

## **Máster Universitario en Integridad y Durabilidad de Materiales, Componentes y Estructuras**

**Universidades de Burgos, Cantabria y Oviedo**

### **Centro en el que se imparte (universidad de Oviedo):**

Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón

### **Presentación:**

El Máster interuniversitario en Integridad y Durabilidad de Materiales, Componentes y Estructuras que plantean de forma conjunta las universidades de Burgos, Cantabria y Oviedo pretende conferir a los graduados en ingeniería una formación especializada sobre el análisis del comportamiento en servicio de materiales y componentes industriales, desde el dimensionamiento y cálculo de los mismos, pasando por la selección del material o materiales adecuados y de sus procesos de fabricación, unión y protección. Se pondrá un especial énfasis en el estudio de los procesos de deterioro en servicio de todo tipo de componentes y materiales, como consecuencia de la actuación de cargas mecánicas, temperaturas extremas o de ambientes agresivos, así como de la presencia de defectos y en la interacción de todas estas acciones. Otro aspecto al que se le dedicará una atención especial será el análisis y valoración de los defectos existentes y el cálculo de la vida de los componentes en las diferentes situaciones de servicio (bajo cargas estáticas y dinámicas, a bajas y a altas temperaturas, en presencia de ambientes de mayor o menor agresividad) y el análisis de fallos de componentes reales variados, con objeto de proponer las medidas correctoras que eviten su repetición.

Con todo ello se formarán técnicos capaces de aplicar los amplios conocimientos existentes sobre estas temáticas particulares con objeto de diseñar, construir, ensamblar y mantener componentes y estructuras capaces de prestar un servicio seguro durante el periodo de vida de diseño previsto y acometer acciones encaminadas a alargar la vida de estos mismos componentes. Los conocimientos adquiridos podrán ponerse en valor en sectores industriales muy variados, tales como metal y materiales en general, químico y petroquímico, bienes de equipo, generación de energía, automoción, etc.

Con este fin se aprovechará la existencia de grupos de investigación que están trabajando con éxito en este campo en las tres universidades implicadas. Además se han establecido contactos con varios centros tecnológicos y de investigación que están desarrollando actividades destacables en este campo, además de con empresas interesadas en contar con técnicos especializados en todos estos temas.

**Duración y descripción de los estudios:**

La duración del Máster es de un año y corresponde al estudio de 60 créditos obligatorios distribuidos como sigue: Módulo básico (8 créditos), Integridad estructural (20 créditos), tecnologías auxiliares de carácter profesional (12 créditos), Módulo especializado (8 créditos) y Trabajo fin de Máster (12 créditos).

**Destinatarios:**

Graduados o profesionales de las empresas que deseen profundizar en los contenidos propios del Máster con el propósito principal de formar técnicos especialistas capaces de liderar en el futuro las innovaciones científicas y tecnológicas que se concretan en aumentar la seguridad en el servicio de los componentes e instalaciones industriales, evitar fallos y accidentes, aumentar la vida útil de las citadas instalaciones y utilizar de la mejor manera posible los materiales disponibles.

**Requisitos de acceso:**

Para acceder a las enseñanzas oficiales de este Máster será necesario estar en posesión de un título universitario oficial español de ingeniería superior, ingeniería técnica o licenciatura o un título expedido por una institución de educación superior del EEES de ingeniero o título equivalente. No se han establecido pruebas de acceso específicas para cursar este Máster.

**Criterios de admisión:**

El sistema de admisión hasta cubrir las 10 plazas correspondientes a la universidad de Oviedo se basará en el Curriculum Vitae del solicitante, valorándose especialmente el expediente académico y, también, la experiencia profesional, la participación en otros programas formativos, la movilidad durante sus estudios de grado y el conocimiento de los idiomas español e inglés.

**Tasas de matrícula:**

Precio orientativo (universidad de Oviedo): 26,54 €/crédito.

**Asignaturas:**

Módulo Básico:

ECTS

Materiales estructurales	UniOvi	Obligatoria	4
Teoría de la elasticidad y plasticidad	UBU	Obligatoria	4

Integridad Estructural:

Mecánica de la fractura	UniOvi	Obligatoria	4
Fatiga, corrosión bajo tensión y fluencia	UC	Obligatoria	4
Corrosión, oxidación, desgaste y protección	UBU	Obligatoria	4
Simulación numérica de materiales, componentes y estructuras	UBU	Obligatoria	4
Procedimientos de evaluación de la integridad estructural	UC	Obligatoria	4

Tecnologías auxiliares de carácter profesional:

Soldadura y otras tecnologías de unión	UniOvi	Obligatoria	4
Técnicas de inspección y ensayos no destructivos	UniOvi	Obligatoria	4
Análisis de fallos	UBU	Obligatoria	4

Módulo especializado:

Seminario avanzado I	---	Obligatoria	4
Seminario avanzado II	---	Obligatoria	4

Proyecto Fin de Master:

12 ECTS

(\*) Para el seguimiento de las asignaturas cuyo temario teórico se imparta desde otra universidad distinta a la de matrícula del alumno se utilizará un sistema de videoconferencia. Sin embargo, las clases prácticas de todas las asignaturas se impartirán en las tres universidades participantes.

(\*\*) Todas las asignaturas se impartirán asignando 20 horas a la exposición de los contenidos de las mismas junto a la realización de ejercicios de aplicación de los mismos y 10 horas más para la ejecución de trabajos prácticos en laboratorio, visitas a empresas, etc., además de las horas necesarias para realizar el trabajo individual del alumno y los trabajos en grupo solicitados en cada caso.

**Programas de las asignaturas:**

**Asignatura 1: Materiales estructurales, ME (Javier Belzunce, UO)**

Procesos de fabricación de piezas metálicas. Procedimientos de moldeo. Procesos de laminación y forja. Conformado plástico en caliente y en frío. Conformado a partir de polvos. Caracterización de defectos característicos.

Aceros estructurales al carbono. Influencia del contenido de carbono en las propiedades mecánicas de los aceros. Aceros microaleados y tratamientos termomecánicos. Tipos de aceros de construcción de baja/media resistencia mecánica.

Aceros tratados térmicamente. Curvas de transformación de la austenita. Tratamientos térmicos. Tipos de aceros de alta/muy alta resistencia mecánica.

Aceros de herramienta. Aceros para trabajos en frío. Aceros para trabajos en caliente. Aceros de corte rápido.

Aceros inoxidable. Aceros ferríticos. Aceros martensíticos. Aceros austeníticos. Aceros dúplex. Ventajas e inconvenientes de las diferentes familias.

Tratamientos térmicos superficiales. Cementación. Nitruración. Carbonitruración. Nitrocarburo. Otros tratamientos superficiales.

Fundiciones férricas. Fundiciones blancas. Fundiciones grises. Control y tipos de grafito. Tratamientos térmicos. Fundiciones especiales.

Aleaciones ligeras. Principales aleaciones. Formas de endurecimiento. Tratamientos térmicos característicos. Aleaciones de aluminio. Aleaciones de magnesio. Aleaciones de titanio.

Plásticos de uso en ingeniería. Tipos de plásticos estructurales. Propiedades térmicas y mecánicas. Otras propiedades. Plásticos reforzados. Procesos de conformado de piezas de plástico.

Cerámicas de uso en ingeniería. Procesos de conformado de cerámicas. Propiedades mecánicas de las cerámicas. Cerámicas técnicas.

Materiales para usos a temperaturas extremas. Bajas temperaturas. Temperatura de transición dúctil-frágil. Materiales disponibles. Materiales para usos a alta temperatura. Problemas de fluencia y oxidación. Materiales disponibles.

**Asignatura 2: Teoría de la Elasticidad y Plasticidad, TEP (Jesús Alegre, UBU)**

Conceptos Fundamentales de la Mecánica de Sólidos. Análisis de tensiones. Tensor de tensiones. Ecuaciones de equilibrio. Tensión en una dirección cualquiera. Tensiones y direcciones principales. Representaciones de Mohr. Análisis de deformaciones. Grandes deformaciones y pequeñas deformaciones. Tensor de deformaciones. Ecuaciones de compatibilidad. Medida experimental de deformaciones.

Elasticidad. Energía de deformación elástica. Ecuaciones constitutivas de la elasticidad lineal. Elasticidad lineal anisótropa. Elasticidad no lineal.

Plasticidad - I. Aspectos generales y Mecanismos de deformación. Aspectos fenomenológicos de la plasticidad. Mecanismos de deformación plástica. Tensión, compresión y comportamiento cíclico de metales.

Plasticidad - II. Criterios y Ecuaciones de comportamiento. Criterios de plastificación para materiales isótropos y anisótropos. Ecuaciones constitutivas de la plasticidad: teoría de las

deformaciones incrementales y de las deformaciones totales. Reglas de endurecimiento (endurecimiento isotrópico, endurecimiento cinemático).

Plasticidad – III. Estudio de casos prácticos. Técnicas numéricas en plasticidad. Aplicaciones prácticas de la plasticidad.

### **Asignatura 3: Mecánica de la Fractura, MF (Inés Peñuelas, UO)**

Introducción a la mecánica de la fractura: Concepto de Integridad estructural. Concepto de cálculo convencional frente a concepto de cálculo a fractura. Concepto de tenacidad a la fractura y Modos de carga. Perspectiva histórica e impacto social. Tipos de fractura.

Tenacidad y micromecanismos de fallo. Tenacidad al impacto. Curva de transición dúctil-frágil. Factores influyentes en la tenacidad de los materiales. Micromecanismos de fractura dúctil y frágil. Tensión teórica de clivaje. Teoría de Griffith.

Mecánica de la fractura elástica lineal (MFEL). Criterio energético de fractura. Análisis tensional. Factor de Intensidad de tensiones: Cálculo experimental y numérico. Relación entre G y K. Modo mixto. Criterio tensional de fractura. Plasticidad en el frente de grieta y condiciones de validez de MFEL. Ensayos para determinación de la Tenacidad a la a fractura en distintos materiales. MFEL biparamétrica. Estados tensionales biaxiales. La tensión T y parámetro de biaxialidad. Curvas R: Criterio de fractura.

Mecánica de la fractura elastoplástica (MFEP). Conceptos generales. El parámetro CTOD: determinación experimental y curvas de diseño basadas en el CTOD. La integral J: J como parámetro energético, J como integral de contorno y J como parámetro tensional. Campos HRR. Determinación experimental de J. Relación entre J y el CTOD. Resistencia al avance de las grietas: Curvas J-R. Ensayos normalizados. Aplicación de la integral J al cálculo estructural: Procedimiento EPRI. Limitaciones de la mecánica de la fractura elastoplástica. MFEP biparamétrica: El parámetro Q.

Mecánica de la fractura dinámica. Cargas dinámicas. Propagación rápida y/o parada de grieta. Parámetros elastodinámicos y tenacidad dinámica:  $K_{I,d}$ . La integral J dinámica:  $J_{I,d}$ .

### **Asignatura 4: Fatiga, corrosión bajo tensión y fluencia, FCBTyF (J.Alberto Alvarez Laso, UC)**

Fatiga. Deformación cíclica. Aproximación tensional .Aproximación de deformaciones Daño por fatiga. Defectos admisibles y vida a fatiga. Diseño. Fatiga térmica y termomecánica. Mecanismos de propagación de grietas por fatiga. Variables metalúrgicas. Casos: propagación de grietas en diferentes materiales: cerámicos, plásticos, compuestos

Corrosión bajo tensión. El fenómeno de la CBT. Modelos de fragilización. CBT en metales y aleaciones. Cálculo de propagación y vida en componentes. Normativa y ensayos característicos. Corrosión-fatiga en aleaciones metálicas. CBT en otros materiales

Fluencia (creep). Fluencia en sólidos. Temperatura-tensión-Velocidad de deformación. Mecanismos de deformación .Mapas de fluencia. Relaciones paramétricas de extrapolación: Larson...

Aplicaciones. Casos prácticos y manejo de normativa

**Asignatura 5: Corrosión, oxidación, desgaste y protección, CODyP (Pedro Bravo, UBU)**

Aspectos generales de la corrosión. Corrosión electroquímica. Celdas galvánicas. Cinética de la corrosión acuosa. Oxidación de metales. Medida de velocidades de corrosión y oxidación.

Degradación de metales: Corrosión macroscópica. Corrosión acuosa. Corrosión atmosférica. Corrosión galvánica. Corrosión gaseosa a alta temperatura. Corrosión por picaduras. Corrosión en hendiduras. Corrosión filiforme. Corrosión por sales fundidas. Corrosión por metales fundidos.

Degradación de metales: Fragilización. Fragilización inducida por metales fundidos. Fragilización inducida por materiales sólidos. Fragilización por irradiación. Fragilización térmica. Fragilización por hidrógeno.

Degradación de metales: Desgaste y corrosión asistida. Tipos de desgaste. Corrosión-desgaste. Corrosión-erosión. Corrosión bajo tensión. Corrosión-fatiga. Corrosión por microorganismos

Ensayos y evaluación de la corrosión. Métodos electroquímicos de ensayo de corrosión. Ensayos en cámara de corrosión. Ensayos de simulación en servicio. Evaluación de la corrosión.

Degradación de polímeros. Clasificación de polímeros estructura y propiedades. Degradación por ataque químico. Degradación térmica. Degradación por radiación. Degradación ultravioleta. Biodegradación.

Recubrimientos Protectores. Tipos de recubrimientos. Preparación de la superficie y aplicación del recubrimiento. Selección del recubrimiento adecuado.

Degradación de Recubrimientos. Descripción y detección de los mecanismos de degradación. Susceptibilidad a la degradación de los recubrimientos. Mitigación de la degradación de los recubrimientos.

Otros métodos de protección contra la corrosión. Protección catódica. Protección anódica. Inhibidores de la corrosión.

Diseñando para controlar y prevenir la corrosión.

**Asignatura 6: Simulación numérica de materiales, componentes y estructuras, SN (Iván Cuesta, UBU)**

Introducción a la simulación numérica de materiales, componentes y estructuras.

El método de los elementos finitos. Programas de EF en la actualidad. Etapas de análisis: Preproceso, análisis y postproceso. Estrategias de simulación. Creación de Macros y subrutinas.

Simulación numérica de la plasticidad. Conceptos teóricos previos. Simulación numérica en plasticidad. Ejemplos de aplicación.

Simulación numérica en la mecánica de fractura elástico lineal. Conceptos teóricos previos. Simulación numérica de la MFEL. Ejemplos de aplicación.

Simulación numérica en la mecánica de fractura elasto-plástica. Conceptos teóricos previos. Simulación numérica de la MFEP. Ejemplos de aplicación.

Simulación de la propagación de fisuras por fatiga. Conceptos teóricos previos. Simulación numérica de la propagación de la fisura. Desarrollo de macros. Ejemplos de aplicación.

Simulación de los modelos de daño. Conceptos teóricos previos. Modelos de daño. Simulación numérica de los modelos de daño. Ejemplos de aplicación.

**Asignatura 7: Procedimientos de evaluación de integridad estructural, PEIE (J.Alberto Alvarez Laso, UC)**

Introducción a los procedimientos de evaluación de integridad estructural. ¿Qué es un procedimiento de evaluación de integridad estructural? Estructura de un procedimiento. Principales procedimientos en uso de integridad estructural.

Técnicas de evaluación de integridad estructural en fractura/colapso plástico. Diagrama de Fallo (FAD). Diagrama de fuerza motriz de agrietamiento (CDFD). Análisis de iniciación vs. Análisis de desgarro.

Técnicas de evaluación de integridad estructural en fatiga. Fatiga de elementos no fisurados (soldados, no soldados). Fatiga de elementos fisurados.

Técnicas de evaluación de integridad estructural en creep. Fluencia de elementos no fisurados. Fluencia de elementos fisurados.

Técnicas de evaluación de integridad estructural en deterioro ambiental. Evaluación de procesos de corrosión bajo tensión. Evaluación de pérdidas de espesor por corrosión. Modelos de fragilización (hidrógeno, irradiación neutrónica).

Opciones de análisis especiales o avanzadas. Fuga antes de rotura. Materiales disimiles. Análisis de entallas.

Software para evaluaciones de integridad estructural.

**Asignatura 8: Soldadura y tecnologías de unión, SyTU (Cristina Rodríguez, UO)**

Principales tecnologías de unión. Uniones roblonadas y atornilladas. Uniones adhesivas. Uniones soldadas: Continuidad ventajas e inconvenientes. Tipos de juntas y nomenclatura utilizada en soldadura. Nomenclatura utilizada en soldadura.

Procesos de soldeo más utilizados industrialmente. Soldeo con electrodos revestidos, Soldeo semiautomático, Soldeo por arco sumergido, Soldeo por láser, soldeo por resistencia. Otras técnicas de soldeo

Ciclo térmico de soldeo. Características generales. Factores que afectan al ciclo térmico de soldeo: tipo de material a soldar, espesor y tamaño de las piezas, geometría de la unión, aporte térmico, precalentamiento y post-calentamiento, procedimiento de soldadura, técnica operatoria.

Zonas de la unión soldada. Metalurgia de la soldadura. La zona fundida: fenómenos de dilución. La zona afectada térmicamente (ZAT): Transformaciones durante el calentamiento y durante el enfriamiento. Partes de la ZAT

Tensiones térmicas y fisuración. Tensiones y deformaciones debidas al ciclo térmico de la soldadura: Medidas para minimizarlas. Fisuración en caliente y fisuración en frío. Desgarre laminar. Tratamiento térmicos post-soldeo.

Soldabilidad de aceros y otras aleaciones metálicas. Definición de Soldabilidad metalúrgica. Factores influyentes. Soldabilidad de los aceros de baja y media aleación. Soldabilidad de aceros inoxidables. Soldabilidad de otras aleaciones metálicas.

Microestructuras y defectos en la unión soldada. Metalografía de la unión soldada. Microestructuras típicas de las diferentes zonas. Defectos típicos de las distintas zonas de la unión soldada.

Diseño y cálculo de uniones soldadas. Factores que influyen en la elección del tipo de junta. Diseño y cálculo de uniones bajo carga estática.

Diseño y cálculo de uniones bajo cargas de fatiga. Categoría de detalle. Ejemplos.

Especificación y cualificación de uniones soldadas y soldadores. Control de calidad en la soldadura. Especificación de un procedimiento de soldadura. Cualificación de uniones soldadas y de soldadores según norma Europea.

Ensayos destructivos utilizados en soldadura. Ensayos mecánicos más utilizados en la caracterización de uniones soldadas: tracción, dureza, plegado, impacto.

### **Asignatura 9: Técnicas de inspección y ensayos no destructivos, TlyEND (AdQ)**

Control de calidad e introducción a los ensayos no destructivos: Naturaleza y aplicación de los ensayos no destructivos. Etapas básicas de la inspección. Factores económicos.

Inspección visual: Aspectos generales. Cualificación del personal. Defectos detectables. Evaluación de los defectos.

Inspección mediante líquidos penetrantes: Materiales y equipos. Proceso de inspección. Criterios de aceptación.

Inspección mediante partículas magnéticas: Fundamentos del método. Sistemas de magnetización. Partículas magnéticas. Desmagnetización. Interpretación de las indicaciones. Criterios de aceptación.

Inspección radiográfica utilizando rayos X y rayos g: Fuentes de radiación. Procedimientos y técnicas de actuación. Factores geométricos. Factores de exposición. Sensibilidad y calidad de imagen. Discontinuidades. Nivel de aceptación.

Inspección mediante técnicas ultrasónicas: Equipos y ondas ultrasónicas. Reflexión y transmisión y atenuación. Calibración. Técnicas operatorias. Normativa aplicable.

Otras técnicas de inspección: Corrientes inducidas. Emisión acústica. Interferometría holográfica. Técnicas TOFD.

Cualificación del personal: Niveles de calificación. Requisitos de los candidatos. Exámenes de calificación. Certificación y renovación.

### **Asignatura 10: Análisis de fallos, AF (Sergio Cicero, UC)**

Introducción al Análisis de Fallos. Importancia de los fallos en servicio. Fundamentos básicos del análisis de fallos.

Fractura, Fatiga, Creep y CBT en el Análisis de Fallos.

Herramientas del Análisis de Fallos. Caracterización química y mecánica. Técnicas de microscopía. Análisis tensional y el método de los elementos finitos. Sistemas de detección de defectos. Procedimientos de Integridad Estructural.

Casos prácticos. Resolución de casos reales. Medidas correctoras y preventivas. Forma de evitar fallos futuros en estas mismas instalaciones.



### **Asignaturas 11 y 12. Seminarios avanzados I y II, SA I y SA II**

Los seminarios avanzados consistirán en el desarrollo de temas avanzados relativos a la integridad estructural, que comprenderán temas especializados, temas en la frontera del conocimiento o temas nuevos de reciente aplicación profesional, que serán desarrollados e impartidos por profesores especialistas en esas materias. Estos seminarios se impartirán de modo rotativo en las tres universidades participantes.

### **Trabajo Fin de Máster (TFM):**

El Proyecto Fin de Máster consistirá en la realización por parte de cada estudiante, de forma individual, de un trabajo teórico-experimental de investigación o de innovación profesional dirigido por un tutor profesor del Posgrado. El estudiante deberá resumir el trabajo desarrollado en una Memoria, que incluirá necesariamente los objetivos y antecedentes del estudio, la descripción del proceso experimental realizado, los resultados obtenidos, una discusión de los mismos, las conclusiones y la relación de las referencias bibliográficas utilizadas en su elaboración. Finalmente el trabajo será presentado oralmente por el estudiante en sesión pública ante un Tribunal.

### **Programación curso 2012-2013**

#### Cuatrimestre 1:

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
18 a 19.30 h	MF	TEP	SyTU	FCBTyF	Prácticas Lab
19.30 a 21 h	ME	CODyP	TlyEND	Prácticas Lab	Prácticas Lab

#### Cuatrimestre 2:

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
18 a 19.30 h	PEIE	SN	AF	Prácticas Lab	Prácticas Lab
19.30 a 21 h	AF	SN	PEIE	Prácticas Lab	Prácticas Lab

### **Empresas y centros colaboradores:**

Las empresas y entidades colaboradoras que se citan a continuación han expresado su compromiso para proponer Trabajos Fin de Master, que podrán ser llevados a cabo tanto en sus instalaciones (previa firma de un contrato en prácticas), como en las universidades participantes.

- Arcelor-Mittal (<http://www.arcelormittal.com>)
- Felguera Calderería Pesada (<http://www.durofelguera.com>)
- IDESA (<http://www.idesa.net>)
- Asturfeito (<http://www.asturfeito.com>)

- AST Ingeniería (<http://www.ast-ingenieria.com>)
- Natec Ingenieros (<http://www.natec-ingenieros.com>)
- Zitron S.A. (<http://www.zitron.com>)
- AD Qualitas
- Grupo Antolín (<http://www.grupoantolin.com>)
- Equipos Nucleares (<http://www.ensa.es>)
- NC-Hyperbaric (<http://www.nchyperbaric.com>)
- Inesco Ingenieros S.A. (<http://www.inescoingenieros.com>)
- ALEMAG
- APIA S.A.
- Fundación ITMA (<http://www.itma.es>)
- Instituto Tecnológico de Castilla y León (<http://www.itcl.es>)
- Centro Tecnológico de Cantabria (<http://www.ctc.es>)

**Contacto (universidad de Oviedo):**

F. Javier Belzunce Varela, Edificio Este, campus de Gijón.

Tf: 985182024, 650224803.

e-mail: belzunce@uniovi.es