



UNIVERSIDAD  
POLITÉCNICA  
DE MADRID

PROCESO DE  
COORDINACIÓN DE LAS  
ENSEÑANZAS PR/CL/001



E.T.S. de Ingenieros  
Industriales

# ANX-PR/CL/001-01

## GUÍA DE APRENDIZAJE

### ASIGNATURA

**53000972 - Tribología**

### PLAN DE ESTUDIOS

05AT - Master Universitario En Ingeniería Mecánica

### CURSO ACADÉMICO Y SEMESTRE

2021/22 - Primer semestre

## Índice

---

### Guía de Aprendizaje

1. Datos descriptivos.....	1
2. Profesorado.....	1
3. Conocimientos previos recomendados.....	2
4. Competencias y resultados de aprendizaje.....	3
5. Descripción de la asignatura y temario.....	4
6. Cronograma.....	7
7. Actividades y criterios de evaluación.....	9
8. Recursos didácticos.....	12
9. Otra información.....	13

## 1. Datos descriptivos

### 1.1. Datos de la asignatura

<b>Nombre de la asignatura</b>	53000972 - Tribología
<b>No de créditos</b>	3 ECTS
<b>Carácter</b>	Optativa
<b>Curso</b>	Primer curso
<b>Semestre</b>	Primer semestre
<b>Período de impartición</b>	Septiembre-Enero
<b>Idioma de impartición</b>	Castellano
<b>Titulación</b>	05AT - Master Universitario en Ingeniería Mecánica
<b>Centro responsable de la titulación</b>	05 - Escuela Técnica Superior De Ingenieros Industriales
<b>Curso académico</b>	2021-22

## 2. Profesorado

### 2.1. Profesorado implicado en la docencia

<b>Nombre</b>	<b>Despacho</b>	<b>Correo electrónico</b>	<b>Horario de tutorías *</b>
Javier Echavarri Otero (Coordinador/a)	05A.01.085.0	javier.echavarri@upm.es	Sin horario. Horario permanente en Teams y/o División de Ingeniería de Máquinas. Petición de cita previa.

Enrique Chacon Tanarro		e.chacon@upm.es	Sin horario. Horario permanente en Teams y/o División de Ingeniería de Máquinas. Petición de cita previa.
------------------------	--	-----------------	---

\* Las horas de tutoría son orientativas y pueden sufrir modificaciones. Se deberá confirmar los horarios de tutorías con el profesorado.

### 2.3. Profesorado externo

Nombre	Correo electrónico	Centro de procedencia
Eduardo De La Guerra Ochoa	e.delaguerra@upm.es	Profesor Ad-Honorem

## 3. Conocimientos previos recomendados

---

### 3.1. Asignaturas previas que se recomienda haber cursado

El plan de estudios Master Universitario en Ingeniería Mecánica no tiene definidas asignaturas previas recomendadas para esta asignatura.

### 3.2. Otros conocimientos previos recomendados para cursar la asignatura

- Manejo de software Matlab a nivel básico.
- Conocimiento de Teoría de Máquinas y Mecanismos, Diseño de Máquinas y Tecnología de Materiales

## 4. Competencias y resultados de aprendizaje

---

### 4.1. Competencias

CE1 - Utilizar las ventajas que aportan las herramientas de diseño y cálculos asistidos por computador (?M-CAE?) en el sector, empleando las principales directivas y normativas.

CE2 - Realizar actividades de análisis, diseño, fabricación, ensayo y mantenimiento de máquinas, productos y dispositivos, aplicando metodologías estructuradas, considerando el ciclo de vida global.

CE9 - Redactar de documentación técnica y no especializada dentro del ámbito de la ingeniería mecánica. Búsqueda de fuentes y uso de Bases de datos. Difusión de resultados.

CG 1 - Aplicar conocimientos de ciencias y tecnologías avanzadas a la práctica de la Ingeniería Mecánica

CG 2 - Diseñar, desarrollar, implementar, gestionar y mejorar productos, sistemas y procesos en los distintos ámbitos de la ingeniería mecánica, usando técnicas analíticas, computacionales o experimentales apropiadas.

CG 3 - Aplicar los conocimientos adquiridos para identificar, formular y resolver problemas dentro de contextos amplios y multidisciplinares, siendo capaces de integrar conocimientos, trabajando en equipos multidisciplinares y desarrollando actividades de I+D.

CG 7 - Aplicar nuevas tecnologías y herramientas de la Ingeniería Mecánica en sus actividades profesionales.

CG 8 - Operar en un entorno bilingüe (inglés-español).

CG 9 - Crear nuevas ideas (Creatividad).

## 4.2. Resultados del aprendizaje

RA42 - Selección de los lubricantes más adecuados para cada aplicación

RA39 - - Identificación y análisis de la influencia de cada uno de los parámetros que intervienen en los contactos entre superficies.

RA40 - Análisis de la probabilidad de aparición de desgaste en contactos secos y lubricados

RA41 - Predicción del comportamiento de los contactos bajo diferentes condiciones de operación

RA43 - Conocimiento de los ensayos más comunes en tribología

## 5. Descripción de la asignatura y temario

---

### 5.1. Descripción de la asignatura

La palabra "Tribología" se introdujo en la década de los 60, como la ciencia y la ingeniería de superficies de rozamiento. Incluye el estudio y la aplicación de los principios de la fricción, el desgaste y la lubricación. Por lo tanto, la tribología es de naturaleza multidisciplinar, y está estrechamente relacionada con la física, el análisis y diseño de máquinas, y la tecnología de materiales, entre otras disciplinas. En los últimos años, la investigación en tribología ha alcanzado una fase muy avanzada desde un punto de vista teórico y experimental, con aplicación a muchos problemas industriales, por ejemplo, la industria del automóvil: un automóvil puede presentar miles de contactos tribológicos.

## 5.2. Temario de la asignatura

1. Introducción
  - 1.1. Concepto de la tribología
  - 1.2. Historia de la Tribología
  - 1.3. Importancia Industrial
2. Contacto entre superficies
  - 2.1. Superficies tribológicas
  - 2.2. Geometría de contacto
  - 2.3. Tensiones superficiales
3. Fricción
  - 3.1. Adhesión, adherencia y deslizamiento
  - 3.2. Leyes de la fricción
  - 3.3. Medida de la fricción
4. Desgaste
  - 4.1. Conceptos generales sobre el desgaste
  - 4.2. Tipos de desgaste
  - 4.3. Predicción del desgaste
5. Introducción a la lubricación
  - 5.1. Tipos y propiedades de los lubricantes
  - 5.2. Modelos de comportamiento reológico de los lubricantes
  - 5.3. Regímenes de lubricación
6. Lubricación hidrostática
  - 6.1. Introducción a la lubricación hidrostática
  - 6.2. Ejemplos de empleo de la lubricación hidrostática
7. Lubricación hidrodinámica
  - 7.1. Teoría de Reynolds
  - 7.2. Contactos superficiales de tipo plano inclinado
8. Cojinetes de película hidrodinámica

- 8.1. Cojinetes axiales de segmentos
- 8.2. Cojinetes cilíndricos lisos
- 8.3. Cojinetes cilíndricos de segmentos pivotantes
- 8.4. Estudio de casos prácticos
- 9. Lubricación elastohidrodinámica
  - 9.1. Límites de aplicación de la teoría Hidrodinámica a contactos lineales y puntuales
  - 9.2. Planteamiento del problema elastohidrodinámico y termo-elastohidrodinámico.
  - 9.3. Soluciones analíticas aproximadas para contactos puntuales y lineales
  - 9.4. Soluciones numéricas para contactos puntuales y lineales
  - 9.5. Estudio de casos prácticos
- 10. Equipos de ensayo
  - 10.1. Características generales de los equipos
  - 10.2. Parámetros de control y resultados de medida
  - 10.3. Tipología de equipos existentes y tendencias actuales
  - 10.4. Aplicación de equipos de ensayo para caracterizar fallos en sistemas mecánicos (fatiga superficial, desgaste...)



## 6. Cronograma

### 6.1. Cronograma de la asignatura \*

Sem	Actividad presencial en aula	Actividad presencial en laboratorio	Tele-enseñanza	Actividades de evaluación
1			<b>Introducción a la tribología</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	
2			<b>Fricción y desgaste</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	<b>Realización y entrega de problema sobre fricción y desgaste.</b> TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación continua y sólo prueba final No presencial Duración: 04:00
3			<b>Contacto entre superficies tribológicas</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	
4			<b>Contacto entre superficies tribológicas</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	<b>Realización y entrega de problema sobre contactos tribológicos.</b> TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación continua y sólo prueba final No presencial Duración: 04:00
5			<b>Contacto entre superficies tribológicas</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	<b>Realización y entrega de problema sobre contactos tribológicos.</b> TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación continua y sólo prueba final No presencial Duración: 04:00
6			<b>Introducción a la lubricación</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	<b>Realización y entrega de problemas sobre lubricantes</b> TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación continua y sólo prueba final No presencial Duración: 04:00
7			<b>Lubricación hidrostática</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	
8			<b>Lubricación hidrodinámica</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	<b>Realización y entrega de problema sobre lubricación hidrodinámica.</b> TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación continua y sólo prueba final No presencial Duración: 04:00
9			<b>Lubricación hidrodinámica</b> Duración: 02:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas	<b>Realización y entrega de problema sobre lubricación hidrodinámica.</b> TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación continua y sólo prueba final No presencial Duración: 04:00

10			<b>Lubricación hidrodinámica</b> Duración: 02:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas	<b>Realización y entrega de caso sobre lubricación hidrodinámica.</b> TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación continua y sólo prueba final No presencial Duración: 06:00
11			<b>Cálculo numérico aplicado a la hidrodinámica</b> Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio	
12			<b>Lubricación elastohidrodinámica</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	<b>Realización y entrega de caso sobre lubricación elastohidrodinámica.</b> TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación continua y sólo prueba final No presencial Duración: 06:00
13			<b>Lubricación elastohidrodinámica</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	<b>Realización y entrega de problema sobre lubricación elastohidrodinámica.</b> TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación continua y sólo prueba final No presencial Duración: 04:00
14			<b>Cálculo numérico aplicado a lubricación elastohidrodinámica</b> Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio	
15			<b>Ejemplos de aplicación y ensayos</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	<b>Realización y entrega de problema sobre ejemplos de aplicación.</b> TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación continua y sólo prueba final No presencial Duración: 06:00
16			<b>Ejemplos de aplicación y ensayos</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	
17				<b>Examen final</b> ET: Técnica del tipo Prueba Telemática Evaluación sólo prueba final No presencial Duración: 02:00

Para el cálculo de los valores totales, se estima que por cada crédito ECTS el alumno dedicará dependiendo del plan de estudios, entre 26 y 27 horas de trabajo presencial y no presencial.

\* El cronograma sigue una planificación teórica de la asignatura y puede sufrir modificaciones durante el curso derivadas de la situación creada por la COVID-19.

## 7. Actividades y criterios de evaluación

### 7.1. Actividades de evaluación de la asignatura

#### 7.1.1. Evaluación continua

Sem.	Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
2	Realización y entrega de problema sobre fricción y desgaste.	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	04:00	10%	/ 10	CE2 CG 1 CG 3
4	Realización y entrega de problema sobre contactos tribológicos.	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	04:00	10%	/ 10	CG 8 CE2 CG 1
5	Realización y entrega de problema sobre contactos tribológicos.	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	04:00	10%	/ 10	CG 8 CE2 CG 1
6	Realización y entrega de problemas sobre lubricantes	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	04:00	10%	/ 10	CG 8 CE2 CG 1
8	Realización y entrega de problema sobre lubricación hidrodinámica.	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	04:00	10%	/ 10	CE2 CG 1
9	Realización y entrega de problema sobre lubricación hidrodinámica.	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	04:00	10%	/ 10	CE2 CG 1
10	Realización y entrega de caso sobre lubricación hidrodinámica.	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	06:00	10%	/ 10	CG 2 CG 7 CE1 CG 1 CG 3
12	Realización y entrega de caso sobre lubricación elastohidrodinámica.	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	06:00	10%	/ 10	CG 2 CG 7 CE1 CG 1 CG 3

13	Realización y entrega de problema sobre lubricación elastohidrodinámica.	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	04:00	10%	/ 10	CE9 CE2 CG 1
15	Realización y entrega de problema sobre ejemplos de aplicación.	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	06:00	10%	/ 10	CE1 CE9 CG 9 CE2 CG 1 CG 3

### 7.1.2. Evaluación sólo prueba final

Sem	Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
2	Realización y entrega de problema sobre fricción y desgaste.	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	04:00	10%	/ 10	CE2 CG 1 CG 3
4	Realización y entrega de problema sobre contactos tribológicos.	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	04:00	10%	/ 10	CG 8 CE2 CG 1
5	Realización y entrega de problema sobre contactos tribológicos.	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	04:00	10%	/ 10	CG 8 CE2 CG 1
6	Realización y entrega de problemas sobre lubricantes	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	04:00	10%	/ 10	CG 8 CE2 CG 1
8	Realización y entrega de problema sobre lubricación hidrodinámica.	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	04:00	10%	/ 10	CE2 CG 1
9	Realización y entrega de problema sobre lubricación hidrodinámica.	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	04:00	10%	/ 10	CE2 CG 1
10	Realización y entrega de caso sobre lubricación hidrodinámica.	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	06:00	10%	/ 10	CG 2 CG 7 CE1 CG 1 CG 3
12	Realización y entrega de caso sobre lubricación elastohidrodinámica.	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	06:00	10%	/ 10	CG 2 CG 7 CE1 CG 1 CG 3

13	Realización y entrega de problema sobre lubricación elastohidrodinámica.	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	04:00	10%	/ 10	CE9 CE2 CG 1
15	Realización y entrega de problema sobre ejemplos de aplicación.	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	06:00	10%	/ 10	CE1 CE9 CG 9 CE2 CG 1 CG 3
17	Examen final	ET: Técnica del tipo Prueba Telemática	No Presencial	02:00	100%	5 / 10	

### 7.1.3. Evaluación convocatoria extraordinaria

No se ha definido la evaluación extraordinaria.

## 7.2. Criterios de evaluación

Durante el desarrollo del curso se proponen trabajos individuales a realizar y entregar por los alumnos en un plazo de una semana. Una calificación media de los trabajos igual o superior a 5 libera del examen final. En caso contrario, el examen final tendrá un peso del 100% en la nota final. La evaluación en convocatoria extraordinaria será también un examen con un peso del 100% en la nota final.

## 8. Recursos didácticos

### 8.1. Recursos didácticos de la asignatura

Nombre	Tipo	Observaciones
Ejemplos gráficos	Recursos web	Ejemplos de diferentes tipos de cojinetes, engranajes y otros sistemas lubricados, ejemplos de elementos con diversos tipos de fallos.
Libros de referencia	Bibliografía	Principles of Tribology, J. Halling, Ed. Scholium Intl.  Engineering Tribology, J. Williams, Ed. Cambridge University Press  Engineering Tribology, G.W.Stachowiak, A.W.Batchelor, Ed. Elsevier
Libros de consulta	Bibliografía	Introduction to Tribology, B. Bhushan, Ed. Wiley  Fundamentals of fluid film lubrication, B.J. Hamrock, Ed. McGraw-Hill  High pressure rheology for quantitative elastohydrodynamics, S. Bair, Ed. Elsevier
Software	Otros	Programas de elaboración propia, que permiten la resolución numérica del problema de lubricación hidrodinámica y elastohidrodinámica.

## 9. Otra información

---

### 9.1. Otra información sobre la asignatura

La asignatura permite trabajar el Objetivo de Desarrollo Sostenible ODS 12 "Producción y Consumo Responsables" debido a que los temas sobre fricción (seca y lubricada) y sobre desgaste se relacionan con el uso eficiente de los recursos naturales.

De forma preliminar, la asignatura se ha programado completamente en modalidad de tele-enseñanza. Sin embargo, a medida que pueda recuperarse la normalidad en la Escuela, se podrán pasar a presencial algunos contenidos y evaluaciones programados inicialmente online.