranajes rectos y helicoidales. A continuación, se desarrolla el modelo



de rigidez de engrane - reparto de carga - error de transmisión, en las mismas tres etapas de modelo tórico, modelo extendido y modelo con rebaje. Finalmente, se incluye una breve descripción del desarrollo del modelo para engranajes planetarios rectos, como combinación de los modelos de engranajes exteriores e interiores.

Por consiguiente, los contenidos de esta unidad son:

- Geometría del dentado interior.
- Modelo teórico, extendido y con rebaje para engranajes interiores.
- Modelo para engranajes planetarios.

#### Unidad Didáctica IV. Trabajo final de síntesis

En esta última unidad didáctica se realizará un trabajo final, que recoja de alguna forma los conocimientos, capacidades y habilidades desarrollados en la asignatura. El equipo docente propondrá un tema, aunque el alumno podrá sugerir otra posibilidad, especialmente en el caso de que esté realizando, o tenga previsto realizar, el trabajo fin de máster en la línea de *Transmisiones Avanzadas de Engranajes*.

## METODOLOGÍA

El método de trabajo que se propone para el seguimiento de la asignatura está basado en los recursos didácticos propios de la enseñanza a distancia, que se imparte en la UNED. Para cada una de las tres primeras unidades didácticas, 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, que conforma la Unidad Didáctica IV, consistirá en el desarrollo de un ejercicio de aplicación de los conocimientos, capacidades y destrezas alcanzados en 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 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.
- Pruebas de evaluación a distancia:** que el alumno deberá realizar y remitir al equipo docente para su evaluación.
- Entornos virtuales para trabajo en grupo.**
- Enlaces de interés:** entre los que se encontrará el enlace al sitio web del *Grupo de Investigación de Ingeniería Mecánica* y al repositorio de publicaciones del mismo.
- Información de interés:** especialmente dirigida a alumnos que prevean la realización del trabajo fin de máster e la línea de investigación de *Transmisiones Avanzadas de Engranajes*, vinculada a esta asignatura. Entre esta información, cabe destacar lo siguiente:
  - Procedimiento para la adquisición de una licencia anual gratuita del software KissSoft.
  - Líneas que se ofertan en cada momento para el trabajo fin de máster en la línea de *Transmisiones Avanzadas de Engranajes*. (Entendiendo que la oferta será siempre flexible, y estará abierta considerar a sugerencias o preferencias de cada alumno).
  - Presentación de la actividad investigadora reciente del grupo y de las líneas actuales y resultados previstos.
- Glosario de términos:** documento en el que se recogen los términos más importantes que se utilizan en la asignatura, con indicación de las páginas de los documentos de la bibliografía en las que pueden encontrarse las definiciones correspondientes, o el modo en que cada término es introducido.

El alumno deberá comenzar el estudio de cada una de las unidades didácticas descargando el material didáctico correspondiente: la bibliografía básica, pruebas de autoevaluación y pruebas de evaluación a distancia. Todo el material necesario para la preparación de la asignatura estará disponible en formato electrónico 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 y destrezas 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.

## SISTEMA DE EVALUACIÓN

### TIPO DE PRUEBA PRESENCIAL

Tipo de examen Examen de desarrollo

Preguntas desarrollo 2

Duración del examen 120 (minutos)

Material permitido en el examen

Todo tipo de material escrito.

Calculadora (incluso calculadoras programables).

Criterios de evaluación

El examen consistirá en dos problemas, cada uno de los cuales se valorará sobre 5 puntos.

No se exigirá una puntuación mínima en ninguno de los dos problemas.

% del examen sobre la nota final 20

Nota del examen para aprobar sin PEC

Nota máxima que aporta el examen a la calificación final sin PEC 2

Nota mínima en el examen para sumar la PEC 4

Comentarios y observaciones

Puesto que el examen constituye sólo el 20% de la nota final, es obvio que las PEC se consideran obligatorias, por tanto no hay nota mínima en el examen para aprobar sin PEC.

### CARACTERÍSTICAS DE LA PRUEBA PRESENCIAL Y/O LOS TRABAJOS

Requiere Presencialidad No

Descripción

No habrá más pruebas que las PEC y la Prueba Presencial.

Criterios de evaluación

Ponderación de la prueba presencial y/o los trabajos en la nota final

Fecha aproximada de entrega

Comentarios y observaciones

### PRUEBAS DE EVALUACIÓN CONTINUA (PEC)

¿Hay PEC?

Si, PEC no presencial

Descripción

Hay 4 PEC, una por cada unidad didáctica del programa.

**Las tres primeras son ejercicios, o desarrollos, pensados para fijar los conceptos trabajados en la unidad didáctica correspondiente.**

**La última de ellas corresponde al trabajo final de síntesis, de mayor extensión, y que tendrá también mayor peso en la calificación.**

Criterios de evaluación

Las tres primeras PEC constituirán el 30% de la calificación final. La cuarta, o trabajo final de síntesis, el 50%.

**Puesto que entre todas ponderan el 80% de la nota, es evidente que las PEC tienen carácter obligatorio.**

Ponderación de la PEC en la nota final 80%

Fecha aproximada de entrega

Comentarios y observaciones

Al principio de cada curso se publicará en el tablón de anuncios del curso virtual una programación, en la que se indicarán las fechas recomendadas para la entrega de cada PEC. No obstante, mientras el número de alumnos lo permita, estas fechas recomendadas sólo se indicarán con el fin de dar una idea del ritmo previsto para la marcha del curso, aunque el alumno las podrá entregar en cualquier momento que estime conveniente, y organizar su propia programación, de acuerdo con sus circunstancias particulares.

**Partiendo de que el periodo de impartición de la asignatura consta de 15 semanas lectivas, las fechas que se propondrán en la programación para la entrega de cada PEC serán las siguientes:**

PEC Unidad Didáctica I: Semana IV

PEC Unidad Didáctica II: Semana VII

PEC Unidad Didáctica III: Semana X

PEC Unidad Didáctica IV: Semana XV

**La semana XV suele coincidir con la que contiene el día 31 de mayo. No se cuenta la Semana Santa.**

**Aunque no se recomienda, las PEC se podrán entregar incluso con posterioridad al examen, hasta una semana antes del cierre de actas, tanto en junio como en septiembre. También estará permitido realizar la prueba presencial en junio y entregar las PEC en septiembre, o viceversa.**

**OTRAS ACTIVIDADES EVALUABLES**

¿Hay otra/s actividad/es evaluable/s? No

Descripción

Criterios de evaluación

Ponderación en la nota final

Fecha aproximada de entrega

Comentarios y observaciones

**¿CÓMO SE OBTIENE LA NOTA FINAL?**

La nota final NF se calculará con la fórmula:

$$NF = 0,2 \cdot N.PP + \{0,3 \cdot (N.PEC.1 + N.PEC.2 + N.PEC.3) / 3 + 0,5 \cdot N.PEC.5\} \cdot k$$

donde:

N.PP es la nota de la prueba presencial (sobre 10 puntos).

N.PEC.(i) es la nota de la PEC (i) (sobre 10 puntos).

k es un factor que vale  $k = 0$  si  $N.PP < 4$ , y  $k = 1$  en caso contrario.

## BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

Toda la bibliografía básica estará disponible en el curso virtual, en formato electrónico.

Bibliografía para la UNIDAD DIDÁCTICA I

- JI Pedrero, Modelo de rigidez de engrane, error de transmisión y reparto de carga para engranajes rectos, Documento técnico ERE-1, UNED, Madrid, 2023.

Bibliografía para la UNIDAD DIDÁCTICA II

- JI Pedrero, Modelo de rigidez de engrane, error de transmisión y reparto de carga para engranajes helicoidales, Documento técnico EHE-1, UNED, Madrid, 2023.

Bibliografía para la UNIDAD DIDÁCTICA III

- JI Pedrero, Geometría de los engranajes cilíndricos de dentado interior, Documento técnico ECI-1, UNED, Madrid, 2022.

- JI Pedrero, Modelo de rigidez de engrane, error de transmisión y reparto de carga para engranajes rectos interiores, Documento técnico ERI-1, UNED, Madrid, 2024.

- JI Pedrero, Modelo de rigidez de engrane, error de transmisión y reparto de carga para engranajes rectos planetarios, Documento técnico ERP-1, UNED, Madrid, 2024.

Bibliografía para la UNIDAD DIDÁCTICA IV

Para el trabajo final de síntesis, el equipo docente pondrá a disposición de los alumnos el material apropiado para cada una de las líneas ofertadas.

**BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA**

**Bibliografía básica de la asignatura de *Diseño Avanzado de Transmisiones por Engranajes***

- JI Pedrero, Tallado de ruedas dentadas de perfil de evolvente, Tecnología de Máquinas, Tomo II, Cap. 26, UNED, Madrid, 2018.
- JI Pedrero, Engrane de ruedas de perfil de evolvente, Tecnología de Máquinas, Tomo II, Cap. 27, UNED, Madrid, 2018.
- JI Pedrero, Cálculo a presión superficial de engranajes cilíndricos, Tecnología de Máquinas, Tomo II, Cap. 28, UNED, Madrid, 2018.
- JI Pedrero, Cálculo a flexión de engranajes cilíndricos, Tecnología de Máquinas, Tomo II, Cap. 29, UNED, Madrid, 2018.
- JI Pedrero, M Pleguezuelos, MB Sánchez, Distribución de carga de mínimo potencial de deformación, Documento técnico EC-III/5, UNED, Madrid, 2021.
- M Pleguezuelos, MB Sánchez, JI Pedrero, Modelo de cálculo a presión superficial, Documento técnico EC-III/6, UNED, Madrid, 2021.
- M Pleguezuelos, MB Sánchez, JI Pedrero, Modelo de cálculo a rotura en la base, Documento técnico EC-III/7, UNED, Madrid, 2021.
- M Pleguezuelos, JI Pedrero, MB Sánchez, Cálculo a presión superficial de engranajes helicoidales, Documento técnico EH-III/6, UNED, Madrid, 2021.
- M Pleguezuelos, JI Pedrero, MB Sánchez, Cálculo a rotura en la base de engranajes helicoidales, Documento técnico EH-III/7, UNED, Madrid, 2021.
- MB Sánchez, JI Pedrero, M Pleguezuelos, Dientes con dimensiones no convencionales, Documento técnico EC-IV/8, UNED, Madrid, 2021.
- MB Sánchez, JI Pedrero, M Pleguezuelos, Engranajes de alto grado de recubrimiento, Documento técnico EC-IV/9, UNED, Madrid, 2021.
- JI Pedrero, Rendimiento de engranajes, Tecnología de Máquinas, Tomo II, Cap. 34, UNED, Madrid, 2018.

**Bibliografía de apoyo para las UNIDADES DIDÁCTICAS I a III**

- JI Pedrero, M. Pleguezuelos, M. Artés, JA Antona, Load distribution model along the line of contact for involute external gears, *Mechanism and Machine Theory*, vol. 45, n. 5, pp. 780-794, 2010, doi:10.1016/j.mechmachtheory.2009.12.009.
- MB Sánchez, M Pleguezuelos, JI Pedrero, Enhanced model of load distribution along the line of contact for non-standard involute external gears, *Meccanica*, vol. 48, n. 3, pp. 527-543, 2013, doi:10.1007/s11012-012-9612-8.
- M Pleguezuelos, MB Sánchez, JI Pedrero, Approximate equations for the meshing stiffness and the load sharing ratio of spur gears including hertzian effects, *Mechanism and Machine Theory*, vol. 109, pp. 231-249, 2017, doi:10.1016/j.mechmachtheory.2016.11.014.
- MB Sánchez, M Pleguezuelos, JI Pedrero, "Calculation of the meshing stiffness and the load sharing ratio of internal spur gear pairs including hertzian effects", *Proc. International Gear Conference 2018*, Lyon (Francia), vol. 2, pp. 1372-1382, 2018.
- MB Sánchez, M Pleguezuelos, JI Pedrero, Influence of profile modifications on meshing stiffness, load sharing, and transmission error of involute spur gears, *Mechanism and Machine Theory*, vol. 139, pp. 506-525, 2019, doi:10.1016/j.mechmachtheory.2019.15.014.

- JI Pedrero, M Pleguezuelos, MB Sánchez, Load sharing model for high contact ratio spur gears with long profile modifications, *Forschung im Ingenieurwesen (Engineering Research)*, vol. 83, n. 3, pp. 401-408, 2019, doi:10.1007/s10010-019-00379-w.
- M Pleguezuelos, MB Sánchez, JI Pedrero, On the evaluation of the meshing stiffness of external spur gears”, *Proc. International Conference Power Transmissions 2020*, Borovets (Bulgaria), 2020.
- M Pleguezuelos, MB Sánchez, JI Pedrero, Analytical model for meshing stiffness, load sharing, and transmission error for spur gears with profile modification under non-nominal load conditions, *Applied Mathematical Modelling*, vol. 97, pp. 344-365, 2021, doi:10.1016/j.apm.2021.03.051.
- JI Pedrero, M Pleguezuelos, MB Sánchez, Influence of meshing stiffness on load distribution between planets of planetary gear drives, *Mechanism and Machine Theory*, vol. 170, 2022, doi:10.1016/j.mechmachtheory.2021.104718.
- JI Pedrero, M Pleguezuelos, MB Sánchez, Analytical model for meshing stiffness, load sharing, and transmission error for helical gears with profile modification, *Mechanism and Machine Theory*, vol. 185, 105340, 23 pp., 2023, doi:10.1016/j.mechmachtheory.2023.105340.
- JI Pedrero, MB Sánchez, M Pleguezuelos, Analytical model of meshing stiffness, load sharing, and transmission error for internal spur gears with profile modification, *Mechanism and Machine Theory*, vol. 197, 105650, 25 pp., 2024, doi:10.1016/j.mechmachtheory.2024.105650.

#### **Bibliografía de introducción a la línea de investigación de *Transmisiones avanzadas de engranajes***

- P Serradilla, Optimización de la caja de engranajes para servicios auxiliares del avión de combate EF-18, Proyecto fin de grado, UNED, Madrid, 2019.
- R García-Berezo, Optimización en volumen de una reductora de dos etapas, Proyecto fin de máster, UNED, Madrid, 2020.
- M Pleguezuelos, JI Pedrero, MB Sánchez, Analytical expressions of the efficiency of standard and high contact ratio involute spur gears”, *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2013, 14 p. (Open Access), 2013, doi:10.1155/2013/142849.C Nutakor, A Klodowsky, J Sopanen, A Mikkola, JI Pedrero, Planetary gear sets power loss modeling: Application to wind turbines, *Tribology International*, vol. 105, pp. 42-54, 2017, doi:10.1016/j.triboint.2016.09.029.
- JI Pedrero, M Pleguezuelos, MB Sánchez, Control del error de transmisión cuasi-estático mediante rebaje de punta en engranajes rectos de perfil de evolvente, *Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica*, vol. 22, n. 2, pp. 71-90, 2018.
- M Pleguezuelos, MB Sánchez, JI Pedrero, Control of transmission error of high contact ratio spur gears with symmetric profile modifications, *Mechanism and Machine Theory*, vol. 149, 2020, doi:10.1016/j.mechmachtheory.2020.103839.
- JI Pedrero, M Pleguezuelos, MB Sánchez, Modelo de reparto de carga y error de transmisión para engranajes helicoidales con rebaje de punta, *Revista Iberoamericana de*



*Ingeniería Mecánica*, vol. 25, n. 2, pp. 29-47, 2021.

- E Vicente, E Aneas, JI Pedrero, Design of gear reducer for vehicle powered by in-wheel electric motor, *DYNA*, vol. 97, n. 4, pp. 374-379, 2022, doi: 10.6036/10494.
- JI Pedrero, D Martínez-López, J Calvo-Irisarri, M Pleguezuelos, MB Sánchez, A Fernández-Sisón, Minimum friction losses in wind turbine gearboxes, *Forschung im Ingenieurwesen (Engineering Research)*, vol. 86, n. 3, pp. 321-330, 2022, doi:10.1007/s10010-021-00526-2.
- JI Pedrero, MB Sánchez, D Guerra, J Calvo-Irisarri, M Pleguezuelos, A Fernández-Sisón, Minimum friction losses in planetary stages of wind turbine gearboxes, *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2022, 14 pp. (Open Access), 2022, doi:10.1155/2022/5111827.
- JI Pedrero, M Pleguezuelos, MB Sánchez, Simulación de la rigidez de engrane, error de transmisión y reparto de carga para engranajes helicoidales con dentadura rebajada, *Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica*, vol. 26, n. 2, pp. 13-24, 2022.

## RECURSOS DE APOYO Y WEBGRAFÍA

Esta asignatura, al igual que la de *Diseño Avanzado de Transmisiones por Engranajes*, sobre la que se fundamenta, está muy estrechamente ligada a la actividad del *Grupo de Investigación en Ingeniería Mecánica*, al que pertenecen todos los integrantes del equipo docente, y también, por supuesto, a la línea de investigación en *Transmisiones Avanzadas de Engranajes*, para el proyecto fin de máster de esta titulación. Además, se trata de un máster investigador que da acceso directo al *Programa de Doctorado en Tecnologías Industriales* de la UNED, por lo que es razonable pensar que algunos de los alumnos que desarrollen su trabajo fin de máster en la línea de *Transmisiones Avanzadas de Engranajes* podrán acceder al programa de doctorado y realizar una tesis doctoral en esa misma línea. Teniendo todo esto en cuenta, el curso virtual de la asignatura se ha completado con información relativa al grupo de investigación y la línea de investigación en engranajes, y con recursos orientados a la realización de actividades que pudieran derivar en el germen de futuros trabajos de investigación para el desarrollo de una tesis doctoral. No son, por consiguiente, recursos necesarios para la preparación de la asignatura de *Simulación y Análisis del Contacto en Engranajes*, pero que ofrecerán a quienes la cursen la posibilidad de orientar su trabajo, desde un principio, al desarrollo de posteriores trabajos de investigación o doctorado.

Estos recursos complementarios son los siguientes:

- Licencia anual gratuita del software KissSoft. En el curso virtual se dará información de cómo acceder a una de estas licencias. Se trata de un programa muy extendido en todo el mundo, que ofrece herramientas de cálculo de engranajes cilíndricos muy refinadas. Reproduce, además, el proceso de cálculo de ISO 6336 de la capacidad de carga, manteniendo actualizados los programas en todo momento, a medida que la norma se va actualizando.

- Acceso al sitio web del *Grupo de Investigación en Ingeniería Mecánica*. Aquí se encuentra recogida la actividad desarrollada por el grupo de investigación en los últimos años, así como la descripción de las líneas de trabajo que se desarrollan en la actualidad.
- Acceso al repositorio de publicaciones del grupo de investigación. Se pondrán a disposición de los alumnos todas las publicaciones en revistas y actas de congresos de los integrantes del grupo; algunas de las cuales se incluyen en la bibliografía recomendada.
- Oferta de líneas de trabajo para el desarrollo de tesis doctorales. De acuerdo con las líneas de investigación que desarrolle el grupo en cada momento, se ofertarán temas de tesis doctoral que se coordinen con dicha actividad y que utilicen los resultados de investigación obtenidos por el grupo.
- Oferta de líneas de trabajo fin de máster. Como es natural, habrá una estrecha relación entre las líneas de tesis doctoral ofertadas y las líneas del trabajo fin de máster, de manera que este último pueda servir de fundamento a los trabajos para el desarrollo del doctorado a quien esté interesado en hacerlo. Estas líneas para el trabajo fin de máster estarán también en consonancia con algunas de las líneas que se propongan para la realización del trabajo de la Unidad Didáctica IV de la asignatura.

## 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 se hayan sustituido por términos genéricos, se entenderán hechas indistintamente en género femenino o masculino, según el sexo del titular que los desempeñe.