



ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

Diligencia para hacer constar que las siguientes páginas de este documento se corresponden con la información que consta en la Secretaría de la Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Sevilla relativa al programa oficial de la asignatura “Ingeniería de los Materiales II” (2140042) del curso académico “2016-2017”, de los estudios de “Doble Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo del Producto e Ingeniería Mecánica”.

Regina M<sup>a</sup> Nicaise Fito

Gestora de Centro

Código:PFIRM778CJEICRKW/qJ58wYZUeNkcI.  
Permite la verificación de la integridad de este documento electrónico en la dirección: <https://pfirma.us.es/verifirma>

FIRMADO POR	REGINA NICAISE FITO	FECHA	16/05/2018
ID. FIRMA	PFIRM778CJEICRKW/qJ58wYZUeNkcI	PÁGINA	1/8



PROGRAMA DE LA ASIGNATURA  
"Ingeniería de los Materiales II"

Doble Grado en Ing.en Diseño Ind.y Desarrollo del Producto e Ing. Mecánica

Departamento de Ingeniería y C. Materiales y Transporte

Escuela Politécnica Superior

DATOS BÁSICOS DE LA ASIGNATURA

<b>Titulación:</b>	Doble Grado en Ing.en Diseño Ind.y Desarrollo del Producto e Ing. Mecánica
<b>Año del plan de estudio:</b>	2010
<b>Centro:</b>	Escuela Politécnica Superior
<b>Asignatura:</b>	Ingeniería de los Materiales II
<b>Código:</b>	2140042
<b>Tipo:</b>	Obligatoria
<b>Curso:</b>	4º
<b>Período de impartición:</b>	Cuatrimestral
<b>Ciclo:</b>	0
<b>Área:</b>	Ciencias de Materiales e Ingeniería Metalúrgica (Área responsable)
<b>Horas :</b>	150
<b>Créditos totales :</b>	6.0
<b>Departamento:</b>	Ingeniería y C. Materiales y Transporte (Departamento responsable)
<b>Dirección física:</b>	CAMINO DESCUBRIMIENTOS, S/N.- ISLA CARTUJA, 41092, SEVILLA
<b>Dirección electrónica:</b>	

OBJETIVOS Y COMPETENCIAS

CONTENIDOS DE LA ASIGNATURA

Introducción

Presentación: criterios de evaluación y remarcar el objetivo central de la asignatura. Relevancia del conocimiento de materiales en el ámbito de la Rama Industrial y particularmente en Ingeniería Mecánica. Historia y perspectivas: Metales, Cerámicas, Polímeros, Materiales Compuestos, Biomateriales, Materiales Funcionales, y Nuevos Materiales (Nanomateriales, Inteligentes, Función gradiente, Laminados, etc.).

Bloque I. Aleaciones metálicas

Aceros y sus aleaciones

Definición y clasificación microestructural de los aceros al carbono: hipoeutectoides, eutectoides, e hipereutectoides. Fases y

FIRMADO POR	REGINA NICAISE FITO	FECHA	16/05/2018
ID. FIRMA	PFIRM778CJEICRW/qJ58wYZUeNkcI	PÁGINA	2/8

microconstituyentes típicos de las transformaciones en equilibrio, estructura, morfología y propiedades. Clasificación según la composición química (norma europea UNE-EN 10020:2001). Designación simbólica (UNE-EN 10027-1:2006) y numérica (UNE-EN 10027-2:1993) de los aceros. Definición, clasificación, características y propiedades de los aceros de baja aleación (aceros para moldes, resistentes al impacto y para aplicaciones especiales). Definición y clasificación de los aceros de alta aleación. Aceros inoxidables, UNE-EN 10088-1:2006, características, propiedades y aplicaciones generales. Clasificación según la microestructura en ferríticos, martensíticos, austeníticos y dúplex. Efecto del C y los elementos de aleación (alfágenos y gammágenos) en las familias de aceros inoxidables. Definición del cromo y el níquel equivalente.

Aceros y sus aleaciones (cont.)

Composición química, características y propiedades mecánicas, en términos de ventajas y desventajas, de los aceros inoxidables: 1) al cromo (Serie "4XX"): ferríticos y martensíticos, 2) al Cr-Ni (Serie "3XX"): austeníticos, 3) "Austeno-Ferríticos" (dúplex) y 4) los endurecibles por precipitación ("PH"). Aceros para herramientas, definición, características y propiedades generales, así como la clasificación según su aplicación (SAE/AISI y UNE-EN ISO 4957:1999). Profundizar en los aceros de alta aleación: rápidos, aceros de trabajo en frío y caliente. Abordar las aplicaciones (ventajas y desventajas, sector de la automoción y aeroespacial), características y propiedades de los aceros de baja, alta y ultra alta resistencia. Aceros Maraging.

Tratamientos térmicos anisotérmicos en los aceros

Las transformaciones alotrópicas del Fe y la existencia de un punto eutectoide como base de los tratamientos térmicos de los aceros.

Elementos aleantes solubles y formadores de carburos. Influencia de éstos en el diagrama metaestable Fe-Fe<sub>3</sub>C. Tratamientos térmicos, definición, etapas básicas y tipos: masivos (anisotérmicos e isotérmicos) y superficiales (sin y con cambio de composición). Austenización: definición, objetivo que se persigue, etapas e influencia de los parámetros que caracterizan el tratamiento (velocidad de calentamiento, la temperatura y el tiempo de mantenimiento, así como de las condiciones de enfriamiento) en la naturaleza, morfología, tamaño y propiedades de los constituyentes que aparecen a lo largo de esta transformación. Tratamientos térmicos masivos: recocido, normalizado, temple y revenido. Definición, tipos, objetivos, ventajas y desventajas, así como los tipos, tamaño y propiedades de las fases y/o microconstituyentes que se forman.

Tratamientos térmicos masivos isotérmicos y superficiales en los aceros

Fases asociadas a transformaciones fuera del equilibrio, bainita y martensita, su estructura, morfología y propiedades tribomecánicas, comparación con las fases y microconstituyentes típicos del equilibrio. Profundizar en el tratamiento de temple – transformación de fase martensítica en los aceros. Influencia de la presencia de austenita retenida en los aceros. Factores que influyen en su aparición. Factores que influyen en la velocidad crítica de temple. Influencia del medio de temple (naturaleza, temperatura del medio y nivel de agitación) y de la pieza a templar (composición del acero, geometría, estado superficial y tamaño). Templabilidad del acero – influencia en la soldabilidad de los aceros. Justificación y principios de las transformaciones isotérmicas (®). Curvas T.T.T., características generales, factores que influyen en la forma y la posición de las curvas (composición química, condiciones de austenización, el tamaño de grano, las segregaciones y la presión), así como el protocolo experimental para llevar a cabo su construcción. Caso particular de los aceros hipo, hiper, y eutectoides. Curvas de enfriamiento continuo, similitudes y diferencias con las T.T.T.. Tratamientos térmicos superficiales en los aceros: objetivos (ventajas), tipos [sin cambio de composición (temple superficial, láser, flameado, por inducción) y con cambio de composición (cementación, nitruración, y carbonitruración)], la definición de éstos, sus características (espesor y dureza de la capa) y los factores que influyen en la realización de los mismos. Origen y tipos de defectos, así como los riesgos originados durante el tratamiento térmico.

Fundiciones férreas

Introducción a las fundiciones férreas: definición, características generales y escenario de sus propiedades mecánicas si las comparamos con los aceros. Aplicaciones de las mismas. Comparación entre el diagrama de equilibrio Fe-Grafito y el metaestable Fe-Fe<sub>3</sub>C en términos de temperatura y composición de los puntos críticos, fases y microconstituyentes presentes, así como el estado en que se encuentra el carbono. Papel de la morfología (rosetas, laminar, esferoidal) del carbono libre (grafito) en las propiedades tribomecánicas (resistencia, ductilidad, tenacidad, límite elástico, resistencia al desgaste), la maquinabilidad y la designación de la fundición (UNE-EN 1560:1997). Clasificación y características de las fundiciones: blancas, maleables, grises y nodulares. Factores que influyen en la grafitización: la composición química, la velocidad de enfriamiento, y el tratamiento térmico.

Resolución de problemas de aceros y fundiciones

Se resolverán problemas tipos relacionados con aceros no aleados, inoxidables y fundiciones, remarcando y asociando las microestructuras, tratamientos y propiedades (comportamiento en servicio) obtenidas.

Resolución de problemas de tratamientos térmicos

Se resolverán problemas tipos relacionados con curvas T.T.T., tratamientos térmicos en equilibrio y superficiales, asociándose también en estos casos, las microestructuras obtenidas con sus propiedades mecánicas.

Metales y aleaciones no férreas ligeras

División de los materiales metálicos. Introducción a los materiales metálicos no férreos. Aluminio y sus aleaciones. Propiedades y características básicas. Clasificación de los Al y sus aleaciones según la Norma Americana IADS. Diagramas de fase, características de las microestructuras y aplicaciones de algunos casos [eutéctico Al-12%Si, Al-Mg (5xxx), Al-Cu (2xxx)]. Relación entre propiedades y aplicaciones industriales (sector de automoción y aeronáutico). Escenario de las propiedades del aluminio (comparación con los aceros y los materiales compuestos). Desventajas (coste, moldeo y soldabilidad). Titanio y sus aleaciones. Propiedades y características básicas. Influencia de los elementos de aleación en la microestructura del titanio. Parámetros que determinan la tenacidad de las aleaciones de titanio. Desventajas (coste, moldeo, mecanizado y forja). Relación entre propiedades y sus aplicaciones (sector de automoción, aeronáutico y sanitario). Magnesio y sus aleaciones. Propiedades y características básicas. Designación y tratamiento. Ventajas (peso y fluidez en estado fundido) y desventajas (coste, sensibilidad a la concentración de esfuerzos, pobre resistencia a la corrosión y elevada acritud), aplicaciones.

Aleaciones no férreas pesadas, refractarias y superaleaciones

Metales no férreos pesados y sus aleaciones más utilizados. Diagramas de fase y características de las microestructuras. Características y propiedades asociadas a aplicaciones industriales (ventajas y desventajas). Latones para forja, Bronces: ordinarios (Cu-Sn; 1-12%Sn) y al aluminio o cuproaluminios (Cu-Al; 3-13%Al, dividiéndose en aleaciones monofásicas y bifásicas según el rango de composición). Tratamientos térmicos recomendados, propiedades mecánicas y resistencia a la corrosión. Aleaciones refractarias (Nb, Ta, Mo, W, Re, etc.) y superaleaciones base Ni (Inconel, Nimonic, Astraloy, etc.) y Co (HS25, V36, HS30, etc.), características, aplicaciones, influencia de la temperatura en el comportamiento en servicio.

Bloque II. Materiales Cerámicos

Vidrios y cerámicas tradicionales, aplicaciones

Definición, historia y clasificación general de los materiales cerámicos: vidrios, tradicionales y avanzados. Técnicas de observación de materiales cerámicos: ópticas, microscopía electrónica y de fuerza atómica (AFM). Composición de los vidrios, principales materias primas,

Código:PFIRM778CJEICRkW/qJ58wYZUeNkCI.			
Permite la verificación de la integridad de este documento electrónico en la dirección: <a href="https://pfirma.us.es/verifirma">https://pfirma.us.es/verifirma</a>			
FIRMADO POR	REGINA NICAISE FITO	FECHA	16/05/2018
ID. FIRMA	PFIRM778CJEICRkW/qJ58wYZUeNkCI	PÁGINA	3/8

propiedades (ventajas y desventajas) y aplicaciones: sodo cálcicos, borosilicato, vidrios al plomo, fibras de vidrio, y vitrocerámica. Tratamiento de desvitrificación (cristalización). Cambio de volumen durante el enfriamiento para materiales cristalinos y amorfos. Temperatura de transición vítrea y de fusión. Relación entre la curva viscosidad (propiedades reológicas) y la temperatura. Influencia del tipo de vidrio (composición química). La industria del vidrio: etapas del proceso, mercado global y por sectores, reciclado del vidrio. Ventajas y desventajas de los vidrios. Las cerámicas tradicionales, materias primas y aplicaciones: productos de arcilla, refractarios, abrasivos y cementos. Cemento Portland y cerámicas avanzadas, aplicaciones

Obtención y preparación de las materias primas del cemento. Fabricación del clinker – cocción en el horno (reacciones químicas que ocurren en cada rango de temperatura). Composición y características del clinker (rol en las propiedades hidráulicas) y el yeso (papel en el fraguado). Composición del cemento Portland. Importancia de las adiciones en el cemento (norma UNE-EN 197-1:2000). Hidratación del cemento Portland y su responsabilidad en el fraguado y endurecimiento. Contribución de las fases del clinker a las propiedades mecánicas del cemento Portland. Ventajas y desventajas de las cerámicas tradicionales. Aplicaciones generales de las cerámicas avanzadas. Aporte de las cerámicas avanzadas. Las cerámicas avanzadas, tipos, diagrama de fases, microestructuras, características y propiedades (ventajas y desventajas) y aplicaciones.

### Bloque III. Materiales Poliméricos

Definición, clasificaciones y aplicaciones

Definición de polímero, monómero, mero y tipo de enlaces. Formas de clasificar los polímeros, sus características, propiedades y ejemplos: 1) origen, 2) estructura molecular, 3) cantidad de meros diferentes, 4) escala de fabricación y tipo de aplicación, 5) comportamiento mecánico frente a la temperatura, y 6) estados de agregación. Orientación y cristalización. Grado de cristalinidad. Definición y estado del material (cadenas) en función de las temperaturas de transición, Tg y Tm. Tipos de aditivos y como influyen en las características y propiedades de los plásticos comerciales. Personalidad que tienen y sensaciones que transmiten los plásticos. Los polímeros hoy, relación propiedades-aplicaciones (sector de la automoción, sanitario, armamentístico, textil, etc.).

### Bloque IV. Materiales Compuestos

Definición y tipos. Características y papel de los refuerzos. Aplicaciones e importancia en el diseño

Definición de material compuesto. Aplicaciones (ventajas y desventajas). Materiales compuestos tradicionales y sintéticos (o extrínsecos).

Definición de matriz y su función. Clasificación de los materiales compuestos según su matriz: 1) MMCs (Metal Matrix Composite), 2) CMCs (Ceramic Matrix Composite), y 3) PMCs (Polimer Matrix Composite). Definición de refuerzos, tipos (partículas o fibras) y su función dependiendo de la matriz. Partículas pequeñas y grandes. Ejemplos y aplicaciones. Fibras cortas, largas y continuas, longitud crítica.

Equilibrio entre comportamiento en servicio, coste y viabilidad de la incorporación de éstas. Tipos de refuerzos. Parámetros importantes a considerar en la elección de las fibras: resistencia, rigidez, peso y elevado punto de fusión, relación de aspecto (longitud/diámetro), orientación (grado de anisotropía) y fracción volumétrica, así como la adherencia fibra/matriz. La naturaleza como fuente de inspiración y modelo en el diseño de materiales avanzados. Compuestos laminares simples y complejos para aplicaciones aeroespaciales y biomédicas.

Beneficios de reforzar las matrices en los materiales compuestos. Ejemplos y aplicaciones de materiales compuestos, ventajas y desventajas frente a sus competidores (aleaciones de aluminio y titanio).

Beneficios de reforzar las matrices en los materiales compuestos. Ejemplos y aplicaciones de materiales compuestos, ventajas y desventajas frente a sus competidores (aleaciones de aluminio y titanio).

### Bloque V. Comportamiento en Servicio

Comportamiento elástico y viscoelasticidad

Relación entre el estímulo, la propiedad del material y la respuesta de éste. Deformación elástica (o reversible). Módulos o constantes elásticas ¿Cómo ocurre la deformación elástica? Relación entre la rigidez de los enlaces y el módulo elástico ¿Cómo se determinan las constantes elásticas? Parámetros que influyen en E. Naturaleza viscoelástica de los polímeros (fluencia lenta y relajación de tensiones)

¿Cuándo la viscoelasticidad es importante? ¿Cómo manipular el módulo elástico y la densidad? Diseño limitado por la rigidez, aplicaciones en las que la deformación es limitada ("pequeña"), comentar ejemplos reales.

Resolución de problemas de diseño limitado por la rigidez

Se resolverán problemas típicos de aplicaciones en las que se limita la deformación (bajo esfuerzos mecánicos, térmicos, etc.) y por tanto, un diseño apropiado pasa por seleccionar materiales con una rigidez elevada.

Comportamiento plástico

Curvas esfuerzo-deformación (generalidades). Definición del límite de proporcionalidad, límite de fluencia, módulo de resiliencia, flujo plástico, resistencia máxima y a rotura, así como de la tenacidad y la ductilidad. Esfuerzos normales y de corte sobre un plano de deslizamiento (monocristales). Respuesta mecánica de policristales. Parámetros que influyen en el comportamiento mecánico (material, tipo de ensayo, temperatura, velocidad de aplicación de la carga, presencia de concentradores de esfuerzos, etc.). Comportamiento mecánico de metales (procedimiento, ventajas y desventajas de los ensayos de tracción, compresión y torsión). Curva ingenieril vs real. Comportamiento mecánico de polímeros (particularidades de los ensayos de tracción y desgarro). Comportamiento mecánico de cerámicas (ensayos de flexión en 3 y 4 puntos, biaxial, compresión, brasileño, etc.) ¿De qué depende la resistencia mecánica? Estadística de Weibull. Criterios de diseño: límite elástico y colapso plástico controlado. Relación entre el límite elástico y el módulo de Young. Papel de los mecanismos de endurecimiento en el límite de fluencia (ejemplos de mecanismos recomendados según aleación y aplicación).

Resolución de problemas de diseño limitado por el límite de fluencia

Se resolverán problemas tipos de aplicaciones en las que no se permiten deformaciones plásticas macroscópicas, siendo el límite de fluencia el parámetro de diseño en el caso de metales y la resistencia a rotura en el caso de materiales frágiles (implementar la estadística de Weibull).

Comportamiento a fractura

Presencia de concentradores de esfuerzos (definición de Kt) ¿Qué pasa si el radio del concentrador es matemáticamente 0? Análisis de mecánica de la fractura elástica lineal. Definición del factor de intensidad de tensiones (K, Kc y Kap) y de la condición de deformación y tensión plana. Definición de tenacidad de fractura, K1c ¿Cómo se evalúa? (Norma ASTM E-399) ¿Cómo se evalúa en materiales frágiles? Requisitos, protocolo, ventajas y desventajas de las técnicas empleadas. Definición de longitud crítica de la grieta como una medida de la tolerancia al daño. Relación entre el límite y el módulo elástico y la tenacidad de fractura.

Comportamiento a fractura (cont.)

¿Cómo se puede incrementar K1c? (minimizar o eliminar las fisuras y/o incrementar el coste energético de propagar un defecto existente). Mecanismos de apantallamiento de la punta de la fisura generales y particulares para cada familia de material. Curva-R, peligro de la presencia y comportamiento de grietas pequeñas. Definición y clasificación de los tipos de fractura según: ¿Cómo es la rotura? y ¿Cuanta energía se consume? Etapas del proceso de fractura dúctil, influencia de la anisotropía. Fractura frágil: materiales vítreos, transgranular (clivaje) e intergranular (fragilización de los límites de grano). Factores [microestructurales, de procesado y/o condiciones de servicio (temperatura, presencia de concentradores de esfuerzos y/o velocidad de aplicación de la carga)] que influyen y marcan el tipo de rotura.

Comportamiento a fractura (cont.)

¿Cómo se puede incrementar K1c? (minimizar o eliminar las fisuras y/o incrementar el coste energético de propagar un defecto existente). Mecanismos de apantallamiento de la punta de la fisura generales y particulares para cada familia de material. Curva-R, peligro de la presencia y comportamiento de grietas pequeñas. Definición y clasificación de los tipos de fractura según: ¿Cómo es la rotura? y ¿Cuanta energía se consume? Etapas del proceso de fractura dúctil, influencia de la anisotropía. Fractura frágil: materiales vítreos, transgranular (clivaje) e intergranular (fragilización de los límites de grano). Factores [microestructurales, de procesado y/o condiciones de servicio (temperatura, presencia de concentradores de esfuerzos y/o velocidad de aplicación de la carga)] que influyen y marcan el tipo de rotura.

Comportamiento a fractura (cont.)

¿Cómo se puede incrementar K1c? (minimizar o eliminar las fisuras y/o incrementar el coste energético de propagar un defecto existente). Mecanismos de apantallamiento de la punta de la fisura generales y particulares para cada familia de material. Curva-R, peligro de la presencia y comportamiento de grietas pequeñas. Definición y clasificación de los tipos de fractura según: ¿Cómo es la rotura? y ¿Cuanta energía se consume? Etapas del proceso de fractura dúctil, influencia de la anisotropía. Fractura frágil: materiales vítreos, transgranular (clivaje) e intergranular (fragilización de los límites de grano). Factores [microestructurales, de procesado y/o condiciones de servicio (temperatura, presencia de concentradores de esfuerzos y/o velocidad de aplicación de la carga)] que influyen y marcan el tipo de rotura.

Comportamiento a fractura (cont.)

¿Cómo se puede incrementar K1c? (minimizar o eliminar las fisuras y/o incrementar el coste energético de propagar un defecto existente). Mecanismos de apantallamiento de la punta de la fisura generales y particulares para cada familia de material. Curva-R, peligro de la presencia y comportamiento de grietas pequeñas. Definición y clasificación de los tipos de fractura según: ¿Cómo es la rotura? y ¿Cuanta energía se consume? Etapas del proceso de fractura dúctil, influencia de la anisotropía. Fractura frágil: materiales vítreos, transgranular (clivaje) e intergranular (fragilización de los límites de grano). Factores [microestructurales, de procesado y/o condiciones de servicio (temperatura, presencia de concentradores de esfuerzos y/o velocidad de aplicación de la carga)] que influyen y marcan el tipo de rotura.

Código:PFIRM778CJEICRW/qJ58wYZUeNkCI.			
Permite la verificación de la integridad de este documento electrónico en la dirección: <a href="https://pfirma.us.es/verifirma">https://pfirma.us.es/verifirma</a>			
FIRMADO POR	REGINA NICAISE FITO	FECHA	16/05/2018
ID. FIRMA	PFIRM778CJEICRW/qJ58wYZUeNkCI	PÁGINA	4/8

Fractura de materiales compuestos y laminados. Fallo de uniones por adhesivos. Micromecanismos de fractura y deformación.

Resolución de problemas de diseño limitado por Klc

Concentradores de esfuerzos bajo cargas estáticas y monotónicas. Evaluación de la tenacidad de fractura: condición de deformación plana y tamaño crítico. Papel de ésta en la fiabilidad de una pieza, componente o estructura agrietada.

Comportamiento a fatiga: vida a fatiga total

Definición de fractura por fatiga. Origen de los esfuerzos cíclicos, importancia de estudiar la fatiga y ejemplos de fallos por fatiga. Tipos de fatiga mecánica (constante y/o variable, vibraciones, alto y bajo número de ciclos) y parámetros que la caracterizan ( $a$ ,  $\sigma$ ,  $m$ , y  $R$ ). Diseño de fatiga clásico: estimar la vida a fatiga total ¿Cómo se determina? curvas S-N o curvas Wöhler. Curva de probabilidad S-N-P. Ensayo de la escalera – Staircase. Definir el límite y la resistencia a fatiga. Enfoque basado en deformaciones. Relación entre la amplitud de la deformación y el número de ciclos de fatiga. Relación entre el límite a fatiga y la dureza, el tamaño de grano, el límite de fluencia, la resistencia máxima y la tenacidad de fractura. Etapas de la vida a fatiga total de una pieza, componente o estructura y relación con sus correspondientes aspectos fractográficos macroscópicos y microscópicos. Fractura bajo cargas cíclicas de materiales poliméricos, compuestos y laminados.

Comportamiento a fatiga: tolerancia al daño

Tolerancia al daño: determinar la vida a fatiga considerando sólo la propagación de las grietas preexistentes comúnmente en grandes estructuras y componentes. Definir  $K$ ,  $K_{max}$  y  $K_{ef}$ , según la mecánica de la fractura elástica lineal. Como se determina experimentalmente la curva y regímenes de la propagación de grietas grandes por fatiga: umbral de propagación,  $K_{th}$ , régimen de Paris y el comportamiento próximo a la rotura ¿Cómo ocurre la propagación de la fisura? La relación Klc vs  $K_{th}$  y crecimiento de grietas pequeñas, importancia de cara al diseño y/o la seguridad. Definir sensibilidad a fatiga. Principales factores que afectan los ensayos de fatiga: familia de materiales y características particulares del material, factores geométricos, características superficiales, tipo de medio, temperatura y frecuencia de oscilación. Resistencia a fatiga de un componente real. Historia de carga cíclica real: influencia del esfuerzo medio (diagrama de Langer, Soderberg, Gerber y Goodman), determinación del daño acumulativo (regla de Miner), influencia de las sobrecargas (tipo, período de recurrencia, amplitud del pico y en la velocidad de propagación). Definición de grietas grandes y pequeñas. Influencia del tamaño de la grieta en la vida a fatiga de un material (Diagrama de Kitagawa-Takahashi). Crecimiento de grietas pequeñas por fatiga, influencia de la plasticidad residual en su crecimiento bajo cargas cíclicas.

Resolución de problemas de límite de fatiga y crecimiento de grietas grandes bajo cargas cíclicas

Curvas S-N y ensayo de la escalera (límite a fatiga y resistencia a fatiga). Aplicación del diagrama de Goodman, Ley de Paris (determinación del umbral de propagación y la velocidad de propagación de grietas grandes por fatiga para materiales y relaciones de esfuerzo diferentes). Vida a fatiga para un número de ciclos determinado. Diferencias entre  $K_t$  y  $K_f$ , implementación del concepto de sensibilidad a la entalla y a fatiga.

Efecto de las condiciones termomecánicas en el comportamiento mecánico

Relación entre el módulo de Young, el coeficiente de dilatación térmica, resistencia de los enlaces y la temperatura de fusión ¿Cómo aprovechar la dilatación/contracción térmica en el diseño? Resistencia al choque térmico (consecuencias, criterios y consideraciones de diseño ¿de qué depende? formas de evaluarlo). Selección de materiales de contacto. Dependencia del comportamiento mecánico con la temperatura y la velocidad de aplicación de la carga. Naturaleza viscoelástica de los polímeros. Relación entre el módulo de relajación y la temperatura. Análisis térmico dinámico mecánico. Temperatura de distorsión bajo carga y de reblandecimiento VICAT. Fenómeno de superplasticidad en cerámicas. Definir la temperatura de servicio máxima de las diferentes familias y su importancia en las aplicaciones. Ensayo Charpy. Resiliencia como medida de la tenacidad. Diferentes tipos y configuraciones de ensayos de impacto. Metodologías de análisis de los resultados. Empleo de estos ensayos para evaluar la transición dúctil-frágil en los materiales, variables que influyen y su importancia en la filosofía de diseño.

Fenómeno de termofluencia

Definición de termofluencia o creep ¿Qué materiales experimentan este tipo de comportamiento y a partir de que temperatura? ¿Cómo se evalúa experimentalmente la termofluencia? Etapas, efecto de la temperatura y el esfuerzo aplicado a la curva de termofluencia. Ley general que rige la deformación en el estado estacionario. Mecanismos de termofluencia: difusión de vacantes, movimiento y escalada de dislocaciones, así como el de deslizamiento de los límites de granos. Diagrama de los mecanismos de deformación, influencia del tipo de material, características y la velocidad de deformación ¿Cómo se procesan e interpretan los resultados de creep? ¿Qué tipos de ensayos se pueden implementar para disminuir el tiempo de ensayo y estimar o predecir dicho comportamiento? Diseño que haga frente al creep, los cuatro grandes problemas inherentes a este fenómeno (ejemplo de aplicaciones). Termofluencia en cerámica, fenómeno de superplasticidad. Efecto combinado de termofluencia y corrosión. Recomendación de materiales según su temperatura de aplicación.

Resolución de problemas de creep y relajación de tensiones

Se resolverán problemas relacionados con la determinación de la velocidad de deformación en la etapa secundaria y como se interpretan los resultados en término de mecanismos de termofluencia. El empleo del parámetro de Larson-Miller. Interpretación y uso de los mapas de mecanismos. Problemas que aborden la temida relajación de tensiones y como "solucionar".

Durabilidad: corrosión seca u oxidación en los metales

Definición de corrosión ¿Por qué ocurre la corrosión en los metales? Problemas y costos económicos derivados de la corrosión. Clasificación de las formas de corrosión según: el mecanismo de corrosión y la morfología del ataque. Corrosión seca, a alta temperatura u oxidación, reacción química que ocurre. Relación entre la energía libre de formación de los óxidos, su estabilidad y la temperatura. Tipos de óxidos, características y mecanismos de crecimiento de la película de éstos para actuar como barrera protectora de procesos de corrosión futuros. Relación Pilling-Bedworth como medida del grado de protección de un metal por su correspondiente óxido. Fundamentos de la corrosión húmeda o a Tamb y su similitud con la pila electroquímica. Micropilas y macropilas de Corrosión. Reacciones de corrosión (anódica y catódicas). Parámetros que influyen en la corrosión húmeda: material y el medio; parámetros de los que dependen, como lo hacen y su grado de importancia. Velocidad de corrosión, como se expresa y se evalúa.

Durabilidad: corrosión húmeda o a temperatura ambiente

Clasificación de las formas de corrosión según la morfología del ataque. Corrosión uniforme o generalizada, galvánica, en hendiduras, bajo depósitos, por picaduras, intergranular, selectiva, erosión, bajo tensión y corrosión fatiga. Definición y forma en que se presenta, condiciones más propicias para su desarrollo, daño inherente, forma de evaluarlo y combatirlo.

Durabilidad: degradación y protección contra la corrosión

Protección contra la corrosión húmeda, actuando sobre el metal, el medio y/o la intercara metal/medio. Ejemplos de aplicaciones en cada caso. Acciones sobre el metal, reglas de diseño. Implementación de la protección catódica y anódica. Acciones sobre la intercara: se aísla el metal del medio aplicando recubrimientos protectores. Acciones sobre el medio (uso de inhibidores para disminuir la agresividad del medio).

Fenómeno de degradación superficial de materiales cerámicos, causas que la originan, aplicaciones (refractarios cerámicos, hormigón

Código:PFIRM778CJEICRkW/qJ58wYZUeNkcI. Permite la verificación de la integridad de este documento electrónico en la dirección: <a href="https://pfirma.us.es/verifirma">https://pfirma.us.es/verifirma</a>			
FIRMADO POR	REGINA NICAISE FITO	FECHA	16/05/2018
ID. FIRMA	PFIRM778CJEICRkW/qJ58wYZUeNkcI	PÁGINA	5/8

armado, vidrios y cerámicas avanzadas), formas de evitar o retardar la degradación, materiales alternativos. Mecanismos de degradación en los polímeros, dependiendo de los fenómenos físicos y químicos (no electroquímicos) que ocurren bajo determinadas condiciones medioambientales y sus posibles consecuencias: 1) efecto de los disolventes (hinchamiento y disolución) y 2) escisión o rotura de los enlaces o alteración de la composición química (ataque por reactivos químicos, efecto de la radiación, degradación térmica, biológica y mecánica).

Resolución de problemas de corrosión

Se resolverán problemas de corrosión relacionados con: la ecuación de Nerst y la ley de Faraday.

Fenómenos de fragilización -clase 34 (1 h)

Crecimiento de grieta asistido por el medio: metales (corrosión bajo tensión), cerámicas (fatiga estática) y polímeros (tensofisuración).

Definición y forma en que se presenta, condiciones más propicias para su desarrollo, daño inherente, forma de evaluarlo (normas que se aplican) y combatirlo. Ejemplo de materiales y aplicaciones. Fenómenos de fragilización por: hidrógeno, irradiación (ultravioleta y de neutrones), contacto con un metal líquido, corrosión intergranular, la cavitación y fisuración a altas temperaturas, la formación en los límites de granos de fases vítreas, la presencia de impurezas, envejecimiento tras la deformación, durante el revenido, etc.

Comportamiento tribológico

Definición de tribología ¿Qué debemos medir para caracterizar el comportamiento tribológico de un material? Objetivos e importancia de estudiar éste para los materiales con aplicaciones en ingeniería. Definición de fricción, coeficiente de rozamiento estático y dinámico y su relación con la rugosidad superficial, la carga, la velocidad, la temperatura en el contacto y el uso de lubricantes. Ensayos de resistencia al desgaste: de campo, de componentes y de laboratorio. Definir resistencia al desgaste, tipos y mecanismos de desgaste. Definir que es un tribosistema y los parámetros que lo caracterizan: 1) materiales en contacto, 2) rugosidad de la superficie, 3) geometría y configuración del contacto, 4) movimiento relativo, 5) carga aplicada, 6) velocidad de deslizamiento, 7) lubricación y 8) condiciones externas. Ensayos de desgaste ¿Cuál es el ensayo más apropiado para una aplicación en cuestión? Ensayo de pin on disk [ASTM G 99 – 04 (bola, pin, o disco sobre disco)] y lineal [ASTM G 133 – 02 (bola sobre plato)]. Procedimiento experimental, formas de procesar y representar los resultados. Cinética de desgaste (coeficiente de desgaste absoluto y normalizado). Definición de límite ingenieril. Influencia de los mecanismos de endurecimiento y la familia de material en la resistencia al desgaste. Selección de materiales de contacto (aplicaciones, problemática, ejemplos y recomendaciones).

Soluciones tribológicas. Recubrimientos estructurales

Soluciones tribológicas: 1) empleo de lubricantes. Norma ASTM D 2783 – 03 (cuatro bolas) para evaluar las propiedades de un lubricante bajo condiciones de presión extremas, 2) tratamientos térmicos (temple superficiales, cementación, nitruración, y carbonitruración), 3) mecánicos (granallado) y/o 4) recubrimientos superficiales [electroquímicos, fusión (proyección térmica, por soldadura), y en fase vapor (PVD y CVD)]. Recubrimientos estructurales: funcionalidad (ventajas), tipos y estructuras, técnicas de deposición (temperatura vs espesor del recubrimiento). Existe una estrecha relación entre los parámetros de deposición (temperatura, tiempo, características del plasma) las características del sustrato (composición, microestructura, topografía) y del recubrimiento y las propiedades tribomecánicas para una aplicación en cuestión (componente, herramienta de conformado o mecanizado). Técnicas de caracterización de recubrimientos ¿Qué evaluamos con el ensayos de rayado (scratch test) y el de micro y nanoindentación instrumentada? Principio de funcionamiento, aplicaciones y valores típicos de los parámetros evaluados.

Estrategias de diseño de materiales

Criterios generales de las estrategias de diseño de materiales. Tendencias de diseño de piezas, componentes y estructuras. Describir en detalle las diferentes estrategias de diseño de piezas, componentes y estructuras: 1) diseño en el que la deformación es limitada y a la vez es pequeña, 2) diseño basado en el límite elástico (fluencia), 3) colapso plástico controlado, 4) diseño basado en la tenacidad de fractura del material y 5) diseño basado en la implementación del diagrama de análisis de fractura (DAF). Finalmente se abordaran otros tipos de diseño, como los que hagan frente al creep, al desgaste, al choque térmico, a la presencia de grietas pequeñas e impactos a baja temperatura, así como los basados en el precio, las propiedades funcionales, la replica de estructuras naturales, etc.

Criterios de selección de materiales

Criterios generales de selección de materiales en términos de: propiedades, relación coste/propiedad específica, y coste/tecnología de fabricación (ahorro energético), reciclaje (impacto social) y consideraciones estéticas (marketing - ventas). Selección de Materiales siguiendo el método Ashby. Importancia de la selección de materiales. Técnicas de clasificación. Objetivos. Análisis en el marco del diseño de un producto: coste de éste, diseño técnico e industrial. Carácter de los productos: contexto, "fisiología" y "psicología". Introducción al diseño, claves del mismo: ¿De qué y cómo lo hacemos? Esquema del diseño. Etapas generales del método de selección de materiales.

Planteamiento e implementación, a partir de ejemplos resueltos, de los pasos del método: 1) identificar la función, restricciones, objetivos y variables libres, 2) escribir ecuaciones para el/los objetivo/s, 3) deducir la combinación de propiedades del material que maximiza las prestaciones (índice del material) y 4) escoger los candidatos.

Resolución de problemas aplicando el diagrama de análisis de fallo

Concentradores de esfuerzos. Evaluación de la tenacidad de fractura: condición de deformación plana y tamaño crítico. Aplicación del diagrama y la metodología del análisis de fractura, DAF, en la estimación de la fiabilidad de una pieza, componente o estructura agrietada. PRÁCTICAS DE LABORATORIO (todas de 1,5 h)

SEMANA 4: P1 - Evaluación de la templabilidad del acero (Ensayo Jominy)

Objetivo, recordar los parámetros que afectan a la templabilidad del acero, explicar y ejecutar la metodología experimental del ensayo Jominy: austenización de una probeta cilíndrica, templado con un chorro de agua sobre una de sus bases y medida de la dureza a lo largo de la generatriz de la muestra templada. Normas ISO 6507-1 (Materiales metálicos. Dureza Vickers) e ISO 6508-1,2 y 3 (Materiales metálicos. Dureza Rockwell).

SEMANA 5: P2 - Materialografía de materiales empleados en ingeniería

Diagramas de fase, observar las microestructuras (microscopio óptico), comentar los tratamientos térmicos, las propiedades, y las aplicaciones de las fundiciones (blancas, maleables, grises y nodulares, con matrices diferentes dependiendo de la velocidad de enfriamiento), aceros inoxidables (ferríticos, austeníticos, martensíticos y dúplex), aceros para hormigón armado (tratamiento tempcore: temple superficial y autorevenido) y materiales para herramientas (aceros al carbono, aceros bonificados, aceros rápidos, aceros de alta resistencia y WC-Co; diferenciar entre herramientas de conformado y mecanizado, así como la elección según la temperatura y velocidad de trabajo).

SEMANA 7: P3 – Resistencia al choque térmico

¿De qué depende la respuesta de un material frente al choque térmico? Formas de evaluarlo. Criterios de diseño y puntos que deben ser considerados en el diseño de elementos o componentes en términos de choque térmico. Medir la resistencia al choque térmico (distancia media entre fisuras vs T) de un material cerámico convencional (plato) y uno estructural (circona). Se evalúan cinco T diferentes, se emplea líquidos penetrantes para revelar la red de fisuras superficial y finalmente se determina el umbral de choque térmico para cada

Código:PFIRM778CJEICRkW/qJ58wYZUeNkCI.			
Permite la verificación de la integridad de este documento electrónico en la dirección: <a href="https://pfirma.us.es/verifirma">https://pfirma.us.es/verifirma</a>			
FIRMADO POR	REGINA NICAISE FITO	FECHA	16/05/2018
ID. FIRMA	PFIRM778CJEICRkW/qJ58wYZUeNkCI	PÁGINA	6/8

material.

SEMANA 8: P4 – Empleo de técnicas de indentación para la caracterización de materiales frágiles

Aplicaciones de las técnicas de indentación de forma general: evaluación de la tenacidad de fractura (microfractura por indentación, Método IM), dureza Vickers, módulo de Young (Curvas P vs h), presencia de tensiones residuales y crecimiento de grieta asistido por el medio (fatiga estática) ¿Qué pasa si yo realizo una indentación Vickers en un material frágil? Tipos de grietas (radiales y Palmqvist). Requisitos, ventajas y desventajas. La K<sub>1c</sub> se evalúa en dos calidades de WC-Co (poco y mucho contenido de fase ligante) y para diferentes cargas de indentación aplicada, mientras que el crecimiento de grieta asistido por el medio se estudia en un vidrio de ventana (en aire y aceite).

SEMANA 9: P5 – Resistencia a la corrosión

Evaluar las diferencias entre las zonas anódica y catódica durante la corrosión superficial de un acero al carbono, usando el reactivo ferroxil. Preparación del reactivo químico ¿Qué ocurre? cambio de color de la fenoltaleína y del ferricianuro potásico. La formación de iones oxhidrilo en las zonas catódicas hace enrojecer la fenoltaleína. Mientras que los iones ferrosos (presentes en las zonas anódicas) se combinan con el ferricianuro potásico, formando ferricianuro ferroso de color azul intenso. Implementación de este procedimiento experimental a los siguientes casos:

- 1) formación de pilas de aireación diferencial, 2) deformación en frío en zonas localizadas (corrosión bajo tensión) y 3) unión de dos metales distintos (corrosión galvánica)

SEMANA 10: P6 – Evaluación del Módulo de Young dinámico (ultrasonidos)

Formas de modificar el E de un material, hacer énfasis en la introducción de materiales porosos. Aplicaciones de materiales porosos (cojinetes auto lubricados, implantes corporales, etc.). Características de la porosidad a considerar y su papel en el comportamiento mecánico. Evaluar la porosidad total e interconectada mediante el método de Arquímedes en inmersión de agua destilada. Principio de funcionamiento y uso del equipo de ultrasonido para evaluar el Módulo de Young dinámico de materiales porosos. Aplicación a piezas de aluminio y titanio, para 3 condiciones diferentes (macizo, 30 % y 50 % de porosidad).

SEMANA 12: P7 – Análisis de fallo: ingeniería forense

Principios + metodología de la diagnosis + ejemplos reales

Objetivo final: determinar las causas y establecer los posibles “remedios” al problema (rotura en servicio de una pieza, componente o estructura). Comentar los diferentes motivos para realizar estudios de este tipo: económicos (reclamaciones de los seguros y los fabricantes), legales (civil-dinero, o penal-muerte), y científico-técnico. Fases de la vida de una pieza y efecto retroalimentador de la diagnosis de fallos (metodología de análisis), tipos de fallos, y ejemplos reales, clasificados en base al tipo de sollicitación responsable del daño: sollicitaciones mecánicas, térmicas, y tribológicas, así como por corrosión en medios acuosos. Nota: cada profesor, además de los casos reales genéricos presentados, podrá comentar alguno según su experiencia científico-técnica y/o industrial.

SEMANA 13: P8 – Selección de materiales

Motivación: los ingenieros hacen cosas para lo cual necesitan materiales y por tanto, precisan conocer no solo las propiedades de los materiales de ingeniería (su expansión y perspectivas) sino saber como seleccionarlos e implementarlos correctamente utilizando criterios de diseño y selección adecuados. El CES EduPack es una herramienta informática que ayuda a alcanzar los objetivos anteriores y sirve además de ayuda a tareas como el CAD y el FEM. Estructura de las bases de datos de dicho programa, tipos y formas de hacer las graficas (barras y globos), estrategia de selección: 1) definir los requisitos de diseño, identificar las limitaciones que debe cumplir y el objetivo que se desea, 2) descartar todos los materiales que no cumplan con alguna de las restricciones, 3) hacer un ranking de mayor a menor con los que cumplan y 4) recopilar la información que nos permita un análisis con mayor profundidad. Finalmente, se presentarán una serie de ejemplos que serán tratados usando el programa.

## ACTIVIDADES FORMATIVAS

### Relación de actividades formativas del cuatrimestre

#### Clases teóricas

Horas presenciales: 48.0

Horas no presenciales: 72.0

#### Metodología de enseñanza-aprendizaje:

La materia se impartirá mediante clases teóricas magistrales, sesiones de resolución de problemas clásicos y prácticos, visionado de vídeos de aplicaciones, estudio de casos de fallo bajo condiciones reales de servicio, manejo de software de diseño y selección de materiales, así como de equipos, técnicas y protocolos de control de calidad en laboratorio y campo. Más detalladamente se emplearán las siguientes técnicas docentes:

1. Clases expositivas teórico/práctica
2. Tareas de aplicación o ejercicios (problemas)
3. Prácticas de laboratorio/talleres
4. Tutorías generales/especializadas
5. Exámenes escritos

Nota: para estudiantes con necesidades especiales (estudiantes extranjeros, estudiantes con alguna discapacidad,...), se facilitará bibliografía adicional en inglés u otro idioma, así como se dedicarán horas de tutoría adicionales y especializadas a cada caso en particular. Adicionalmente, si es necesario, el examen se realizará de forma independiente y tendrá mayor duración

Código:PFIRM778CJEICRkW/qJ58wYZUeNkcI. Permite la verificación de la integridad de este documento electrónico en la dirección: <a href="https://pfirma.us.es/verifirma">https://pfirma.us.es/verifirma</a>			
FIRMADO POR	REGINA NICAISE FITO	FECHA	16/05/2018
ID. FIRMA	PFIRM778CJEICRkW/qJ58wYZUeNkcI	PÁGINA	7/8

Horas presenciales: 12.0

Horas no presenciales: 18.0

### SISTEMAS Y CRITERIOS DE EVALUACIÓN Y CALIFICACIÓN

**La evaluación de la asignatura se realizará mediante exámenes finales, según las convocatorias oficiales o mediante un examen extra (evaluación alternativa).**

Los mismos, en cualquiera de sus modalidades y convocatorias, serán escritos y comprenderán TRES partes:

PRIMERA PARTE, en forma de 15 preguntas objetivas (test) de elección múltiple sobre las prácticas de laboratorio. Su peso sobre la calificación final será de 1,5 puntos sobre 10.

SEGUNDA PARTE, en forma de 45 preguntas objetivas (test) de elección múltiple sobre los contenidos tratados en las clases de teoría. Su peso sobre la calificación final será de 4,5 sobre 10.

TERCERA PARTE, consistente en la resolución de 3 problemas clásicos (relacionados tanto con el contenido de la teoría como el de prácticas de laboratorio). Su peso sobre la calificación final será de 4 puntos sobre 10.

El examen se considerará aprobado cuando, una vez sumada la puntuación (sea cual sea) de todas las partes, en la misma convocatoria, se superen los 5 puntos.

Nota importante: la asistencia a las prácticas de laboratorio es obligatoria (solo se permite una falta justificada)

Observaciones:

La puntuación en los test se obtiene mediante un reparto proporcional. Así, en la PRIMERA y SEGUNDA PARTE, la mitad de los puntos asignados (0.75 y 2.25 puntos, respectivamente) se corresponden con el 50% de respuestas correctas, una vez aplicada la oportuna corrección de probabilidad de acierto al azar. Asimismo, en el caso de exámenes de carácter especial, por coincidencia con fechas de otros exámenes, etc., las pruebas podrán ser escritas y/u orales, y el cambio de la fecha de evaluación podrá realizarse previa solicitud en los plazos establecidos, siempre que los estudiantes se encuentren en alguna de las situaciones excepcionales descritas en las normativas de la US y la EPS. Las notas se publicarán en la Plataforma Virtual de la Universidad y en el tablón de anuncios físicos del departamento de la EPS. Asimismo, la solución de los problemas planteados en el examen (PARTE III), serán publicados en los medios electrónicos anteriores.

Código:PFIRM778CJEICRkW/qJ58wYZUeNkcI. Permite la verificación de la integridad de este documento electrónico en la dirección: <a href="https://pfirma.us.es/verifirma">https://pfirma.us.es/verifirma</a>			
FIRMADO POR	REGINA NICAISE FITO	FECHA	16/05/2018
ID. FIRMA	PFIRM778CJEICRkW/qJ58wYZUeNkcI	PÁGINA	8/8