



Universidad  
Politécnica  
de Cartagena



Centro  
Universitario  
de la Defensa

# Guía docente de la asignatura de Ciencia de Materiales

**Titulación:**

**Grado en Ingeniería de Organización Industrial**

**Curso 2012-2013**

# Guía Docente

## 1. Datos de la asignatura

<b>Nombre</b>	Ciencia de Materiales				
<b>Materia</b>	Ciencia de Materiales				
<b>Módulo</b>	Materias comunes a la rama industrial				
<b>Código</b>	511102002				
<b>Titulación</b>	Grado en Ingeniería de Organización Industrial				
<b>Plan de estudios</b>	2009 (Decreto 269/2009 de 31 de julio)				
<b>Centro</b>	Centro Universitario de la Defensa en la Academia General del Aire				
<b>Tipo</b>	Obligatoria				
<b>Periodo lectivo</b>	3er Cuatrimestre			<b>Curso</b>	2º
<b>Idioma</b>	Castellano				
<b>ECTS</b>	4,5	<b>Horas / ECTS</b>	25,0	<b>Carga total de trabajo (horas)</b>	112,5
<b>Horario clases teoría</b>				<b>Aula</b>	
<b>Horario clases prácticas</b>				<b>Lugar</b>	

## 2. Datos del profesorado

<b>Profesor responsable</b>	Gimeno Bellver, Fernando José				
<b>Departamento</b>	Integración				
<b>Área de conocimiento</b>	Ciencia de materiales				
<b>Ubicación del despacho</b>	31 (CUD)				
<b>Teléfono</b>	2931			<b>Fax</b>	968189970
<b>Correo electrónico</b>	fernando.gimeno@ cud.upct.es				
<b>URL / WEB</b>	<a href="http://moodle.upct.es/course/view.php?id=511102002">http://moodle.upct.es/course/view.php?id=511102002</a>				
<b>Horario de atención / Tutorías</b>	Solicitar hora al profesor				
<b>Ubicación durante las tutorías</b>	Despacho 31 del CUD				

<b>Profesor 2</b>	Jose Luis Meseguer Valdenebro		
<b>Departamento</b>	Integración		
<b>Área de conocimiento</b>	Ciencia de materiales		
<b>Ubicación del despacho</b>	31 (CUD)		
<b>Teléfono</b>	2932	<b>Fax</b>	968189970
<b>Correo electrónico</b>	josel.meseguer@ cud.upct.es		
<b>URL / WEB</b>	<a href="http://moodle.upct.es/course/view.php?id=511102002">http://moodle.upct.es/course/view.php?id=511102002</a>		
<b>Horario de atención / Tutorías</b>	Se indicarán a comienzo de las clases		
<b>Ubicación durante las tutorías</b>	Despacho 31 del CUD		

### 3. Descripción de la asignatura

#### 3.1. Presentación

La asignatura “Ciencia de Materiales” introduce al alumno al estudio del comportamiento de los materiales y la relación existente entre las propiedades del material y su estructura.

Su importancia reside en que los materiales forman la totalidad de lo que nos rodea en la vida cotidiana, y su comprensión es básica en la mejora y el avance tecnológico, como podría ser, por ejemplo en la industria aeroespacial, la búsqueda de materiales ligeros que resistan altas temperaturas bajo tensión, o, a nivel histórico, comprender las causas del fallo catastrófico en servicio de navíos o piezas de artillería. También es esencial para una correcta selección de los materiales, teniendo en cuenta sus propiedades, como resistencia, densidad o coste, adaptándolos a las necesidades de una aplicación concreta.

En esta asignatura:

- Se exponen las propiedades de los materiales, como base del estudio de sus características y posibles aplicaciones.
- Se aborda una clasificación de los materiales sólidos en metálicos, cerámicos y poliméricos, centrándose en los materiales más comunes en aeronáutica como el acero y sus aleaciones, las aleaciones del aluminio y las aleaciones basadas en titanio. También se introducirán las propiedades generales de las cerámicas y polímeros, así como de los materiales compuestos y estructurados.
- Se establece la relación entre los procesos de fabricación y la estructura de los materiales, y entre esta estructura y sus propiedades mecánicas.
- Se explican los métodos de ensayos para la obtención experimental de las propiedades mecánicas y de servicio de los diferentes tipos de materiales.

#### 3.2. Ubicación en el plan de estudios

La asignatura “Ciencia de Materiales” se estudia en el segundo curso, en el tercer cuatrimestre y pertenece al Módulo de Materias Comunes.

### 3.3. Descripción de la asignatura. Adecuación al perfil profesional

En esta asignatura se profundiza en los conceptos teóricos y aplicados sobre la estructura atómica de los materiales en estado sólido, y su relación con las propiedades mecánicas macroscópicas.

Contribuye a desarrollar competencias como el análisis de problemas basados en datos experimentales y requisitos restrictivos, la comprensión de los fundamentos de la relación procesado-microestructura-propiedades de los materiales, como base de una correcta selección para diversas aplicaciones.

### 3.4. Relación con otras asignaturas. Prerrequisitos y recomendaciones

Esta asignatura no tiene requisitos previos obligatorios, pero se recomienda haber cursado y aprobado las asignaturas de primer curso "Química" y "Física". En especial es necesario conocer, como base de partida, la estructura de la materia, la teoría atómica y las reacciones de oxidación-reducción. Conviene tener un buen conocimiento de las magnitudes físicas y químicas y sus relaciones. También es importante poseer un nivel de conocimientos de inglés suficiente para comprender textos científico-técnicos o divulgativos.

Los conocimientos en esta asignatura son importantes para comprender en cursos posteriores los contenidos de otras materias como "Tecnología del Medio Ambiente", "Resistencia de Materiales" o "Ingeniería de Sistemas de Producción"

### 3.5. Medidas especiales previstas

Se adoptarán medidas especiales que permitan simultanear los estudios de la asignatura con las actividades de formación militar y aeronáutica. En especial, la evaluación de competencias y el seguimiento de los alumnos y alumnas durante el curso se realizará mediante un diario de la asignatura. El alumno que, por necesidades específicas, necesite alguna medida especial, deberá comunicarlo a los profesores, para que se pueda adaptar la metodología y el seguimiento.

## 4. Competencias

### 4.1. Competencias específicas de la asignatura

Conocimientos de la ciencia, tecnología y química de los materiales. Comprender la relación entre la microestructura, la síntesis o procesado y las propiedades de los materiales. Saber diferenciar los materiales según sus propiedades y de los ensayos adecuados. Ser capaces de seleccionar el material adecuado para cada aplicación y proceso industrial.

### 4.2. Competencias genéricas / transversales

#### COMPETENCIAS INSTRUMENTALES

- T1.1 Capacidad de análisis y síntesis
- T1.2 Capacidad de organización y planificación
- T1.3 Comunicación oral y escrita en lengua propia

- T1.4 Comprensión oral y escrita de una lengua extranjera
- T1.5 Habilidades básicas computacionales
- T1.6 Capacidad de gestión de la información
- T1.7 Resolución de problemas
- T1.8 Toma de decisiones

#### COMPETENCIAS PERSONALES

- T2.1 Capacidad crítica y autocrítica
- T2.2 Trabajo en equipo
- T2.3 Habilidades en las relaciones interpersonales
- T2.4 Habilidades de trabajo en un equipo interdisciplinar
- T2.5 Habilidades para comunicarse con expertos en otros campos
- T2.6 Reconocimiento de la diversidad y la multiculturalidad
- T2.7 Sensibilidad hacia temas medioambientales
- T2.8 Compromiso ético

#### COMPETENCIAS SISTÉMICAS

- T3.1 Capacidad para aplicar los conocimientos a la práctica
- T3.2 Capacidad de aprender
- T3.3 Adaptación a nuevas situaciones
- T3.4 Capacidad de generar nuevas ideas (creatividad)
- T3.5 Liderazgo
- T3.6 Conocimiento de otras culturas y costumbres
- T3.7 Habilidad de realizar trabajo autónomo
- T3.8 Iniciativa y espíritu emprendedor
- T3.9 Preocupación por la calidad
- T3.10 Motivación de logro

### 4.3. Objetivos generales/ Competencias específicas del Título

#### COMPETENCIAS ESPECÍFICAS DISCIPLINARES

- E1.1 Conocimiento en las materias básicas matemáticas, física, química, organización de empresas, expresión gráfica e informática, que capaciten al alumno para el aprendizaje de nuevos métodos y teorías
- E1.2 Conocimientos en materias tecnológicas para la realización de mediciones, cálculos, valoraciones, tasaciones, peritaciones, estudios, informes, planes de labores y otros trabajos análogos
- E1.3 Conocimiento, comprensión y capacidad para aplicar la legislación necesaria en el ejercicio de la profesión de Ingeniero Técnico Industrial

#### COMPETENCIAS PROFESIONALES

- E2.1 Capacidad para la redacción, firma y desarrollo de proyectos en el ámbito de la Ingeniería industrial que tengan por objeto, en el área de la Ingeniería Química, la construcción, reforma, reparación, conservación, demolición, fabricación, instalación, montaje o explotación de: estructuras, equipos mecánicos, instalaciones energéticas, instalaciones eléctricas y electrónicas, instalaciones y plantas industriales y procesos de fabricación y automatización en función de la ley de atribuciones profesionales
- E2.2 Capacidad para el manejo de especificaciones, reglamentos y normas de obligado cumplimiento

- E2.3 Capacidad de analizar y valorar el impacto social y medioambiental de las soluciones técnicas
- E2.4 Capacidad de dirección, organización y planificación en el ámbito de la empresa, y otras instituciones y organizaciones

#### OTRAS COMPETENCIAS

- E3.1 Experiencia laboral mediante convenios Universidad-Empresa
- E3.2 Experiencia internacional a través de programas de movilidad

### 4.4. Objetivos del aprendizaje

El estudiante, para superar la asignatura, deberá:

- Conocer y ser capaz de describir las propiedades de los materiales metálicos, cerámicos, poliméricos y compuestos.
- Obtener criterios diferenciadores para la clasificación de materiales dentro de una de las familias teniendo en cuenta su microestructura y su relación con las propiedades mecánicas.
- Interpretar los diagramas de fases, en especial el diagrama hierro-carbono, y relacionar las propiedades mecánicas con la composición los tratamientos térmicos aplicados.
- Estar al corriente de las principales aleaciones del acero, del aluminio y del titanio, sus propiedades y sus aplicaciones en aeronáutica.
- Conocer las propiedades mecánicas de los materiales cerámicos, poliméricos y compuestos. Comprender la importancia de la anisotropía en las propiedades.
- Relacionar las propiedades de materiales no estudiados con la microestructura que presentan.
- Describir e interpretar los resultados de los diversos sistemas de ensayo de muestras y estructuras.
- Deducir y utilizar criterios de selección de materiales en función de las características requeridas por la aplicación.

## 5. Contenidos

### 5.1. Contenidos según el plan de estudios

Microestructura de materiales.

Propiedades y aplicaciones de materiales metálicos, poliméricos, cerámicos y compuestos.

Tratamientos de Materiales.

Ensayos e inspección de materiales.

Normativa.

Selección de materiales.

### 5.2. Programa de teoría

Los contenidos de la asignatura se han agrupado en los siguientes temas:

#### **Tema 1: Estructura atómica:**

Revisión de conocimientos previos – Introducción a la Ciencia de Materiales – Estados

de la materia – Enlaces interatómicos y estructuras atómicas.

**Tema 2: Estructuras cristalinas y sus imperfecciones.**

Celdilla unidad – Estructuras y sistemas cristalinos – Monocristales y policristales – Sólidos amorfos – Anisotropía – Defectos e imperfecciones – Vacantes – Impurezas – Defectos lineales – Defectos interfaciales y volúmicos.

**Tema 3: Caracterización de las propiedades mecánicas y su relación con la microestructura. Ensayos mecánicos.**

Esfuerzo y deformación – Ensayos de tracción – Comportamiento elástico – Comportamiento plástico – Resistencia – Fluencia – Resiliencia y Ductilidad – Ensayo de impacto – Tenacidad – Ensayos de dureza – Factores de seguridad – Normativas de ensayos – Deformación plástica por dislocaciones – Deformación por maclado – Mecanismos de endurecimiento.

**Tema 4: Solidificación, difusión y diagramas de fases.**

Proceso de cristalización – Crecimiento cristalino – Recristalización y crecimiento de grano – Fases – Microestructura – Equilibrios binarios – Eutécticos + El sistema Fe-C – Puntos relevantes – Situaciones de no equilibrio – Otros elementos de aleación.

**Tema 5: Tratamientos térmicos de las aleaciones metálicas.**

Trasformaciones en estado sólido – Cambios microestructurales en el acero – Recocido – Temple – Otros mecanismos de endurecimiento.

**Tema 6: Mecanismos de degradación en servicio.**

Electroquímica – Oxidación y corrosión – Protección contra la corrosión – Pasivación + Fatiga de los materiales.

**Tema 7: Materiales de uso aeronáutico.**

Selección de materiales – Propiedades y requerimientos – Diagramas de Ashby + Aluminio y sus aleaciones – Titanio y sus aleaciones – Magnesio – Superaleaciones + Materiales compuestos – Uso de compuestos avanzados en aviación + Características y aplicaciones de los polímeros – Sellantes y pegamentos – Pinturas. Ejemplos de selección de materiales.

### 5.3. Syllabus

The course contents have been grouped into the following units:

**Unit 1: Atomic structure.**

Review of previous knowledge - Introduction to Materials Science - States of Matter - Interatomic links and atomic structures.

**Unit 2: Crystal structures and their imperfections.**

Unit cell - Structures and crystal systems - Single crystals and polycrystals - Amorphous Solids - Anisotropy - Defects and imperfections - Vacancies - Impurities - Linear defects - Interfacial and volumic defects.

**Unit 3: Characterization of mechanical properties and its relationship to microstructure. Mechanical testing.**

Stress and Strain - Tensile tests - Behavior elastic - plastic behavior - Resistance - Creep

- Resilience and ductility - Impact test - Tenacity - Hardness Testing - Safety factors - testing regulations - Plastic deformation by dislocations - Deformation twinning - Mechanisms of hardening.

**Unit 4: Solidification, diffusion and phase diagrams.**

Crystallization process - Crystal growth - recrystallization and grain growth - Phases - Microstructure - binary equilibria - eutectics + Fe-C system - relevant points - non-equilibrium situations - Other alloying elements.

**Unit 5: Thermal treatments of metallic alloys.**

Solid state transformations - Changes in the steel microstructure - Annealing - Quenching - Other hardening mechanisms.

**Unit 6: Mechanisms of degradation in service.**

Electrochemistry - Oxidation and Corrosion - Corrosion protection - Passivation + Fatigue of materials.

**Unit 7: Materials for aeronautical use.**

Selection of materials - Properties and requirements - Ashby diagrams + Aluminium and its alloys - Titanium and its alloys - Magnesium - Superalloys + Composites - Use of advanced composites in aviation + Features and applications of polymers - Sealants and adhesives - Paints.

Examples of material selection.

## 5.4. Programa de prácticas

**Sesiones de Laboratorio:**

Se desarrollan cuatro sesiones de prácticas de laboratorio. Los objetivos de aprendizaje son:

- ✓ Identificar el material y los equipos del laboratorio de materiales y dedicarlos a su uso adecuado.
- ✓ Aplicar los conocimientos teóricos de la asignatura en la experimentación práctica.
- ✓ Obtener, analizar y justificar los resultados de la práctica.
- ✓ Capacitar al alumno para el manejo de especificaciones, reglamentos y normas de obligado cumplimiento.

Las prácticas de laboratorio a desarrollar serán:

Práctica 1.	Ensayos mecánicos <sup>(*)</sup> (tema 3).
Práctica 2.	Aleaciones metálicas y metalografía <sup>(*)</sup> (tema 4).
Práctica 3.	Tratamientos térmicos del acero (tema 5).



Práctica 4.	Oxidación y Corrosión de materiales en servicio. (tema 6).
-------------	--

(\*) En el caso de no contar con los equipos necesarios, se realizarían mediante simulaciones informáticas.

## 5.5. Lab training

### Laboratory sessions:

There will be four sessions of lab training. The learning objectives are:

- ✓ Identify the equipment and materials laboratory equipment and dedicate them to their proper use.
- ✓ Apply the knowledge of the subject in practical experimentation.
- ✓ Obtain, analyze and justify the results of the lab training.
- ✓ Enable the student to manage specifications, regulations and mandatory standards.

The lab training sessions will be:

Session 1.	Mechanical tests (*) (unit 3).
Session 2.	Metal alloys and metallography (*) (unit 4).
Session 3.	Heat treatments of steel (unit 5).
Session 4.	Oxidation and corrosion of materials in service. (unit 6).

(\*) In case of not having the necessary lab equipment, these sessions will be computer simulations.

## 6. Metodología docente

### 6.1. Actividades formativas de E/A

Actividad	Trabajo del profesor	Trabajo del estudiante	ECTS
<b>Clase de teoría</b>	Clases teóricas participativas basadas en la presentación de la teoría y casos prácticos. Resolución de las dudas planteadas por los estudiantes.	<u>Presencial</u> : Asistencia y participación a las clases presenciales	<b>1,88</b>
		<u>No presencial</u> : Estudio de la materia.	<b>1,6</b>
<b>Clase de Prácticas. Sesiones de laboratorio</b>	Las sesiones prácticas de laboratorio consisten en el planteamiento, dirección y tutela de prácticas de laboratorio relacionadas con los conceptos teóricos de la asignatura.	<u>Presencial</u> : Realización de las prácticas de laboratorio siguiendo los guiones proporcionados por el profesor. Toma de datos. Manejo de instrumentación. Planteamiento de dudas.	<b>0,32</b>

		<u>No presencial</u> : Elaboración de los informes de prácticas en grupo y siguiendo criterios de calidad establecidos	<b>0,32</b>
<b>Actividades de evaluación formativa</b>	Los alumnos realizarán un diario de actividades de clase, que reflejará los conocimientos adquiridos, y trabajos de investigación y reflexión personales. Este diario no contará en la calificación final, pero será obligatorio entregar al menos el 80% para ser calificado. <sup>(1)</sup>	<u>No presencial</u> : El diario se entregará al final de cada tema, mensualmente o cuando lo indique el profesor. Este diario contendrá un breve resumen de lo aprendido en las clases de teoría, una reflexión personal sobre los contenidos y las ideas propias sobre el tema.	<b>0,14</b>
<b>Tutorías individuales y de grupo</b>	Las tutorías serán individuales con objeto de realizar un seguimiento individualizado del aprendizaje. En casos especiales se podrán realizar tutorías en grupo.	<u>Presencial</u> : Tutorías en grupo o individuales de consulta de dudas de teoría y problemas más las horas dedicadas a la preparación y explicación de las prácticas.	<b>0,41</b>
<b>Actividades de evaluación sumativa. Pruebas virtuales y escrita individuales</b>	Al final de cada tema se realizará una prueba escrita de evaluación tipo test sobre el tema. Se realizará una prueba final escrita también tipo test.	<u>Presencial</u> : Asistencia a las pruebas escritas y realización de las mismas.	<b>0,4</b>
<b>TOTAL</b>			<b>4,5</b>
(1) Se entregarán en formato digital (pdf o doc) en el aula virtual exclusivamente.			

## 7. Evaluación

### 7.1. Sistema de evaluación

Técnicas	Realización / criterios	Ponderación	Competencias genéricas
<b>Prueba escrita individual final (70 %)</b>	<b>Cuestiones teóricas y/o teórico-prácticas:</b> Constará de un examen tipo test compuesto de 50 cuestiones teóricas y algunos problemas prácticos breves. Las cuestiones se orientan a los conceptos y definiciones estudiadas en la asignatura. Se evalúan principalmente los conocimientos teóricos. <sup>(1)</sup>		T1.1, T1.2, T1.3, T3.1, T3.2, T3.3, T3.4, T3.7, T3.9
<b>Evaluaciones parciales sumativas. (15%)</b>	<b>Cuestiones teóricas y/o teórico-prácticas:</b> Al final de cada tema de la asignatura se realizará un test de evaluación sumativa sobre los contenidos del tema.	1/7 cada test.	T1.1, T1.2, T1.3, T3.1, T3.2, T3.3, T3.4, T3.7, T3.9
<b>Prácticas de Laboratorio (15 %)</b>	Se evalúan las ejecuciones y el trabajo en equipo, así como las destrezas y habilidades para el manejo de material de Laboratorio. <sup>(2)</sup>	Partes iguales cada práctica.	T1.3, T2.2, T1.5, T2.3, T2.7, T3.9, T3.1
(1) Para poder ser calificado, es necesario obtener al menos una calificación de 4 sobre 10 en la prueba escrita individual final.			
(2) Se entregarán en formato digital (pdf o doc) en el aula virtual exclusivamente.			

### 7.2. Mecanismos de control y seguimiento

El seguimiento del aprendizaje se realizará mediante los siguientes mecanismos:

- Cuestiones planteadas en clase y laboratorio.
- Revisión del diario de clase.
- Supervisión del trabajo en el laboratorio y revisión de los informes de prácticas de laboratorio.
- Tutorías.

- Test parciales de los temas.
- Examen final.

## 8. Relación entre los resultados, las actividades formativas y la evaluación

8.1. Objetivos del aprendizaje / actividades formativas / evaluación de los resultados											
Objetivos del aprendizaje (4.4)	Clases de teoría	Clase de prácticas	Tutorías	Evaluación formativa		Evaluación sumativa	Trabajo de investigación	Problemas propuestos	Trabajo en equipo presencial	Informes de prácticas	Exposiciones orales
Conocer las propiedades de los materiales metálicos, cerámicos, poliméricos, composites y microestructurados.	■	■	■	■		■	■				
Obtener criterios diferenciadores para la clasificación de materiales dentro de una de las familias teniendo en cuenta su microestructura y su relación con las propiedades mecánicas.	■	■	■	■		■	■	■		■	
Saber interpretar los diagramas de fases, en especial el diagrama hierro-carbono, y saber relacionar las propiedades mecánicas con la composición los tratamientos térmicos aplicados.	■		■	■		■	■	■		■	
Estar al corriente de las principales aleaciones del acero, del aluminio y del titanio, sus propiedades y sus aplicaciones en aeronáutica.	■		■	■		■	■				
Conocer las propiedades mecánicas de los materiales cerámicos, poliméricos y microestructurados. Comprender la importancia de la anisotropía en las propiedades.	■		■	■		■	■	■		■	

Relacionar las propiedades de materiales no estudiados con la microestructura que presentan.	■	■	■	■		■	■	■			
Describir e interpretar los resultados de los diversos sistemas de ensayo de muestras y estructuras.	■	■	■	■		■	■	■		■	
Deducir y utilizar criterios de selección de materiales en función de las características requeridas por la aplicación.		■	■	■		■		■		■	

## 9. Temporalización. Distribución de créditos ECTS

Semana	Temas o actividades	ACTIVIDADES PRESENCIALES						ACTIVIDADES NO PRESENCIALES			TOTAL HORAS
		Convencionales		No convencionales				No presenciales			
		Clases de Teoría y problemas	Total PC	Seminarios	Laboratorio	Evaluación	Total PNC	Estudio	Preparación de informes de prácticas	total NP	
1	T1	3	3				0	2		2	5
2	T1,T2	2	2			1	1	2		2	5
3	T2	3	3				0	2		2	5
4	T2	2	2			1	1	2		2	5
5	T3	3	3				0	2		2	5
6	T3	3	3				0	2		2	5
7	T3	3	3				0	2		2	5
8	T3,T4	2	2	2		1	3	3	2	5	10
9	T4	3	3				0	2		2	5
10	T4	3	3				0	2		2	5
11	T4,T5	2	2			1	1	3		3	6
12	T5	3	3		2		2	2	2	4	9
13	T5,T6	2	2			1	1	2		2	5
14	T6	3	3		2		2	2	2	4	9
15	T6	3	3				0	2		2	5
16	T6,T7	2	2			1	1	3		3	6
17	T7	3	3		2		2	2	2	4	9
18	T7	2	2			1	1	3		3	6
Exámenes						3	3			0	3
Otros							0			0	0
Total horas		47	47	0	8	10	18	40	8	48	113

## 10. BIBLIOGRAFÍA

### BIBLIOGRAFÍA BÁSICA:

- William D. Callister, Jr *“Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los materiales”*, Reverté, 2007
- M.F. Ashby, *“Materials: Engineering, Science, Processing and Design”* Butterworth-Heinemann, 2007

### BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA:

- Ajoy Kumar Kundu *“Aircraft Design”*, Cambridge University Press 2010
- Clifford Matthews *“Aeronautical Engineer’s Data Book”* Butterworth Heinemann, 2002
- Carles Riba Romeva *“Selección de materiales en el diseño de máquinas”*, Edicions UPC, 2008
- M.F. Ashby *“Materials Selection in Mechanical Design”*, Butterworth Heinemann, 2011