ASIGNATURA DE MÁSTER:

TRANSMISIONES AVANZADAS DE ENGRANAJES

Curso 2011/2012

(Código:28801316)

1.PRESENTACIÓN

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 carga.

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.

2.CONTEXTUALIZACIÓN

Los trabajos de esta línea de investigación en *Transmisiones avanzadas de engranajes* se encuadran dentro de los

Ámbito: GUI - 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/
06F216124951D128234 9DD06B7614 0C9

programas de trabajo de los comités técnicos internacionales de normalización de ISO y AGMA, especialmente los del primero, de los que España forma parte a través del Departamento de Mecánica de la UNED.

Como es natural, toda la línea se apoya fundamentalmente en la asignatura de *Diseño avanzado de transmisiones por engranajes*, en donde se presentan todas las bases para el desarrollo de los modelos de cálculo resistente y de distribución de carga, y se describen algunas de las transmisiones poco consideradas hasta la fecha, como las de alto grado de recubrimiento transversal o con interferencia de tallado.

A esta línea de investigación se accede exclusivamente a través del itinerario en *Ingeniería Mecánica*, que es el único que garantiza haber cursado previamente la asignatura de *Diseño avanzado de transmisiones por engranajes*. Además, se obliga a cursar, dentro de la oferta de optativas de la intensificación, las asignaturas 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 *Biodinámica y biomateriales*. De esta manera, la formación previa de quien desarrolle su trabajo de investigación en esta línea, será la siguiente:

- Las cuatro asignaturas del módulo I, de contenidos transversales:

  P001 Metodología de la investigación tecnológica
  P023 Ingeniería ambiental avanzada
  P015 Métodos de análisis no lineal en ingeniería
  P025 Métodos computacionales en ingeniería

- Las tres asignaturas del módulo II, de contenidos específicos obligatorios del itinerario:

  P017 Análisis avanzado de vibraciones en máquinas
  P019 Diseño avanzado de transmisiones por engranajes
  P020 Simulación numérica de flujos de fluidos en ingeniería

- Dos asignaturas de las ofertadas como optativas en el módulo III, de contenidos específicos optativos del itinerario:

  P003 Análisis actual de problemas de mecánica de medios continuos: método de los elementos finitos, método de los elementos de contorno y métodos sin malla
  P018 Biodinámica y biomateriales

- Una asignatura más de las ocho restantes ofertadas como optativas en el módulo III, de contenidos específicos optativos del itinerario.

Especial importancia para el desarrollo del trabajo de investigación tendrán los conocimientos, competencias y destrezas adquiridos en alguna de estas asignaturas: la de *Metodología de la investigación tecnológica*, en la que se sientan los métodos de la actividad investigadora que se habrá de desarrollar en el trabajo de investigación; la de *Diseño avanzado de transmisiones por engranajes*, que como se dijo más arriba, constituye el fundamento de la línea de investigación, que está orientada a los contenidos de la misma; y finalmente las de *Métodos computacionales en ingeniería* y *Análisis actual de problemas de mecánica de medios continuos: método de los elementos finitos, método de los elementos de contorno y métodos sin malla*, que proporcionan herramientas de trabajo, imprescindibles en el desarrollo de algunos de los trabajos de la línea.

3.REQUISITOS PREVIOS RECOMENDABLES

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.

Ámbito: GUI - 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/
06F216124951D128234 9DD06B7614 0C9

4.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.

5.CONTENIDOS DE LA ASIGNATURA

El esquema general del desarrollo del trabajo de investigación a desarrollar por el estudiante dentro de esta línea de investigación en *Transmisiones avanzadas de engranajes* se podría estructurar en las siguientes etapas:

- Identificación del problema: análisis del tipo de transmisión y del modelo de cálculo a desarrollar o perfeccionar, o identificación del problema de contacto (localización, error de transmisión) a mejorar.
- Ajuste del modelo de comportamiento: adaptación del modelo de comportamiento (resistente, rendimiento, etc.) al problema planteado; justificación de las hipótesis de partida.
- Ajuste / desarrollo del modelo de distribución de carga: adaptación del modelo de distribución de carga de potencial de deformación mínimo a la geometría del problema.
- Desarrollo del modelo de cálculo / método de generación: formulación del método de cálculo perseguido (determinación de las condiciones críticas de carga y de las tensiones críticas; parámetros de generación de la geometría requerida).
- Propuesta de normalización: formulación de la propuesta de método de cálculo que recoja los resultados del modelo obtenido.

6.EQUIPO DOCENTE

Ámbito: GUI - 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/
06F216124951D128234 9DD06B7 6140C9

- JOSE IGNACIO PEDRERO MOYA
- MIGUEL PLEGUEZUELOS GONZALEZ
- MIRYAM BEATRIZ SANCHEZ SANCHEZ

7.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 calculo 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.

8.BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

Comentarios y anexos:

Ámbito: GUI - 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/
06F216124951D12B2349DD06B7614OC9

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 cylindric 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.

9.BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

Comentarios y anexos:

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 cylindric 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.

Ámbito: GUI - 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/
06F216124951D128234 9DD06B7614 0C9

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.

10.RECURSOS DE APOYO AL ESTUDIO

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.

11.TUTORIZACIÓN Y SEGUIMIENTO

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

12.EVALUACIÓN DE LOS APRENDIZAJES

La evaluación del trabajo de investigación se llevará a cabo mediante el informe escrito que habrá de elaborar el alumno, y la presentación oral de los resultados que habrá de realizar ante un tribunal.

Del informe escrito se valorará:

- El rigor científico en el proceso seguido para la obtención de los resultados.
- La solidez en la justificación de la propuesta y de su alcance.
- La claridad en la presentación de las conclusiones.

De la presentación oral se valorará:

- La calidad de la presentación: estructuración y apoyo audiovisual.
- La claridad expositiva.
- El acierto en las respuestas a las preguntas del tribunal.

13.COLABORADORES DOCENTES

Véase equipo docente.

Ámbito: GUI - 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/
06F216124951D1282349DD06B76140C9