

# XXIV

## CONGRESO NACIONAL INGENIERÍA MECÁNICA

LAS PALMAS DE GRAN CANARIA

25 | 27 octubre 2023



**Anales de Ingeniería Mecánica**  
**Revista de la Asociación Española de Ingeniería**  
**Mecánica**  
**Año 23, Las Palmas de Gran Canaria, Octubre 2023**



**XXIV**  
**CONGRESO NACIONAL**  
**INGENIERÍA MECÁNICA**  
25 | 27 octubre 2023

**ULPGC**  
Universidad de  
Las Palmas de  
Gran Canaria



LAS PALMAS DE GRAN CANARIA

# LIBRO DE RESÚMENES

**XXIV CONGRESO NACIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA  
(CNIM 2023)**

**Organizado por el Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC) y celebrado en el Campus Universitario de Tafira, Escuela de Ingenierías Industriales y Civiles de la ULPGC en Las Palmas de Gran Canaria, los días 25, 26 y 27 de Octubre de 2023**

<https://laspalmas.congresoseci.es/cnim>

# XXIV

## CONGRESO NACIONAL INGENIERÍA MECÁNICA

25 | 27 octubre 2023

 **ULPGC**  
Universidad de  
Las Palmas de  
Gran Canaria



LAS PALMAS DE GRAN CANARIA

**Editado por el Comité Organizador del CNIM 2023:**

**Alejandro Yánez Santana**  
**José Antonio Carta González**  
**Oscar Martel Fuentes**  
**Alberto Cuadrado Hernández**  
**Mario Monzón Verona**  
**María Paula Fiorucci**  
**Pedro Cabrera Santana**

**Departamento de Ingeniería Mecánica . Universidad de Las Palmas de Gran  
Canaria**

**ISSN: 0212-5072**

# ÍNDICE

## INFORMACIÓN GENERAL

Bienvenida	18
Consejo Rector de la Asociación Española de Ingeniería Mecánica AEIM	20
Comité Organizador	20
Comité Científico	21

## RESÚMENES DE PRESENTACIONES ORALES

### SESIONES PARALELAS I

#### Mecánica y Cinemática Computacional (1)

Influencia de la fase de engrane y los errores variables en el tiempo en la respuesta dinámica de una transmisión planetaria	24
--	----

Efecto de los errores variables en el tiempo en transmisiones planetarias de dientes rectos con diferencias en la fase de engrane	25
---	----

Caracterización mecánica de adhesivos de alta flexibilidad. Validación experimental en uniones	26
--	----

Estimador del IRI mediante medidas de aceleración embarcadas para cualquier rango de velocidad	27
--	----

Optimización de inyector Venturi para el transporte preciso de polvo mediante el método de elementos discretos y algoritmos genéticos	28
---	----

Análisis mediante Simulación Numérica de la influencia de la calidad del acero en componentes T-Stub	29
--	----

#### Mecánica de Fractura y Fatiga

Soluciones del Factor de Intensidad de Tensiones (FIT) para defectos elípticos en un cuerpo semi-infinito sometido a tracción	30
---	----

Modelo numérico para el estudio del comportamiento dinámico de una viga rotatoria fisurada	31
--	----

Predicción de la vida a fatiga de laminados gruesos de CFRP taladrados mediante termografía infrarroja bajo diferentes niveles de carga	32
Comportamiento balístico de paneles FML de acero inoxidable y fibra de vidrio	33
Nuevos materiales termoestables reciclables y autoreparables: vitrímeros con propiedades viscoelásticas ajustables para el control de la fluencia y rápida relajación de tensiones	34
Ingeniería de Fabricación y Metrología (1)	
Caracterización mecánica de muelas de rectificado elásticas con aglomerante de caucho mediante ensayos de flexión	35
Estudio experimental de deformaciones y vibraciones del hilo en corte por electroerosión (WEDM)	36
Evaluación metrológica de electrodos micro-texturizados para EDM elaborados mediante fabricación aditiva y electroconformado	37
Propiedades mecánicas de termoplásticos reforzados por fibra de carbono unidos mediante ultrasonidos de forma continua	38
Influencia del tipo de refrigerante en el rectificado de Inconel 718 con muelas de cBN de diámetro pequeño	39
Fabricación y caracterización de materiales bioinspirados a partir de distintos materiales poliméricos	40
Comparativa de software de detección de la superficie para tomografía computarizada en aplicaciones metrológicas	41
Máquinas y Mecanismos (1)	
Diseño de manipuladores paralelos flexibles cuasi-traslacionales	42
Análisis cinemático y dinámico del dispositivo BALANCE para diagnóstico y rehabilitación	43
Diseño del hexápodo de ATHENA ISM	44
Análisis matemático de mecanismos subactuados para su implementación en manos protésicas	45
Evolución de la fatiga superficial en engranajes de acero al carbono	46

## SESIONES PARALELAS II

### Mecánica y Cinemática Computacional (2)

Un planteamiento para la síntesis dimensional óptima de mecanismos espaciales	47
Desarrollo de un procedimiento para la optimización topológica de estructuras de sección heterogénea	48
Reducción de un modelo dinámico no-lineal de viga mediante la técnica basada en datos DMDc	49
Optimización de topología para el diseño de estructuras reforzadas con fibra continua mediante Fabricación Aditiva	50
Análisis numérico de la formación de ondas estacionarias en lagos	51
Estudio estadístico de la influencia de los errores inherentes de fabricación en el Mesh Load Factor de transmisiones planetarias	52

### Ingeniería de Vehículos y Transporte (1)

Dispositivo para caracterización de superficie y validación de modelos de estimación de adherencia	53
Análisis de fuerzas longitudinales para el sistema de bajo nivel en el vehículo autónomo iCab	54
Modelo de caracterización de emisiones contaminantes emitidas por un vehículo ligero en conducción urbana	55
Diseño de un sistema de control en pelotón heterogéneo para vehículos automatizados	56
SIMBIKE ELECTRIC, una herramienta para la simulación de motocicletas de competición eléctricas	57
Desarrollo de un nuevo procedimiento de inspección en ITV de frenos de servicio de tractores (vehículos de categoría T) basado en la obtención de la deceleración media	58

### Ingeniería de Fabricación y Metrología (2)

Modelado de la segregación del polvo en el proceso de fabricación aditiva Láser DED multi-material utilizando simulación CFD	59
Fabricación de componentes con diseños basado en 'microestructuras' mediante LPBF	60

Comportamiento a compresión de termoplásticos elastoméricos procesados por fabricación aditiva	61
Influencia de los gases de protección en el proceso WAAM de aluminio en la reducción de defectos y aumento de eficiencia del proceso	62
Comparativa de errores de forma, dimensiones y acabado superficial de elementos mecánicos impresos por Fabricación por Filamento Fundido	63
Optimización de la fabricación de sólidos celulares metálicos mediante FFFM para mejorar el rendimiento mecánico	64
<b>Máquinas y Mecanismos (2)</b>	
Desarrollo y análisis CFD de un sistema de extrusión de polímeros en formato pellet para usos biosanitarios	65
Reducción de los Factores de Concentración de Tensiones en Ajustes por Interferencia con Agujeros Achaflanados	66
Análisis de distribución de carga en husillos a bolas para altas cargas mediante modelos de elementos finitos optimizados	67
Análisis de la vibración de baja frecuencia en el proceso de degradación de rodamientos de bolas	68
Influencia de la profundidad de rebaje en la rigidez, reparto de carga y error de transmisión de engranajes rectos con desgaste	69
Estudio de reversibilidad de una reducción epitrocoidal	70
<b>SESIONES PARALELAS III</b>	
<b>Mecánica Experimental</b>	
Determinación de configuraciones óptimas de sensores de deformación para la estimación de cargas individuales en ejes de sección circular	71
Análisis del error de posicionamiento de distintas configuraciones de galgas para la medición de cargas en aerogeneradores	72
Comportamiento a flexión de estructuras sándwich con núcleos celulares bioinspirados elaborados por Fabricación por Filamento Fundido	73
Caracterización mecánica del poliuretano termoplástico (TPU) y su aplicación a estructuras tipo lattice para sistemas de absorción de energía	74

Integración de campos de desplazamientos y de tensión para formas modales operacionales	75
Medida del reparto de carga en transmisiones planetarias	76
Ingeniería de Vehículos y Transporte (2)	
Operación autónoma de autobuses en cocheras para tareas de aparcamiento y mantenimiento	77
Sistema de control robusto basado en $H^\infty$ para el seguimiento de trayectoria de un vehículo con estimación de fallos en el actuador	78
Realidad virtual para gemelos digitales basados en transporte automático	79
Estimación de la intención de movimiento de peatones en un entorno viario mediante tecnología LiDAR	80
Dispositivo amortiguador para vehículos ligeros basado en fluidos no-newtonianos	81
Primeras fases de diseño de un neumático mixto-desmontable: ECOTIRE	82
Ingeniería de Fabricación y Metrología (3)	
Monitorización del desgaste de herramienta en procesos de taladrado de apilados híbridos en la industria aeronáutica mediante técnicas de Machine Learning	83
Estudio paramétrico del fresado de ranuras en fibra de carbono basado en la calidad superficial, esfuerzos de corte y desgaste de herramienta	84
Optimización del proceso de mecanizado de una carcasa aeronáutica de grandes dimensiones	85
Medición de temperaturas en rectificado de piezas de alto valor añadido	86
Análisis experimental del taladrado del material polimérico termoplástico PEEK con y sin refuerzo.	87
Aplicación de la Transformada Wavelet Discreta a la detección de roturas catastróficas de herramienta durante el taladrado de componentes aeronáuticos estructurales	88
Biomecánica (1)	
Efecto de los parámetros de impresión 3D en la resistencia del PLA utilizado para fabricar manos protésicas de bajo coste	89

Análisis numérico de la influencia de la morfometría de estructuras triplemente periódicas con mínima superficie en su respuesta elástica	90
Análisis del comportamiento a compresión de hueso trabecular femoral sano y enfermo	91
Impacto del diseño avanzado de estructuras porosas en la mecanobiología ósea	92
Métodos para el estudio y evaluación de la fatiga muscular mediante electromiografía de superficie en series de Wall-Balls	93
Banco de ensayos sensorizado de rodilla para la validación experimental de simulaciones de tratamientos	94
<b>SESIONES PARALELAS IV</b>	
<b>Ruido y Vibraciones y Tribología (1)</b>	
Detección de daño en estructuras a partir de la respuesta dinámica, mediante técnicas de deep-learning y visión artificial	95
Apilados piezoeléctricos para cancelación de vibraciones: Análisis de sensibilidad	96
Caracterización experimental del ruido de impacto de la circulación de un vehículo eléctrico sobre resaltos	97
Comportamiento vibratorio de vigas de material compuesto dañadas	98
Monitorización del trefilado de alambre con emisión acústica: aspectos relacionados con la deformación volumétrica y la fricción	99
Simulación y validación de las fuerzas de corte en el mecanizado de chapa de pared delgada	100
<b>Ingeniería Ferroviaria (1)</b>	
Obtención experimental de un modelo dinámico de pantógrafo ferroviario	101
Modelo de vía simplificado con parámetros periódicamente variables para simulaciones multicuerpo de vehículos ferroviarios	102
Desmontaje eficiente de vías en placa ferroviarias mediante el uso de microondas	103
Banco de Ensayos de Ejes y Bogies Ferroviarios	104

Clasificación del estado de un eje ferroviario mediante EMD y clasificadores automáticos	105
Medidas experimentales del coeficiente de fricción en carriles ferroviarios	106
Ingeniería de Fabricación y Metrología (4)	
Influencia de la duración del pulso en procesos de micro-mecanizado láser de aleación de titanio Ti6Al4V	107
Análisis del comportamiento mecánico y microestructural de piezas de acero inoxidable 316L fabricadas mediante WAAM	108
Análisis de la influencia de técnicas de refrigeración criogénicas y convencionales en el acabado superficial de piezas de Inconel 718 impresas por SLM	109
Evaluación energética e impacto ambiental del proceso de Aporte Directo de Material mediante láser (L-DED)	110
Desarrollo de un modelo multiescala para procesos de soldadura láser y láser-DED	111
Generación de estructuras de porosidad controlada en L-DED	112
Biomecánica (2)	
Diseño de un Exosuit Basado en Sinergias Actuado por Cables	113
Simulación de la actuación combinada FES-exoesqueleto para asistencia a la marcha	114
Comparativa experimental del control de la trayectoria de dedos en prótesis de mano: PID vs GPC	115
Predicción de postura en la muñeca humana a partir de la cinemática del brazo. Aplicación al control de manos protésicas	116
Influencia del procedimiento de reconstrucción en las métricas cinemáticas para valoración de pacientes de accidente cerebrovascular	117
Análisis cinemático del movimiento humano utilizando Smartphones	118

## SESIONES PARALELAS V

### Ruido y Vibraciones y Tribología (2)

Aportación a la caracterización de aisladores de vibraciones basados en cojín de malla metálica	119
Normalización y mapeo del par de fricción de rodamientos de vuelco de cuatro puntos de contacto	120
Estudio de la robustez de una metodología para la simulación de problemas acústicos o elastodinámicos basada en la combinación del método de las soluciones fundamentales y el método del contorno singular	121
Análisis modal operacional de piezas de pared delgada durante el proceso de mecanizado robótico	122
Determinación del índice de reducción sonora de materiales compuestos mediante probetas con un procedimiento de ensayo de bajo coste	123
Predicción del espesor de película en contacto puntual	124
Ingeniería Ferroviaria (2)	
Estimación de indicadores de calidad de la captación de corriente entre pantógrafo y catenaria a partir de medidas de aceleración y el uso de redes neuronales artificiales	125
Desarrollo de un modelo eficiente para la predicción de la corrugación y su aplicación a una línea metro	126
Medida de irregularidades de vía en tiempo real mediante un eje instrumentado	127
Confort estocástico en vehículos ferroviarios	128
Desarrollo de un sistema embarcado para la auscultación geométrica de vías en tiempo real	129
Ingeniería de Fabricación y Metrología (5)	
Caracterización mecánica y térmica de Bronce-PLA fabricado mediante modelado por deposición fundida MDF	130
Desarrollo de un biomodelo ultrarrealista con patología mediante fabricación aditiva para planificación de cirugías y formación	131
Optimización de parámetros de impresión para mejorar la calidad y rendimiento de piezas FFF	132

Análisis comparativo del impacto sobre la calidad superficial del posprocesado químico, térmico y mecánico de piezas poliméricas obtenidas mediante Fabricación por Filamento Fundido 133

Estudio de la influencia del refuerzo de cobre en las propiedades tribológicas de piezas obtenidas con FDM 134

Fabricación aditiva de fórceps mediante tecnología MEX con fibra de carbono continua para entrenamiento de parto con simulador virtual 135

### Biomecánica (3)

Estudio in-silico de combinación de tratamientos para la osteoporosis postmenopáusica 136

Simulación mediante elementos finitos de los velos de una válvula aórtica 137

Simulante realista de cráneo humano para ensayos de impacto y predicción de daños 138

Estudio de Elementos Finitos de la Cirugía de Menisco Lateral Discoideo para Analizar el Comportamiento Biomecánico de la Rodilla 139

Ensayos experimentales y modelado numérico de impactos balísticos sin penetración en bloque de gelatina balística con protección de UHMWPE 140

Estudio experimental y computacional de la estabilidad de la fractura de húmero proximal con placa de bloqueo 141

### SESIONES PARALELAS VI

#### Historia de las Máquinas y los Mecanismos

Estudio de los sistemas mecánicos del Códice Madrid I: catálogo de mecanismos 142

Análisis técnico y funcional del Paternoster romano (Gipuzkoa, España; Cracovia, Polonia): modelado 3D y análisis mecánico 143

Explotación de hidrocarburos en España: La bomba de varilla extractora 144

Interacciones España-Italia en el Diseño de Máquinas y Mecanismos a lo largo del tiempo 145

Contribuciones a la Historia de la Ingeniería Mecánica y de las Máquinas desde la revista Anales de Ingeniería Mecánica 146

#### Micromáquinas, Mecatrónica y Robótica

Optimización de modelo de arranque de material para lijado robótico	147
Influencia de la retroalimentación visual en varios indicadores de evaluación del equilibrio medidos en una máquina de rehabilitación del equilibrio	148
Metodología de calibración de estación de mecanizado robótico basada en flujo de trabajo CNC	149
Robot tipo Ackermann para tareas de monitorización en edificio bioclimático	150
Análisis con teoría de tornillos de un mecanismo de Jansen para sistema móvil destinado a la limpieza de parques solares	151
Aumento de la precisión de posicionado de células robóticas en aplicaciones de mecanizado	152

#### Educación en Ingeniería Mecánica (1)

Programa de prácticas de laboratorio en enseñanzas de ingeniería basado en la determinación del sistema mecánico equivalente de un vehículo eléctrico	153
Implementación de la metodología de enseñanza por retos en el Grado en Ingeniería Mecánica	154
Proyecto de Aprendizaje-Servicio en el ámbito del gerontodiseño	155
Uso de la metodología PBL para la realización de un estudio biomecánico de un ciclista con estudiantes del Grado en Ingeniería Biomédica	156
Síntesis Analítica Computacional de Mecanismos	157
Nuevas aportaciones en la formación académica de las asignaturas de Ingeniería Mecánica mediante el uso de metodología de enseñanza a distancia	158

#### Biomecánica (4)

Dispositivo de bajo coste para monitorizar el estado fisiológico del conductor de un vehículo	159
Análisis cinemático del cuerpo humano durante un frenado de emergencia	160
Protocolo de valoración funcional del diseño de una prótesis ortopédica low-cost de dedo	161
Análisis comparativo entre electrodos comerciales y un nuevo electrodo para recién nacidos	162

Análisis de la exactitud de posicionado de los electrodos en potenciales evocados visuales y somatosensoriales 163

Análisis de la influencia de la morfología craneal en los errores de posicionamiento según el método BeamF3 164

## SESIONES PARALELAS VII

### Dinámica de Sistemas Multicuerpo

Modelado de rodamientos de surco profundo mediante enfoques smooth 165

Integradores estructurales condicionalmente explícitos para dinámica de sólidos 166

Integrador estructural explícito para sistemas multicuerpo 167

Formulación Multibody para Elementos Discretos 168

Análisis de sistemas de posicionamiento para pacientes en protonterapia mediante Dinámica Multicuerpo con sólidos flexibles. 169

### Fiabilidad y Mantenimiento

Estudio de la corrosión en equipos de una EDAR para la planificación de medidas preventivas 170

Aplicación de clasificadores automáticos a la monitorización de la condición de funcionamiento de material rodante ferroviario 171

Selección de patrones mediante WPT y clasificadores inteligentes para monitorización de componentes mecánicos rotativos 172

Predicción de señales vibratorias de ejes ferroviarios utilizando modelos de atención 173

### Educación en Ingeniería Mecánica (2)

ChatGPT en el aula. Aplicación en ingeniería mecánica 174

La energía en el Grado de Ingeniería en Tecnologías Industriales y su relación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible 175

Metodologías didácticas activas para la consecución de las competencias marcadas en Ingeniería Mecánica 176

Aprendizaje activo de Diseño de Máquinas basado en casos de estudio y software didáctico propio	177
Análisis cinemático y dinámico de levas mediante hojas de cálculo: ampliación y mejora	178
Bicicleta eléctrica de radiocontrol como proyecto docente	179
<b>Máquinas y Mecanismos (3)</b>	
Influencia del radio del cortador en el comportamiento mecánico de transmisiones hipoides con alta relación de transmisión	180
Tensiones en el pie de acoplamientos dentados abombados que trabajan en aplicaciones de alta desalineación	181
Caracterización de reductora wolfrom con sistema antijuego de actuador rotatorio espacial	182
Circuitos y ramas en las curvas de acoplador de un cuadrilátero articulado rígido-flexible actuado por un tendón continuo	183
Modelización eficiente del comportamiento estructural de rodamientos de rodillos cónicos mediante elementos finitos	184
Diseño de utillaje para ensayos de caracterización mecánica de nuevos materiales FRCM	185
<b>RESÚMENES DE PRESENTACIONES EN PÓSTER</b>	
Análisis cuantitativo de la actividad cerebral para determinar la maduración cerebral de los recién nacidos	186
Diseño y materialización de mecanismos de barras planos reconfigurables en sus inversiones cinemáticas	187
El molde de inyección bajo una perspectiva docente en Ingeniería Mecánica	188
Contenur – T.I.I.P.: veinte años de colaboración empresa - universidad	189
Comportamiento en cavitación de sistemas aleados base cobre: caso particular de los bronce NAB y MAB	190
Procedimiento para la optimización de propiedades de elastómeros impresos en 3D	191

Mejora mecánica de piezas impresas en 3D a través de tratamientos térmicos	192
Procedimiento para la caracterización probabilística de los parámetros intrínsecos de cámaras	193
Diseño y caracterización de simulador solar low-cost para monitorización termomecánica de materiales	194
Modelo FEM para minimizar el error geométrico en el curvado de grandes chapas	195
Metodología de diseño y fabricación personalizada de férulas ortopédicas mediante fabricación aditiva de bajo coste	196
Cómo evitar electrocutarse en vehículos eléctricos	197
Estimación de prestaciones en una motocicleta de competición	198
Clasificación de tipologías de vehículos mediante un sensor LiDAR situado en la lateral de la carretera	199
BALANCE, diseño de una nueva máquina para diagnóstico y rehabilitación de equilibrio y marcha	200
Estudio de los manipuladores paralelos flexibles de baja movilidad del tipo Tripod	201
Diseño mecatrónico de un manipulador paralelo de 3gdl para la rehabilitación del equilibrio	202
Entrenamiento de IA para aplicación a robótica industrial: Desarrollo de un sistema de Software-in-the-loop	203
Metodología de incorporación de Key Performance Indicators en el cuadro de mando para la gestión de un proyecto complejo mediante el método Delphi	204
Clasificación de correas mediante Neuro-Fuzzy Genético	205
Caracterización mecánica de un sistema dual acrílico/epoxi y su habilidad para unir piezas impresas	206
Calibración de Sensores de Fibra Óptica desde la Ingeniería Mecánica	207
Generación de energía en túnel ferroviario mediante harvester electromagnético de vibración	208

Diseño de un sistema experimental para la obtención de los parámetros característicos de un actuador apilado piezoeléctrico	209
Matrices híbridas poliméricas con aloe y/o miel: caracterización y ensayos “in vitro e in vivo”	210
Prototipo de bio-impresora 3D de alta precisión adaptable a fotocurado DLP y LED-LCD	211
Efectos de la biocorrosión de un acero al carbono expuesto a lixiviados mineros	212
Durabilidad del hormigón en ambientes afectados por Drenaje Ácido de Mina mediante ensayos de tracción	213

## BIENVENIDA

El Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica (CNIM) se realiza bienalmente promovido por la Asociación Española de Ingeniería Mecánica (AEIM). El congreso constituye un lugar de encuentro para el intercambio de conocimiento científico y técnico, experiencias profesionales, proyectos competitivos y principales avances en las diferentes áreas de la Ingeniería Mecánica.

La XXIV edición del CNIM está organizada por el Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC) y se celebra los días 25, 26 y 27 de octubre de 2023 en Las Palmas de Gran Canaria (España). Las instalaciones de la Escuela de Ingenierías Industriales y Civiles de la ULPGC (salón de actos y salas de grados) y de la Escuela de Ingeniería de Telecomunicación y Electrónica de la ULPGC (salón de actos y aula de tele-enseñanza) servirán de sede del congreso. El edificio denominado NEXO de la ULPGC se utilizará de zona para servir las comidas principales durante el congreso y de espacio de trabajo para los que deseen utilizarla durante la celebración del mismo. Todos los espacios están detallados en diferentes planos en este documento.

Este XXIV CNIM acogerá a más de 200 participantes y se presentarán 190 trabajos que serán expuestos de forma oral o en formato poster dentro las 19 áreas temáticas numeradas de la siguiente manera:

01. Biomecánica
02. Cinemática Computacional
03. Dinámica de Sistemas Multicuerpo
04. Educación en Ingeniería Mecánica
05. Fiabilidad y Mantenimiento
06. Historia de las Máquinas y los Mecanismos
07. Ingeniería de Fabricación y Metrología
08. Ingeniería Ferroviaria
09. Ingeniería de Vehículos y Transporte
10. Máquinas y Mecanismos
11. Mecánica Computacional
12. Mecánica de Fractura y Fatiga
13. Mecánica Experimental
14. Micromáquinas, Mecatrónica, y Robótica
15. Proyectos

- 16. Ruido y Vibraciones
- 17. Sostenibilidad y Medio Ambiente en Ingeniería Mecánica
- 18. Tribología
- 19. Otros

El Comité Organizador del XXIV CNIM quiere agradecer la alta participación y la calidad de los trabajos presentados, así como al Comité Científico por su inestimable ayuda en la revisión de los trabajos. Muchos de estos trabajos han llevado doble revisión de cara a optar a la publicación en alguna de las siguientes revistas: Revista DYNA, Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica o Revista Técnica Industrial. También quisiéramos agradecer a la AEIM y su Consejo Rector por confiar en nosotros en la ardua tarea de la organización de un congreso de estas características.

**Alejandro Yáñez Santana**

Presidente del Comité Organizador CNIM 2023

## **CONSEJO RECTOR DE LA ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

Presidenta: Juana María Mayo Núñez. *Universidad de Sevilla*

Vicepresidente: Víctor Petuya Arcocha. *Universidad del País Vasco*

Tesorera: Lluïsa Jordi Nebot. *Universidad Politécnica de Cataluña*

Secretario: Joaquín Ojeda Granja. *Universidad de Sevilla*

Vocales: Carolina Álvarez Caldas. *Universidad Carlos III Madrid*

Eugenio Giner Maravilla. *Universidad Politécnica de Valencia*

Alfonso Hernández del Rincón. *Universidad de Cantabria*

Rafael López García. *Universidad de Jaén*

José Luis Muñoz Sanz. *Universidad Politécnica de Madrid*

María Prado Novoa. *Universidad de Málaga*

Emilio Velasco Sánchez. *Universidad Miguel Hernández de Elche*

## **COMITÉ ORGANIZADOR LOCAL**

Presidente: Alejandro Yáñez Santana

Vicepresidentes: José Antonio Carta González

Oscar Martel Fuentes

Secretario: Alberto Cuadrado Hernández

Vocales: Mario Monzón Verona

María Paula Fiorucci

Pedro Cabrera Santana

*Universidad de Las Palmas de Gran Canaria*

## COMITÉ CIENTÍFICO

Óscar Altuzarra Maestre - *Universidad del País Vasco*  
Enrique Amezua San Martín - *Universidad del País Vasco*  
Ernesto García Vadillo - *Universidad del País Vasco*  
Alonso Hernández Frías - *Universidad del País Vasco*  
Aitzol Lamikiz Mentxaka - *Universidad del País Vasco*  
Luis Norberto López de la Calle Marcaide - *Universidad del País Vasco*  
Víctor Petuya Arcocha - *Universidad del País Vasco*  
Charles Pinto Cámara - *Universidad del País Vasco*  
José Antonio Sánchez Galíndez - *Universidad del País Vasco*  
Alfonso Fuentes Aznar - *University of Rochester. USA*  
Salvador Ivorra Chorro - *Universidad de Alicante*  
Antonio Giménez Fernández - *Universidad de Almería*  
Alfonso Fernández del Rincón - *Universidad de Cantabria*  
Fernando Viadero Rueda - *Universidad de Cantabria*  
Carolina Álvarez Caldas - *Universidad Carlos III de Madrid*  
Cristina Castejón Sisamón - *Universidad Carlos III de Madrid*  
Vicente Díaz López - *Universidad Carlos III de Madrid*  
María Jesús López Boada - *Universidad Carlos III de Madrid*  
María Henar Miguelez Garrido - *Universidad Carlos III de Madrid*  
Esther Olmeda Santamaría - *Universidad Carlos III de Madrid*  
Higinio Rubio Alonso - *Universidad Carlos III de Madrid*  
Lourdes Rubio Ruiz de Aguirre - *Universidad Carlos III de Madrid*  
José Luis San Román García - *Universidad Carlos III de Madrid*  
Moisés Batista Ponce - *Universidad de Cádiz*  
Jorge Salguero Gómez - *Universidad de Cádiz*  
Publio Pintado Sanjuan - *Universidad de Castilla - La Mancha*  
Cristina Aguilar Porro - *Universidad de Córdoba*  
Pablo Eduardo Romero Carrillo - *Universidad de Córdoba*  
Rubén Dorado Vicente - *Universidad de Jaén*  
Javier Fernández Aceituno - *Universidad de Jaén*



Rafael López García - *Universidad de Jaén*  
Antonio Pérez González - *Universitat Jaume I*  
Joaquín Luis Sancho Bru - *Universitat Jaume I*  
Francisco Javier Cuadrado Aranda - *Universidade da Coruña*  
Miguel Ángel Naya Villaverde - *Universidade da Coruña*  
Isabel Teresa Martín Mateos - *Universidad de la Laguna*  
Mario Domingo Monzón Verona - *Universidad de Las Palmas de Gran Canaria*  
Pedro Manuel Hernández Castellano - *Universidad de Las Palmas de Gran Canaria*  
Rubén Paz Hernández - *Universidad de Las Palmas de Gran Canaria*  
Alberto Javier Cuadrado Hernández - *Universidad de Las Palmas de Gran Canaria*  
María Paula Fiorucci - *Universidad de Las Palmas de Gran Canaria*  
Pedro Jesús Cabrera Santana - *Universidad de Las Palmas de Gran Canaria*  
José Antonio Carta González - *Universidad de Las Palmas de Gran Canaria*  
Oscar Martel Fuentes - *Universidad de Las Palmas de Gran Canaria*  
Alejandro Yáñez Santana - *Universidad de Las Palmas de Gran Canaria*  
Pablo Rubén Bordón Pérez - *Universidad de Las Palmas de Gran Canaria*  
José Antonio Cabrera Carrillo - *Universidad de Málaga*  
María Prado Novoa - *Universidad de Málaga*  
Francisco Javier Trujillo Vilches - *Universidad de Málaga*  
Óscar Cuadrado Sempere - *Universidad Miguel Hernández de Elche*  
Miguel Ángel Oliva Meyer - *Universidad Miguel Hernández de Elche*  
David Abellán López - *Universidad Miguel Hernández de Elche*  
Juan Carlos García Prada - *Universidad Nacional de Educación a Distancia*  
Mariano Artes Gómez - *Universidad Nacional de Educación a Distancia*  
María Teresa Carrascal Morillo - *Universidad Nacional de Educación a Distancia*  
José Ignacio Pedrero Moya - *Universidad Nacional de Educación a Distancia*  
Miguel Ángel Sebastián Pérez - *Universidad Nacional de Educación a Distancia*  
Antolín Esteban Hernández Battez - *Universidad de Oviedo*  
Lluïsa Jordi Nebot - *Universitat Politècnica de Catalunya*  
Esteban Peña Pitarch - *Universitat Politècnica de Catalunya*  
Jordi Romeu Garbí - *Universitat Politècnica de Catalunya*

Enrique Alcalá Fazio - *Universidad Politécnica de Madrid*  
José Ramón Álvarez Redondo - *Universidad Politécnica de Madrid*  
Javier Echávarri Otero - *Universidad Politécnica de Madrid*  
Jaime C. Gálvez Ruiz - *Universidad Politécnica de Madrid*  
Felipe Jiménez Alonso - *Universidad Politécnica de Madrid*  
María Luisa Martínez Muneta - *Universidad Politécnica de Madrid*  
José Luis Muñoz Sanz - *Universidad Politécnica de Madrid*  
Juan Ignacio Cuadrado Iglesias - *Universitat Politècnica de València*  
Eugenio Giner Maravilla - *Universitat Politècnica de València*  
Silvia de la Flor López - *Universitat Rovira i Virgili*  
Francesc Ferrando Piera - *Universitat Rovira i Virgili*  
Jaime Domingo Domínguez Abascal - *Universidad de Sevilla*  
Juana María Mayo Núñez - *Universidad de Sevilla*  
Joaquín Ojeda Granja - *Universidad de Sevilla*  
Héctor Campello Vicente - *Universidad Miguel Hernández de Elche*

# Influencia de la fase de engrane y los errores variables en el tiempo en la respuesta dinámica de una transmisión planetaria

J. Sánchez Espiga<sup>1</sup>, M. Iglesias<sup>1</sup>, A. De Juan<sup>1</sup>, P. García<sup>1</sup>, F. Viadero<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad de Cantabria. [sanchezespig@unican.es](mailto:sanchezespig@unican.es)

---

*Una de las ventajas de la modificación de la fase de engrane entre los planetas de una transmisión planetaria está relacionada con la modificación de su comportamiento dinámico y la desaparición de algunos modos de vibración. No obstante, esto es así en transmisiones ideales y estos efectos se pueden ver modificados por la presencia de errores variables en el tiempo que incluyan nuevas excitaciones en el sistema. Así, en este trabajo se propone el análisis del efecto de errores variables en el tiempo en el comportamiento dinámico de una transmisión planetaria, representado por su error de transmisión y por las órbitas descritas por algunos de sus elementos. Desde un punto de vista cuasi-estático es posible analizar parte del comportamiento dinámico de una transmisión y evitar la complejidad de realizar largas simulaciones dinámicas con combinaciones de efectos variables en el tiempo.*

---

## Efecto de los errores variables en el tiempo en transmisiones planetarias de dientes rectos con diferencias en la fase de engrane

J. Sánchez Espiga<sup>1</sup>, A. Díez Ibarbia<sup>1</sup>, M. Iglesias<sup>1</sup>, A. de Juan<sup>1</sup>, A. Fernández del Rincón<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dpto. Ingeniería Estructural y Mecánica, Universidad de Cantabria [sanchezspij@unican.es](mailto:sanchezspij@unican.es),

---

*El comportamiento de las transmisiones de engranajes depende significativamente de la geometría de la misma. Esto se aprecia de una forma más marcada incluso en las transmisiones planetarias, donde parámetros como el número de dientes en las ruedas, el número de planetas y su espaciado alrededor del sol determinan el funcionamiento de la transmisión. En este contexto, este trabajo plantea el análisis del comportamiento de este tipo de transmisiones afectadas por efectos variables en el tiempo. Estos efectos vendrán derivados de la presencia de errores de fabricación que varían con el tiempo. Para llevar a cabo este análisis el parámetro de estudio que se emplea es el cálculo del reparto de carga en condiciones cuasiestáticas a lo largo de diversas posiciones de engrane de transmisiones planetarias con diferentes fases de engrane. Además, para aumentar el grado de realismo se dota a los apoyos de las ruedas de rigideces inferiores a infinito para brindar de flexibilidad al sistema y permitir a los centros de las ruedas describir órbitas.*

---

# Caracterización mecánica de adhesivos de alta flexibilidad. Validación experimental en uniones

Francisco J. Simón-Portillo<sup>1</sup>, Miguel Sánchez-Lozano<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería Mecánica y Energía Universidad Miguel Hernández, [f.simon@umh.es](mailto:f.simon@umh.es)

<sup>2</sup>Departamento de Ingeniería Mecánica y Energía Universidad Miguel Hernández, [msanchez@umh.es](mailto:msanchez@umh.es)

---

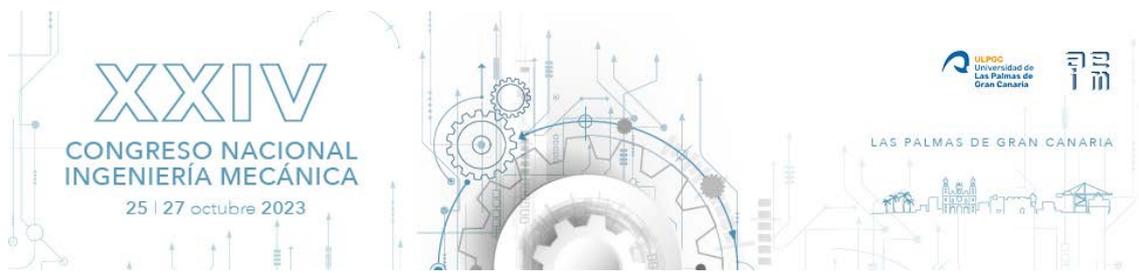
*Los adhesivos flexibles estructurales están atrayendo cada vez más el interés de los fabricantes, como alternativa de los adhesivos rígidos, debido principalmente a la excelente resistencia al impacto que proporcionan, a su flexibilidad y capacidad de sellado.*

*No obstante, es destacable la escasez de publicaciones sobre el comportamiento de los adhesivos hiperelásticos. La presente línea de investigación, se centra precisamente en la caracterización de los adhesivos de alta flexibilidad, y en la determinación de las leyes de comportamiento que mejor los representen, de cara principalmente a su uso en modelos de simulación.*

*En primer lugar, se lleva a cabo un plan de ensayos en probetas sencillas, con configuración uniaxial y planar, diseñadas específicamente para medir el comportamiento no lineal de los adhesivos a tracción y cizalladura pura, respectivamente. Para la caracterización mecánica y ajuste de las leyes de comportamiento, los programas de elementos finitos proporcionan una herramienta de gran utilidad, que permite comparar el comportamiento predicho por diferentes modelos de material hiperelástico, con los resultados experimentales de los diferentes ensayos (uniaxial y planar), para evaluar y seleccionar que modelo se ajusta más al comportamiento real.*

*En una etapa inicial de esta línea de investigación, se concluyó que el modelo de Mooney-Rivlin era el que permitía un mejor ajuste, mediante un proceso iterativo, dando lugar a una validación satisfactoria con espesores de adhesivo de entre 1 y 3 mm. Se continuó trabajando en esta línea, para desarrollar una metodología que permita definir los parámetros del modelo de Mooney-Rivlin directamente a partir de los resultados de los ensayos, sin recurrir a ajustes iterativos. Los modelos así obtenidos se están validando mediante la simulación de uniones con distintos espesores de adhesivos, obteniendo resultados satisfactorios.*

---



# Un estimador del IRI mediante medidas de aceleración embarcadas para cualquier rango de velocidad

A. Tobío<sup>1,2</sup>, A. Suescun<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Grupo de diseño y comportamiento mecánico, CEIT-Basque Research and Technology Alliance (BRTA), [atobiopena@ceit.es](mailto:atobiopena@ceit.es), [asuescun@ceit.es](mailto:asuescun@ceit.es)

<sup>2</sup> Departamento de mecánica aplicada, Universidad de Navarra (Tecnun), [atobiopena@ceit.es](mailto:atobiopena@ceit.es), [asuescun@ceit.es](mailto:asuescun@ceit.es)

---

Tener control sobre el estado y la calidad de las carreteras es esencial para poder realizar un mantenimiento proactivo de las mismas. El Índice Internacional de Rugosidad (IRI) es un indicador directo de la rugosidad y calidad general de una carretera. El cálculo directo del IRI es lento, costoso y limitado en su aplicabilidad. Es necesario medir el perfil de carretera (perfilógrafo, perfilómetro, etc.) y simular el modelo teórico de  $\frac{1}{4}$  de vehículo circulando a 80 km/h por dicho perfil para obtener los valores de desplazamiento verticales de las masas amortiguadas y no amortiguadas, para finalmente calcular el IRI. En este trabajo se desarrolla una metodología eficiente, robusta y de bajo coste para estimar el IRI de forma indirecta con una precisión aceptable, a través de las aceleraciones verticales percibidas en el habitáculo de un vehículo en marcha. Se busca minimizar el uso de sistemas y sensores embarcados. El estimador del IRI creado se adapta a distintas velocidades de circulación, ajustando su respuesta al valor del IRI normativo (80 km/h). Para comprobar la calidad de los resultados, se generan perfiles de carretera artificiales de diferentes calidades siguiendo los criterios de la ISO 8608, relativa a vibraciones mecánicas en superficies de carretera. Se calcula por una parte el IRI teórico mediante la simulación del modelo  $\frac{1}{4}$  de vehículo y por otra el IRI estimado obtenido por el tratamiento de las aceleraciones. Los resultados muestran una media del error relativo inferior al 10% para cualquier distancia, calidad de carretera y velocidad de circulación.

---

# Optimización de inyector Venturi para el transporte preciso de polvo mediante el método de elementos discretos y algoritmos genéticos

Joshua García-Montagut<sup>1</sup>, Rubén Paz Hernández<sup>1</sup>, Mario Monzón Verona<sup>1</sup>, Begoña González Landín<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dpto. de Ingeniería Mecánica, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, [joshua.garcia@ulpgc.es](mailto:joshua.garcia@ulpgc.es),  
[ruben.paz@ulpgc.es](mailto:ruben.paz@ulpgc.es), [mario.monzon@ulpgc.es](mailto:mario.monzon@ulpgc.es)

<sup>2</sup> Instituto Universitario SIANI, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, [bejo.landin@ulpgc.es](mailto:bejo.landin@ulpgc.es)

Los inyectores Venturi se usan en múltiples aplicaciones como medición del flujo en una tubería, la generación de vacío, la atomización de partículas líquidas o sólidas, o la mezcla de fluidos. Para cada uno de estos usos se deben ajustar las dimensiones del Venturi para optimizar el objetivo buscado (normalmente, minimizar la pérdida de carga). Algunos autores han hecho lo propio añadiendo el objetivo de maximizar la descarga, pero siempre tratando de mezclar o succionar líquidos. Otro uso de este efecto Venturi es la succión de polvo y su posterior distribución de forma precisa. Aunque estos inyectores Venturi también han sido optimizados utilizando diferentes métodos estadísticos, tanteos mediante simulación de fluidos y de interacción de partículas (CFD y DEM) o machine learning, en su gran mayoría, la alimentación de polvo de estos Venturi se ha hecho por gravedad y no tanto por succión, y enfocados al uso de velocidades medias o altas.

En el presente estudio, se ha realizado una optimización de los diferentes parámetros dimensionales que necesita un inyector Venturi en su fabricación en relación a una partícula, con el fin de maximizar la cantidad de polvo capaz de succionar y transportar para un flujo concreto en un rango de velocidades bajas y con alta precisión en el transporte.

Para esta optimización se llevaron a cabo simulaciones de uso del Venturi mediante el método de elementos discretos, generando las diferentes variaciones propuestas por un algoritmo genético a partir de un diseño de experimentos preliminar. Finalmente, las relaciones dimensionales óptimas fueron: 34 mm el diámetro de la succión, un diámetro de garganta 26.5 veces el diámetro de partícula, una relación  $\lambda$  de 2.5, el diámetro de entrada un 101% del diámetro de boquilla  $d_1$ , una longitud de garganta de 28mm, una longitud de boquilla en el interior de la cámara de mezcla del 75% de la misma, un ángulo de contracción  $\alpha$  de 18.72° y un ángulo de expansión  $\beta$  de 8.3°. Con estas proporciones se ha conseguido un 78% de mejora en la succión de polvo con respecto a los tanteos iniciales, con un 2% de la pérdida de carga máxima de los mismos.

# Análisis mediante Simulación Numérica de la influencia de la calidad del acero en componentes T-Stub

A. Quesada González<sup>1</sup>, J.J. Jiménez de Cisneros Fonfría<sup>2</sup>, A.M. Gómez Amador<sup>1</sup>, L. Prieto Fernández<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad Carlos III de Madrid, [alejandro.quesada@uc3m.es](mailto:alejandro.quesada@uc3m.es); [amgomez@ing.uc3m.es](mailto:amgomez@ing.uc3m.es); [leprieto@ing.uc3m.es](mailto:leprieto@ing.uc3m.es)

<sup>2</sup>BOLTES España. [juanjose.cisneros@boltes.com.es](mailto:juanjose.cisneros@boltes.com.es)

---

*La tendencia actual de diseño de estructuras metálicas con mayor exigencia en las capacidades mecánicas en aplicaciones de todo tipo, conlleva la utilización de materiales con mejores propiedades resistentes. Además, el análisis de las uniones entre componentes es especialmente importante, dado que suelen ser los elementos más susceptibles de fallo. En el presente trabajo se efectúa el análisis de la influencia de la calidad del acero en las propiedades mecánicas de componentes T-equivalente ("T-stub"), que caracterizan la zona a tracción de uniones atornilladas con chapa extendida. Para realizar este estudio se ha construido un modelo paramétrico de elementos finitos que simula los efectos no lineales de contacto y plasticidad, y que previamente ha sido validado con ensayos experimentales. Finalmente, se han desarrollado simulaciones con diferentes combinaciones de material tanto del perfil como de la tornillería, determinándose los parámetros característicos de rigidez, resistencia y ductilidad, así como el modo de fallo plástico. Los resultados obtenidos de las simulaciones se han analizado para determinar el modo de fallo predominante según la clasificación establecida en la normativa actual.*

---

## Soluciones del Factor de Intensidad de Tensiones (FIT) para defectos elípticos en un cuerpo semi-infinito sometido a tracción

Xabat Orue Llona<sup>1</sup>, Mikel Abasolo Bilbao<sup>2</sup>, Iker Garmendia Saez de Heredia<sup>1</sup>, Luis Pallarés Santasmartas

<sup>1</sup> Unidad de Ingeniería Mecánica, Fundación Tekniker, xabat.orue@tekniker.es

<sup>2</sup> Dpto. de Ingeniería Mecánica, Universidad del País Vasco (UPV/EHU), mikel.abasolo@ehu.eus

---

*En este trabajo se presentan soluciones del Factor de Intensidad de Tensiones (FIT) del modo I de fractura ( $K_I$ ) para el caso de un defecto elíptico en un cuerpo semi-infinito sometido a tracción. Para ello, se toman como referencia los códigos Fitness-For-Service (FFS). Las soluciones se presentan gráficamente en función de la relación de aspecto ( $a/c$ ) y la posición del centro del propio defecto con respecto a la superficie exterior ( $h/a$ ). Los valores de los parámetros que se han considerado cubren los rango de los defectos que se encuentran en la mayoría de las aplicaciones a través de relaciones de aspecto y posiciones que cumplen  $0 < a/c \leq 1$  y  $0 \leq h/a \leq 3$  respectivamente. En lo que concierne a los códigos FFS, se observan diferencias en la forma de recaracterización de los defectos internos subsuperficiales de forma elíptica como superficiales de forma semi-elíptica. Además, se observa que estos códigos sólo son aplicables cuando el centro del defecto este sobre la superficie exterior ( $h/a=0$ ) o el contorno del defecto original no corta la superficie exterior ( $h/a > 1$ ). El presente trabajo propone un modelo de transición para la zona  $0 < h/a \leq 1$  en la que el contorno del defecto interseca con la superficie libre del cuerpo semi-infinito para estos códigos.*

---

## Modelo numérico para el estudio del comportamiento dinámico de una viga rotatoria fisurada

B. Muñoz-Abella<sup>1</sup>, T. Ter Tesayants<sup>2</sup>, L. Rubio Ruiz de Aguirre<sup>3</sup>, P. Rubio Herrero<sup>4</sup>

Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad Carlos III de Madrid

<sup>1</sup>mmunoz@ing.uc3m.es; <sup>2</sup>tigran.ter@uc3m.es; <sup>3</sup>lrubio@ing.uc3m.es; <sup>4</sup>prubio@ing.uc3m.es

---

*La energía eólica es una de las más prometedoras fuentes de energía renovable y su desarrollo está experimentando un gran auge. De los elementos que integran los sistemas de energía eólica, las palas de los aerogeneradores son de los más comprometidos en su funcionamiento desde el punto de vista de la integridad porque están sometidos a cargas estáticas y dinámicas que afectan a su funcionamiento. A esto se añaden sus condiciones de trabajo en situaciones complicadas de ambientes agresivos que condicionan su integridad estructural y, como consecuencia, su funcionamiento óptimo. Son componentes susceptibles, por tanto, de presentar fisuras que pueden propagarse dando lugar a roturas catastróficas o a elevados costes de mantenimiento. Por lo tanto, resulta indispensable conseguir adecuados niveles de fiabilidad durante su funcionamiento.*

*Cuando se aborda el estudio dinámico de este tipo de elementos, las palas con geometrías complicadas se modelan habitualmente de manera simplificada utilizando vigas rotatorias y, atendiendo a las condiciones de contorno, las palas de los aerogeneradores se consideran como vigas en voladizo con un extremo libre y el otro empotrado.*

*En este trabajo se analiza el comportamiento dinámico de una viga rotatoria fisurada en voladizo, en la que la fisura presenta el comportamiento “breathing crack” (mecanismo de apertura /cierre). Para ello, se ha desarrollado un modelo de elementos finitos 3D dinámico que permite estudiar el comportamiento de la viga en función de los parámetros geométricos de la misma y las características de la fisura.*

*Del estudio realizado se concluye que la disminución en las frecuencias naturales de una viga fisurada respecto de una intacta no solo depende del tamaño de la fisura sino también de su forma y situación de la sección. Además, el grado de apertura entre las caras de la fisura no es el mismo, para fisuras del mismo tamaño, sino que depende de la forma y situación de la fisura, así como del sentido de la velocidad de giro.*

---

# Predicción de la vida a fatiga de laminados gruesos de CFRP taladrados mediante termografía infrarroja bajo diferentes niveles de carga

Jose Vicente Calvo<sup>1</sup>, Norberto Feito<sup>2</sup>, María Henar Miguélez<sup>1</sup>, Eugenio Giner<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería Mecánica. Universidad Carlos III de Madrid. jocalvoo@ing.uc3m.es mhmiguel@ing.uc3m.es

<sup>2</sup> Instituto de Ingeniería Mecánica y Biomecánica (I2MB), Dpto. de Ingeniería Mecánica y de Materiales. Universitat Politècnica de València. norfeisa@upvnet.upv.es eginerm@mcm.upv.es

---

*En la última década, diferentes autores han evaluado la viabilidad de aplicar técnicas no destructivas para estudiar diversos materiales compuestos sometidos a fatiga. Entre estas técnicas, el uso de termografía adquiere especial interés por su bajo coste, su sencillez y sus buenos resultados en diferentes estudios. Siguiendo esa estela, en este trabajo se pretende obtener unos modelos predictivos del límite de fatiga de un laminado CFRP (polímero reforzado con fibra de carbono) mediante termografía infrarroja. Para conseguir este objetivo, los ensayos experimentales se monitorizaron mediante una cámara de termografía infrarroja y así obtener la evolución de la temperatura en el material. Aplicando una metodología basada en la evolución de la pendiente de la temperatura del material durante la etapa inicial del ensayo de fatiga, se obtuvieron los modelos analíticos capaces de predecir su límite de fatiga. El análisis se llevó a cabo en un laminado con un apilamiento y espesor característicos de la industria aeroespacial, bajo diferentes niveles de daño por taladrado y a diferentes niveles de cargas cíclicas de tracción. Los resultados mostraron que el modelo propuesto es capaz de predecir la vida a fatiga del material, con una buena correlación entre los resultados experimentales y los valores predichos. Mediante este estudio se comprobó que las técnicas termográficas pueden ser una herramienta útil para evaluar el daño y predecir la vida a fatiga del material en diferentes situaciones de carga.*

---

## Comportamiento balístico de paneles FML de acero inoxidable y fibra de vidrio

B. Valverde<sup>1</sup>, M. Rodríguez-Millán<sup>1</sup>, M. Henar Miguélez<sup>1</sup>, C. Santiuste<sup>2</sup>, J.A. Loya<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad Carlos III de Madrid. [bvalverd@ing.uc3m.es](mailto:bvalverd@ing.uc3m.es),  
[mrmillan@ing.uc3m.es](mailto:mrmillan@ing.uc3m.es), [mhmiguel@ing.uc3m.es](mailto:mhmiguel@ing.uc3m.es)

<sup>2</sup>Dpto. de Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras. Universidad Carlos III de Madrid.  
[csantiust@ing.uc3m.es](mailto:csantiust@ing.uc3m.es), [jlova@ing.uc3m.es](mailto:jlova@ing.uc3m.es)

---

*La combinación de láminas de acero y fibras de alto rendimiento permite desarrollar paneles multilaminados FML (Fiber Metal Laminate, en sus siglas en inglés) con alta capacidad de absorción de energía y resistencia estructural, obteniendo soluciones más ligeras y eficientes en comparación con blindajes monolíticos equivalentes.*

*Para el desarrollo de modelos numéricos capaces de predecir el comportamiento balístico de paneles FML con distinto número de capas, se ha seguido una metodología combinada experimental y numérica. Utilizando un lanzador neumático, se han realizado ensayos de impactado de alta velocidad con proyectiles esféricos de acero templado sobre probetas FML. La velocidad de impacto y, en caso de perforación, la velocidad residual del proyectil, se han medido con cámaras de alta velocidad. La deformación de la cara posterior, el tipo de rotura y la extensión del daño se ha evaluado usando un escáner superficial 3D e internamente mediante inspección no destructiva.*

*Utilizando el código comercial de elementos finitos ABAQUS/Explicit, se han modelizado de manera independiente cada uno de los materiales considerandos. Posteriormente, se han integrado dichos modelos para simular el comportamiento ante impacto de paneles FMLs con varias secuencias de apilamiento.*

*Las predicciones numéricas del modelo FML se han comparado con los correspondientes resultados experimentales para varios apilamientos, mostrando una adecuada capacidad predictiva de su comportamiento ante impacto balístico.*

---

# Nuevos materiales termoestables reciclables y autoreparables: vitrímeros con propiedades viscoelásticas ajustables para el control de la fluencia y rápida relajación de tensiones

S. De la Flor<sup>1</sup>, V. D'Agostino<sup>1</sup>; A. Roig<sup>2</sup>, À. Serra<sup>2</sup>

<sup>1</sup> IDpto. de Ingeniería Mecánica. Universitat Rovira i Virgili. [silvia.delaflores@urv.cat](mailto:silvia.delaflores@urv.cat), [valeria.dagostino@urv.cat](mailto:valeria.dagostino@urv.cat)

<sup>2</sup> Dpto. de Química Analítica y Química Orgánica. Universitat Rovira i Virgili. [adria.roig@urv.cat](mailto:adria.roig@urv.cat); [angels.serra@urv.cat](mailto:angels.serra@urv.cat)

*Conseguir un delicado equilibrio entre la fluencia del polímero para conseguir su reprocesado/reciclado y su resistencia mecánica a las temperaturas de servicio sigue siendo un desafío en el diseño de los vitrímeros. La demanda de materiales vitriméricos termoestables resistentes a la fluencia y con alta velocidad de relajación de tensiones a temperaturas relativamente bajas es un tema de gran interés tecnológico en el ámbito de la reciclabilidad de los polímeros. Para resolver este problema, se presentan en este trabajo una serie de materiales vitriméricos basados en puentes de disulfuro curados a través de una reacción de epoxi-amina con diferentes proporciones de dos resinas epoxi comerciales, una aromática y otra alifática, y cistamina como agente de reticulación. Las propiedades termomecánicas y viscoelásticas se pueden ajustar mediante la variación de las proporciones de las resinas epoxi. Las propiedades térmicas y mecánicas de los materiales finales se investigaron mediante análisis dinámomecánico. Todos los materiales presentaron temperaturas de transición vítrea por encima de los 60 °C y alta resistencia a  $T_{amb}$  dependiendo de la proporción de la resina aromática. Las propiedades viscoelásticas y el comportamiento vitrimérico se estudiaron mediante ensayos de relajación de tensiones que revelaron que todos los materiales podían relajar la tensión en menos de 2 minutos a 140 °C. Las pruebas de fluencia a temperaturas de servicio (0°C y 25°C) mostraron que la fluencia podía reducirse dependiendo de la proporción de la resina epoxi aromática, incluso manteniendo tasas de relajación de tensiones extremadamente rápidas. Finalmente, para probar el comportamiento mecánico y sus propiedades funcionales, se analizó la capacidad de auto-reparación y auto-soldado de la muestra con el contenido más alto de resina aromática, revelando un proceso de recuperación total (autocurado) en tiempos muy cortos, y módulos de tracción comparables en las muestras soldadas. La fácil preparación de los materiales, la disponibilidad comercial de los monómeros y las excelentes propiedades mecánicas, térmicas y vitriméricas resaltan el gran potencial de estos materiales para aplicaciones industriales.*

## Caracterización mecánica de muelas de rectificado elásticas con aglomerante de caucho mediante ensayos de flexión

Einar Martín<sup>1</sup>, Leire Godino<sup>1</sup>, Eder Clemente<sup>1</sup>, José Antonio Sánchez<sup>1</sup>, Iñigo Pombo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dpto. de Ingeniería Mecánica, Universidad del País Vasco (UPV/EHU), [einar.martin@ehu.eus](mailto:einar.martin@ehu.eus), [leire.godino@ehu.eus](mailto:leire.godino@ehu.eus), [eder.clemente@ehu.eus](mailto:eder.clemente@ehu.eus), [joseantonio.sanchez@ehu.eus](mailto:joseantonio.sanchez@ehu.eus), [inigo.pombo@ehu.eus](mailto:inigo.pombo@ehu.eus)

---

*El módulo elástico de una muela de rectificado es una de las propiedades más representativas para el estudio de su comportamiento durante el proceso, lo que lo convierte en un parámetro de gran interés tanto para investigadores como para fabricantes de muelas. Las muelas con aglomerante de caucho se caracterizan por su elevada elasticidad, lo que las hace destacar en procesos de superacabado, logrando alcanzar rugosidades superficiales de  $R_z < 1 \mu\text{m}$  y reduciendo el riesgo de quemado de las piezas. Pese al buen comportamiento que este tipo de muelas muestra, no son tan populares como las muelas rígidas convencionales, y a día de hoy no se conocen en detalle sus características mecánicas. Además, mientras que unas pocas investigaciones se han centrado en determinar las propiedades mecánicas y su relación con el rendimiento durante el proceso de muelas abrasivas con aglomerante vitrificado o resinoide, no existen trabajos que hayan estudiado las propiedades mecánicas de las muelas abrasivas elásticas. En este trabajo, se ha estudiado el módulo elástico, la resistencia y la deformación a flexión de muelas elásticas con aglomerante de caucho mediante ensayos de flexión a tres puntos. Se han analizado diferentes composiciones de los distintos materiales que componen este tipo de muelas, así como la resistencia de la unión entre el compuesto abrasivo y el núcleo de las muelas. Mediante este estudio se pretende ayudar a entender mejor el comportamiento de las muelas elásticas y a poder desarrollar procesos de rectificado más eficientes. Además, permite a los fabricantes ampliar su conocimiento a cerca de las propiedades de este tipo de muelas y ofrece un método eficaz para su caracterización mecánica.*

---

# Estudio experimental de deformaciones y vibraciones del hilo en corte por electroerosión (WEDM)

Jun Wang<sup>1,2</sup>, José Antonio Sánchez<sup>1</sup>, Borja Izquierdo<sup>1</sup>, Izaro Ayesta<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento Ingeniería Mecánica, Universidad del País Vasco, [jun.wang@ehu.eus](mailto:jun.wang@ehu.eus), [joseantonio.sanchez@ehu.eus](mailto:joseantonio.sanchez@ehu.eus), [borja.izquierdo@ehu.eus](mailto:borja.izquierdo@ehu.eus)

<sup>2</sup> Centro de Fabricación Avanzada Aeronáutica (UPV/EHU), [izaro.ayesta@ehu.eus](mailto:izaro.ayesta@ehu.eus)

---

*El corte por electroerosión por hilo (WEDM) es un método no convencional de mecanizado ampliamente utilizado en la fabricación de componentes de alto valor añadido para las industrias aeroespacial, biomédica y automotriz, entre otras. Si bien el proceso se viene usando desde hace décadas, aún es preciso explicar ciertos aspectos fundamentales relacionados con el mismo. Se sabe que el empleo de fluido dieléctrico es indispensable y juega un papel importante en la mejora de la precisión y eficiencia del corte. Este flujo puede ser causa de deformaciones estáticas y vibraciones que afectan a la precisión de la pieza cortada. En este trabajo se estudia la influencia del fluido dieléctrico en el movimiento del hilo. Se ha desarrollado un sistema basado en fibra óptica que permite medir las deformaciones del hilo, lo que ha permitido cuantificar las mismas bajo diferentes condiciones de corte. Los resultados muestran una relación directa entre el caudal y la deformación generada en el hilo. Por otra parte, la presencia de la pieza modifica sustancialmente dichas deformaciones. Los resultados presentados son de utilidad de cara a estimar y trata de mejorar la precisión obtenida por este proceso.*

---

## Evaluación metrológica de electrodos micro-texturizados para EDM elaborados mediante fabricación aditiva y electroconformado

M. Hernández-Pérez<sup>1</sup>, P.M. Hernández-Castellano<sup>1</sup>, M.D. Marrero-Alemán<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. [mariana.hernandez@ulpgc.es](mailto:mariana.hernandez@ulpgc.es)

*Durante las últimas décadas, el conocimiento del funcionamiento de determinados fenómenos presentes en las superficies, fundamentalmente en las escalas micro y submicrométrica, ha tenido una importancia notable de cara a los avances en numerosos y diversos campos de la investigación, como puede ser la electrónica, energía, tribología y óptica, entre otros, lo que ha llevado a la vez a la búsqueda de nuevas tecnologías de fabricación, capacitadas para generar de manera controlada superficies estructuradas.*

*Para la generación de dichas superficies, se hace uso de la texturización funcional, entendida como la generación de geometrías, pudiendo ser estas bajo relieve o sobre relieve, las cuales siguen un determinado patrón en la superficie de la pieza, con el objetivo de mejorar alguna de sus propiedades. Este proceso además suele estar fuertemente inspirado en la naturaleza, ya que muchos animales presentan determinadas características en su piel que permiten dar soluciones a problemas cotidianos, como la propiedad adherente presente en las extremidades de algunos animales como el gecko.*

*No obstante, muchas de estas propiedades en las superficies ingenieriles se alcanzan en etapas complementarias en el acabado de los productos, y en muchos casos con la aportación de capas adicionales de otros materiales diferentes al del componente, lo que presenta un aspecto negativo como es aumento de los costos de los productos finales.*

*Es por ello por lo que en este trabajo se evidencia la posibilidad de fabricar piezas con superficies texturizadas de bajo costo. Para esto se hace uso de la fabricación aditiva (FA), consiguiendo una aplicación directa de texturas sobre los modelos 3D, obteniendo así una solución ecológica, rápida, viable y reduciendo en gran medida la cantidad de desechos tóxicos que se pueden liberar al generar dichas texturas mediante otros procesos. No obstante, el objetivo final es generar herramientas para el proceso de electroerosión por penetración (SEDM), cuyas características permiten generar texturas en pequeñas dimensiones con precisiones muy elevadas, motivo por el cual se introducirá otro proceso de fabricación, el electroconformado. Este proceso permite obtener las herramientas metálicas en cobre replicando la forma de las piezas modelo generadas en un primer momento a través de FA.*

*En este trabajo, se realiza una caracterización metrológica para estudiar el error acumulado a lo largo de todo el proceso de fabricación, desde la generación de la pieza modelo con texturas micrométricas, pasando por el proceso de electroconformado hasta llegar a la pieza metálica electroerosionada.*

# Propiedades mecánicas de termoplásticos reforzados por fibra de carbono unidos mediante ultrasonidos de forma continua

Saber Maamri<sup>1</sup>, Jorge Bautista<sup>1</sup>, María E. Hernández<sup>1</sup>, Leticia Aguado<sup>1</sup>, Beatriz G. Vasallo<sup>2</sup>, R. Guzmán de Villoria<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería Mecánica, Escuela Politécnica Superior de Zamora, Universidad de Salamanca, [sabermaamri@usal.es](mailto:sabermaamri@usal.es)  
[roberto.guzman@usal.es](mailto:roberto.guzman@usal.es)

<sup>2</sup> Departamento de Física Aplicada, Universidad de Salamanca

---

*En este trabajo, se ha estudiado la influencia de la velocidad de soldadura en cinta termoplástica reforzada con fibra de carbono. Para ello, se ha empleado soldadura por ultrasonidos continua y se ha evaluado su porosidad y la resistencia a cortadura. Se ha empleado microscopía óptica para analizar la morfología de la interfaz y se ha evaluado la resistencia a cortadura de la unión. Según los resultados obtenidos, para velocidades de soldadura de 1mm/s, la resistencia a cortadura es de 37MPa. Además, se ha conseguido fabricar muestras con menos del 2% de porosidad, lo que indica que con este proceso se pueden obtener uniones de calidad en términos de porosidad y propiedades mecánicas.*

---

# Influencia del tipo de refrigerante en el rectificado de Inconel 718 con muelas de cBN de diámetro pequeño

H. Bravo Rodríguez<sup>1</sup>, N. Ortega Rodríguez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ingeniería de fabricación Airfoils, ITPAero S.A., [h.bravo.ehu@gmail.com](mailto:h.bravo.ehu@gmail.com)

<sup>2</sup>Dpto. de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingenieros de Bilbao, [Naiara.ortega@ehu.eus](mailto:Naiara.ortega@ehu.eus)

---

*Este trabajo presenta un estudio sistemático y experimental de la eficacia y los efectos de diferentes condiciones de mecanizado al variar el fluido refrigerante en el rectificado de la aleación base níquel Inconel 718. Se emplean herramientas de cBN electrodepositado con un diámetro reducido de 12 mm, y se comparan los resultados al utilizar como refrigerantes aceite puro y emulsión de aceite. Se lleva a cabo un análisis comparativo de diversos parámetros de mecanizado, incluyendo las fuerzas de corte, las energías específicas, la potencia consumida por el husillo, la rugosidad superficial del material y el desgaste radial de la herramienta. Para garantizar una evaluación rigurosa, se emplean cinco condiciones de trabajo distintas, en las cuales varían la velocidad de corte, el avance de la herramienta y la agresividad de la operación, manteniendo las profundidades radiales y axiales de pasada constantes. Además, de cara a analizar el desgaste, se utiliza una herramienta de CBN nueva para cada condición de trabajo. El objetivo principal de este estudio es examinar cómo influye la elección del fluido refrigerante en el rectificado de Inconel 718 mediante este tipo de herramientas en el entorno de las condiciones de mecanizado utilizadas. Los resultados obtenidos podrían contribuir al desarrollo de estrategias de mecanizado más eficientes y sostenibles para materiales de alta resistencia y difícil mecanizado, como las aleaciones base níquel. Esta investigación busca proporcionar información valiosa para el avance en el campo del mecanizado abrasivo de materiales avanzados.*

---

## Fabricación y caracterización de materiales bioinspirados a partir de distintos materiales poliméricos

Leticia Aguado-Ferreira <sup>1\*</sup>, Saber Maamri <sup>1</sup>, Miguel-Ángel Lorenzo-Fernández<sup>1</sup>, Leticia Salvador-Domínguez<sup>1</sup>, Roberto Guzmán de Villoria<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dpto. de Ingeniería Mecánica. Escuela Politécnica Superior de Zamora, Spain.

Email: [\\*laguado@usal.es](mailto:*laguado@usal.es)

---

*Actualmente se requieren en la industria unas prestaciones que difícilmente se consiguen con los materiales convencionales (metálicos, cerámicos o poliméricos), por lo que se hace necesario combinarlos de manera que se obtenga unas propiedades de acuerdo con las nuevas tecnologías y requerimientos. Esta necesidad de conseguir materiales cada vez más avanzados ha impulsado el desarrollo de los materiales compuestos, en los que distintos materiales trabajan en sinergia obteniéndose materiales con una buena combinación de propiedades mecánicas y bajo peso.*

*Un tipo de materiales con alta resistencia, alta rigidez y baja densidad son los polímeros reforzados con fibra de carbono (CFRP) pero en su contra tienen que ofrecen una tenacidad relativamente baja lo que suele suponer una limitación. A pesar de los resultados positivos cuando se ha implementado esta estructura en materiales compuestos de fibra continua, los materiales bioinspirados son extremadamente complejos de escalar en la actualidad.*

*La bioinspiración ha demostrado cómo a través de diseños relativamente sencillos es posible mejorar la tolerancia al daño de materiales que a priori no exhibían buenas tolerancias. Entre los materiales biológicos, el nácar destaca por su balance entre tenacidad y resistencia. Se ha demostrado que el comportamiento de fractura de estos materiales está vinculado a múltiples escalas de longitud estructural y muestra mecanismos en varios niveles de jerarquía que contribuyen al comportamiento general. Esto conduce a que la adición de niveles de jerarquías por un lado dificulta la propagación de grietas incluso en presencia de grandes grietas previas o defectos y por otro, que este incremento también puede conducir a reducciones en la resistencia de los materiales, pero es una estrategia potencial para prevenir fallas catastróficas. Una forma de incrementar estas jerarquías es generando una serie de discontinuidades dando lugar a una estructura de pared de ladrillo semejante a la encontrada en la estructura del nácar aplicando la bioinspiración al diseño de estos materiales.*

*A pesar de los resultados positivos cuando se ha implementado esta estructura en materiales compuestos de fibra continua, los materiales bio-inspirados son extremadamente complejos de escalar en la actualidad. Basándose en los estudios anteriores de materiales bioinspirados CFRP bio-inspirados fabricados mediante laminado automático (ATL) de materiales preimpregnados a los cuales se adaptó un sistema de corte escalonado para generar la pared de ladrillo, se ha implementado esta estructura en materiales fabricados mediante fabricación aditiva para analizar la influencia de estas estructuras en el comportamiento a fractura.*

---

# Comparativa de software de detección de la superficie para tomografía computarizada en aplicaciones metrológicas

**F. Reyna Beltran<sup>1</sup>, S. Ontiveros Zepeda<sup>1</sup>, R. Jiménez Pacheco<sup>2</sup>, J. Yagüe Fabra<sup>3</sup>**

*1*Dpto. de Ingeniería Industrial. Universidad Autónoma de Baja California. [sinue.ontiveros@uabc.edu.mx](mailto:sinue.ontiveros@uabc.edu.mx)

*2*Centro Universitario de la Defensa. [rjimenez@unizar.es](mailto:rjimenez@unizar.es)

*3*Dpto. de Ingeniería de Diseño y Fabricación. Universidad de Zaragoza. [jyague@unizar.es](mailto:jyague@unizar.es)

---

*No es un secreto que la Tomografía Computarizada (TC) se ha convertido en una opción importante para el análisis y desarrollo de sistemas de manufactura. La principal razón es su capacidad de realizar múltiples análisis y la capacidad de observar dentro de la pieza en un tiempo relativamente corto en comparación con las técnicas tradicionales de medición.*

*La TC tiene múltiples factores que afectan su exactitud y precisión, quizás uno de los más importantes es la detección de la superficie ya que este proceso incide directamente en la creación del volumen 3D de la pieza de trabajo. En la actualidad existe una oferta de software comerciales y de desarrollos de software en código abierto para realizar el proceso de detección de la superficie. Algunos de estos tienen dentro de sus opciones el método clásico del umbral y otros tienen dentro de sus opciones algoritmos de detección basados en discontinuidad o la mezcla de dos o más algoritmos.*

*En este artículo se presenta una revisión de software de detección de la superficie utilizado en aplicaciones metrológicas. Cada software será analizado con la finalidad de resaltar sus ventajas y desventajas desde el punto de vista metrológico.*

---

## Diseño de manipuladores paralelos flexibles cuasi-traslacionales

O. Altuzarra<sup>1</sup>, M. Urizar<sup>1</sup>, E. Amezua<sup>1</sup>, A. Hernández<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad del País Vasco UPV/EHU. Escuela de Ingeniería de Bilbao

[oscar.altuzarra@ehu.eus](mailto:oscar.altuzarra@ehu.eus); [monica.urizar@ehu.eus](mailto:monica.urizar@ehu.eus); [enrique.amezua@ehu.eus](mailto:enrique.amezua@ehu.eus); [a.hernandez@ehu.eus](mailto:a.hernandez@ehu.eus)

---

*Los manipuladores paralelos flexibles, a diferencia de los robots convencionales formados por una serie de elementos rígidos, incorporan elementos flexibles como pueden ser barras flexibles, cables, o muelles para conectar el elemento terminal rígido a sus actuadores. Los manipuladores flexibles pueden tener diferentes configuraciones de diseño, pero en general constan de una plataforma fija y una plataforma móvil conectadas entre sí por varios elementos flexibles, en una morfología de cadena cerrada típica de la cinemática paralela. Uno de los principales retos al abordar el diseño de los manipuladores paralelos flexibles es asegurar la estabilidad y la precisión en los movimientos, ya que la elasticidad y deformación de los elementos flexibles puede afectar a la precisión del movimiento. Además, el elemento terminal sufre los llamados movimientos parásitos, inherentes a la flexibilidad de las barras, los cuales complican el análisis de este tipo de manipuladores flexibles.*

*En el ámbito de los manipuladores paralelos rígidos, podríamos decir que el robot Delta es uno de los más conocidos, y sin duda, una de las opciones más populares en la industria al ser capaz de adaptarse a una amplia gama de aplicaciones (la industria de la electrónica, la alimentación, la farmacéutica, etc). El Delta es un mecanismo traslacional que suele presentarse con un sistema de rotación adicional en el elemento terminal para generar movimientos de pick and place de 4 grados de libertad. En este artículo, los autores presentan el diseño de una familia de manipuladores paralelos flexibles tipo Delta, con barras flexibles, resolviendo tanto su cinemática directa como inversa. Posteriormente, se analizarán su espacio de trabajo y el ángulo parásito que se genera en la plataforma móvil debido a la elasticidad de las barras, con el objetivo extraer la zona óptima del espacio de trabajo en la que el movimiento de la plataforma móvil sea cuasi-traslacional.*

---

# Análisis cinemático y dinámico del dispositivo BALANCE para diagnóstico y rehabilitación

E. Macho Mier<sup>1</sup>, A. Schmedling Casas<sup>1</sup>, P. Diego Martín<sup>1</sup>, S. Herrero Villalibre<sup>1</sup>, F.J. Campa Gómez<sup>1</sup>,  
M. Diez Sánchez<sup>1</sup>, J. Corral Sáiz<sup>1</sup>, R. Valenzuela Montes<sup>1</sup>, C. Pinto Camara<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad del País Vasco UPV/EHU,

[erik.macho@ehu.eus](mailto:erik.macho@ehu.eus), [adrian.schmedling@ehu.eus](mailto:adrian.schmedling@ehu.eus), [paul.diego@ehu.eus](mailto:paul.diego@ehu.eus), [saioa.herrero@ehu.eus](mailto:saioa.herrero@ehu.eus), [fran.campa@ehu.eus](mailto:fran.campa@ehu.eus),  
[mikel.diez@ehu.eus](mailto:mikel.diez@ehu.eus), [j.corral@ehu.eus](mailto:j.corral@ehu.eus), [ruben.valenzuela@ehu.eus](mailto:ruben.valenzuela@ehu.eus), [charles.pinto@ehu.eus](mailto:charles.pinto@ehu.eus)

---

*Este trabajo de investigación presenta la metodología del análisis cinemático y dinámico llevado a cabo en el proceso de desarrollo de la máquina BALANCE, compuesta de dos manipuladores paralelos de baja movilidad de tipo RRU-3RSS. Este dispositivo se enmarca en un acuerdo de colaboración con el personal médico del Hospital Gorliz del sistema sanitario público vasco, para la innovación en el diseño de equipos destinados al diagnóstico objetivo del grado de afectación de la función del equilibrio en pacientes afectados de daño neurológico, así como a la realización de los correspondientes ejercicios de rehabilitación de la función de la marcha.*

*Se presenta en primer lugar el planteamiento del sistema de ecuaciones de posición que relaciona las 4 variables de entrada y las 4 variables de salida de cada una de las plataformas, y permite resolver de manera desacoplada los distintos modos de trabajo (soluciones del problema inverso) de cada una de las cadenas cinemáticas. A continuación, se describe el planteamiento analítico de los problemas cinemáticos lineales de velocidad y aceleración, incluida la obtención de la matriz Jacobiana del problema directo, lo cual constituye la base para poder realizar los pertinentes análisis de singularidades. Así mismo, junto con el análisis de dinámica inversa ordinario, se presenta una metodología de análisis cuasiestático que ha permitido plantear un enfoque alternativo que minimiza el coste matemático para realizar la detección del paso por posiciones singulares a lo largo del movimiento.*

*Finalmente, se describe una herramienta de cálculo generada tras la realización de todos los estudios teóricos, que implementa los algoritmos que materializan las conclusiones de los mismos. Una característica a destacar de esta herramienta, programada como una hoja de Microsoft Excel es que, al cambiar el valor de cualquier parámetro geométrico del mecanismo, es capaz de actualizar en tiempo real los resultados de cualquier análisis cinemático o de fuerzas, lo cual ha permitido agilizar el proceso de síntesis dimensional.*

---

## Diseño del hexápodo de ATHENA ISM

Jorge Múgica Beltrán<sup>1</sup>, Joseba Zubia Zabala<sup>2</sup>, Asunción Illarramendi Leturia<sup>3</sup>, Pablo Campo Ezquibela<sup>4</sup>,  
Gonzalo Taubmann Montes<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Dpto. de Sistemas electromecánicos, SENER Aeroespacial, jorge.mugica@aeroespacial.sener

<sup>2</sup>Dpto. de Ingeniería de Comunicaciones, UPV/EHU, joseba.zubia@ehu.eus

<sup>3</sup>Dpto. de Física Aplicada, UPV/EHU, ma.illarramendi@ehu.eus

<sup>4</sup>Dpto. de Sistemas electromecánicos, SENER Aeroespacial, pablo.campo@aeroespacial.sener

<sup>5</sup>Dpto. de Sistemas electromecánicos, SENER Aeroespacial, gonzalo.taubmann@aeroespacial.sener

---

*El presente trabajo expone el proceso seguido en el diseño cinemático del hexápodo del Mecanismo de Selección de Instrumentos (ISM) para el observatorio de rayos X ATHENA de la Agencia Espacial Europea. El ISM es un manipulador paralelo que posiciona el espejo de 3 metros de diámetro de ATHENA en 6 grados de libertad. El objetivo del ISM es enfocar los rayos X en cada uno de los detectores que porta el satélite en su plano focal. El hexápodo consta de 6 actuadores rotativos que tienen un error máximo de 40 arcsec debido a la histéresis y a la cuantización. Se ha desarrollado un método gráfico para obtener los parámetros geométricos que caracterizan al hexápodo y que minimizan el efecto de los errores de los 6 actuadores en los 6 grados de libertad del espejo. La selección de estos parámetros garantiza que el mecanismo alcance todas las posiciones objetivo para el espejo, además de maximizar la resolución en los grados de libertad de este. El método desarrollado permite iterar rápidamente el diseño ante subsecuentes cambios en los requisitos a lo largo del proyecto. Se ha obtenido una precisión de 55  $\mu\text{m}$  en posicionamiento y de 5 arcsec en apunte en el peor escenario.*

---

## Análisis matemático de mecanismos subactuados para su implementación en manos protésicas

**E. Soriano Heras<sup>1</sup>, H. Rubio Alonso<sup>2</sup>, R. Barber Castaño<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad Carlos III de Madrid. [esoriano@ing.uc3m.es](mailto:esoriano@ing.uc3m.es)

<sup>2</sup>Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad Carlos III de Madrid. [hrubio@ing.uc3m.es](mailto:hrubio@ing.uc3m.es)

<sup>3</sup>Dpto. de Ingeniería de Sistemas y Automática. Universidad Carlos III de Madrid. [rbarber@ing.uc3m.es](mailto:rbarber@ing.uc3m.es)

---

*Las prótesis son un elemento de gran importancia y necesidad para muchas personas que han sufrido amputaciones o carecen de algún miembro de su cuerpo; sin embargo, las prótesis suelen tener precios muy elevados, por lo que no son accesibles para todas las personas que quieran utilizarlas. Por ello, los mecanismos subactuados en prótesis de mano permiten una alternativa funcional y útil para ellos. En este artículo se realiza el diseño y análisis matemático de un dedo subactuado para prótesis de mano. Así, el dedo puede ser accionado mediante un único motor, basado en materiales con memoria de forma, siendo los dedos protésicos capaces de recuperar una posición preestablecida. El análisis matemático de los dedos subactuados para manos protésicas, permite comprobar el movimiento debido a los resultados de trayectoria, velocidad y aceleración. Los resultados son apropiados para prótesis de mano, con velocidad suficiente pero no demasiado alta, lo que ayuda a prolongar la vida útil de la prótesis.*

---

## Evolución de la fatiga superficial en engranajes de acero al carbono

J. Elizegi Aiertza<sup>1,2</sup>, J. Larrañaga Amilibia<sup>1</sup>, A. Arana Ostolaza<sup>1</sup>, M. Izquierdo Ortiz de Landaluce<sup>1</sup>,  
I. Ulacia Garmendia<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Dpto. de Mecánica y Producción Industrial. Mondragon Unibertsitatea, Arrasate-Mondragón, España.

<sup>2</sup>Dpto. de Ingeniería e I+D. GH Cranes & Components, Beasain, España.

\*iulacia@mondragon.edu

---

Los engranajes rectos de aceros de bajo contenido de carbono se utilizan ampliamente en aplicaciones de baja exigencia debido a su bajo costo y simplicidad de fabricación. Uno de los fallos más comunes de estos engranajes es el fallo por fatiga de contacto superficial, también conocida como pitting o spalling. En muchas aplicaciones en las que no se pone en riesgo la vida humana y el costo de fabricación de la transmisión debe mantenerse bajo, se pueden aceptar altos niveles de pitting o spalling. Sin embargo, incluso si el sistema de engranajes parece funcionar correctamente, con el tiempo, el spall continúa creciendo, lo que lleva a un aumento de las amplitudes de vibración y el ruido emitido por la caja de engranajes y, en consecuencia, al fallo de la transmisión si no se toman medidas preventivas.

Los estándares de dimensionamiento de engranajes definen el criterio de fallo por fatiga de contacto superficial de la transmisión cuando la picadura o pit crece progresivamente (AGMA 2101) o cuando el área dañada por picaduras alcanza el 4% de la superficie del flanco del engranaje (ISO 6336). Estos criterios de fallo son muy conservadores, ya que se han definido con el objeto de diseñar transmisiones de engranajes altamente exigentes (empleando aceros aleados y tratados térmicamente) y, por lo tanto, tienden a sobredimensionar aplicaciones de menor exigencia. Dado que no existen criterios de fallo estandarizados para estas últimas aplicaciones, en estos casos no se suele controlar el daño por pitting y los engranajes siguen funcionando hasta que los niveles de vibración y/o ruido emitido por los engranajes se vuelven inaceptables. Por lo tanto, si no se realiza un seguimiento de la evolución del pitting, no se conoce la relación directa entre el área dañada y el aumento de la vibración y el ruido.

Por todas estas razones, este artículo analiza experimentalmente la evolución de la fatiga por contacto superficial de los engranajes rectos de acero de bajo contenido de aleación de carbono y sus consecuencias en el rendimiento de la transmisión en términos de amplitud de vibración. El objetivo final del trabajo sería definir un tamaño de picadura permitido y reducir el sobredimensionamiento de la transmisión.

---

# Un planteamiento para la síntesis dimensional óptima de mecanismos espaciales

Vanessa García-Marina<sup>1</sup>, Álvaro Noriega<sup>2</sup>, Haritz Uriarte<sup>1</sup>, Igor Fernández de Bustos<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad del País Vasco, [vanessa.garcia@ehu.eus](mailto:vanessa.garcia@ehu.eus), [haritz.uriarte@ehu.eus](mailto:haritz.uriarte@ehu.eus), [igor.fernandezdebustos@ehu.eus](mailto:igor.fernandezdebustos@ehu.eus)

<sup>2</sup> Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Oviedo, [noriegaalvaro@uniovi.es](mailto:noriegaalvaro@uniovi.es)

---

*Hasta la fecha la mayoría de autores que han trabajado en el campo de la síntesis cinemática se han centrado habitualmente para mecanismos planos, especialmente en el caso de metodologías generales. En contraposición, para mecanismos espaciales se suelen formular metodologías que sirven para una topología espacial particular. Esto se debe sobre todo al hecho de que hasta hace pocos años los ordenadores no eran capaces de resolver en un tiempo razonable este tipo de problemas por su elevado coste computacional. Además, el hecho de trabajar en el espacio supone la necesidad de trabajar con las orientaciones de los mecanismos, lo cual plantea otro problema y consiste en elegir un sistema de representación de la orientación adecuado, que resuelva problemas de indefinición y/o redundancia. No obstante, con los actuales avances cada vez hay más recursos a disposición de los investigadores para resolver problemas que puedan incluir mecanismos más complejos e incluso espaciales. Los autores de este artículo han trabajado en síntesis cinemática de mecanismos planos con una función de error basada en la mínima distancia del mecanismo a una serie de requerimientos en cada uno de los puntos de síntesis. En general ha resultado ser una metodología bastante robusta. Obviamente, el siguiente paso es generalizar este planteamiento de mínima distancia a mecanismos espaciales. Para ello, dado que los autores han trabajado también en dinámica de sistemas de multicuerpo tridimensionales, cuentan con toda la infraestructura de análisis cinemático en 3D. En este documento se presenta un planteamiento preliminar para la síntesis de mecanismos espaciales. La función de error se plantea en base a conceptos de distancia entre la posición del mecanismo y la deseada. Estas posiciones se definen en función de la posición del centro de gravedad de los sólidos y la orientación de los sólidos. El problema se plantea como la minimización de una función (la de la suma de las distancias en cada punto de síntesis) que a su vez incluye otra optimización (la resolución del problema de posición). Para resolver el problema de posición se pretende emplear un método SQP (Sequential Quadratic Problems) basado en el método de Newton con derivadas analíticas, mientras que para la resolución de la síntesis se pretende emplear un método SQP, inicialmente obteniendo las derivadas de forma numérica.*

---

# Desarrollo de un procedimiento para la optimización topológica de estructuras de sección heterogénea

A. Garaigordobil<sup>1</sup>, J.A. Postigo<sup>1</sup>, R. Ansola<sup>1</sup>, J. Canales<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad del País Vasco.

[alain.garaigordobil@ehu.eus](mailto:alain.garaigordobil@ehu.eus), [joseantonio.postigo@ehu.eus](mailto:joseantonio.postigo@ehu.eus), [ruben.ansola@ehu.eus](mailto:ruben.ansola@ehu.eus), [javier.canales@ehu.eus](mailto:javier.canales@ehu.eus)

---

*Este trabajo presenta un procedimiento integrado de optimización de topología para estructuras ligeras de sección heterogénea. Esta sección está formada por un núcleo o “infill” y reforzada con una cáscara o “shell”, siendo el núcleo más liviano y el material de la cáscara más rígido. El método se basa en el Sequential Element Rejection and Admission (SERA) method, un método de optimización de topología con variables discretas y se enfoca al diseño de componentes de máxima rigidez. El área donde se sitúa la cáscara se controla con un procedimiento desarrollado en el campo del procesado digital de imágenes, conocido como Smallest Univalve Segment Assimilating Nucleous (SUSAN), que compara la intensidad de los elementos del dominio con los de su alrededor para detectar contornos. Las propiedades mecánicas y másicas del material del núcleo se relacionan con las del material de la cáscara mediante unos coeficientes de ponderación, y en cada iteración del problema se aplica una ecuación de interpolación que combina dichos valores para obtener una pieza del tipo “shell-infill”. La validez del procedimiento se ha verificado mediante la resolución de diversos ejemplos numéricos de aplicación.*

---

# Reducción de un modelo dinámico no-lineal de viga mediante la técnica basada en datos DMDc

M. Merino Olagüe<sup>1</sup>, A. Plaza Puértolas<sup>1</sup>, B. Andueza Olartua<sup>1</sup>, X. Iriarte Goñi<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Dpto. de Ingeniería. Universidad Pública de Navarra. [mikel.merino, aitor.plaza, xabier.iriarte]@unavarra.es, andueza.133102@e.unavarra.es

<sup>2</sup> Institute of Smart Cities (ISC). Universidad Pública de Navarra. xabier.iriarte@unavarra.es

---

*El algoritmo DMD (Dynamic Mode Decomposition o Descomposición de Modos Dinámicos) es una técnica basada en datos que realiza una descomposición espacio-temporal de la que se extraen los modos dinámicos que caracterizan la dinámica de un determinado sistema. Permite obtener modelos lineales de orden reducido a partir de datos obtenidos de sistemas dinámicos que pueden ser altamente no-lineales.*

*En este trabajo se ha utilizado este algoritmo para obtener modelos de orden reducido de una viga elástica en voladizo no-lineal. Para ello, se ha comenzado modelando la viga mediante el método de los elementos finitos (FEM) y llevándose a cabo simulaciones dinámicas ante cargas variables. Se han obtenido datos de desplazamientos, velocidades y aceleraciones, los cuales se han utilizado para la aplicación del algoritmo DMD. En este caso, al tenerse fuerzas externas actuando en el sistema, también se han obtenido sus series temporales para posteriormente utilizarlas en la versión del algoritmo denominada DMDc (Dynamic Mode Decomposition with control).*

*Una vez obtenidos estos modelos lineales, se han utilizado para repetir las mismas simulaciones dinámicas realizadas mediante FEM anteriormente. Se ha comprobado que los modelos obtenidos mediante DMD y DMDc obtienen resultados comparables a los obtenidos mediante FEM con un ahorro considerable en lo que a coste computacional se refiere.*

---

## Optimización de topología para el diseño de estructuras reforzadas con fibra continua mediante Fabricación Aditiva

José Antonio Postigo Martín<sup>1</sup>, Alain Garaigordobil Jiménez<sup>2</sup>, Rubén Ansola Loyola<sup>3</sup>, Javier Canales Abaitua<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Dpto. de Ingeniería Mecánica. Escuela de Ingeniería de Bilbao. UPV/EHU. [joseantonio.postigo@ehu.eus](mailto:joseantonio.postigo@ehu.eus)

<sup>2</sup> Dpto. de Ingeniería Mecánica. Escuela de Ingeniería de Bilbao. UPV/EHU. [alain.garaigordobil@ehu.eus](mailto:alain.garaigordobil@ehu.eus)

<sup>3</sup> Dpto. de Ingeniería Mecánica. Escuela de Ingeniería de Bilbao. UPV/EHU. [ruben.ansola@ehu.eus](mailto:ruben.ansola@ehu.eus)

<sup>4</sup> Dpto. de Ingeniería Mecánica. Escuela de Ingeniería de Bilbao. UPV/EHU. [javier.canales@ehu.eus](mailto:javier.canales@ehu.eus)

---

*En el presente trabajo se expondrá una formulación de la optimización de topología aplicada a la fabricación aditiva. Esta metodología de fabricación otorga una gran flexibilidad en la elaboración de piezas complejas y abre una amplia gama de oportunidades de diseño, incluso la capacidad de variar localmente las propiedades mecánicas de la pieza. Este artículo tiene como objetivo explotar esta característica mediante el desarrollo de un método de optimización de topología para estructuras compuestas, formadas por una estructura base y un recubrimiento (“Coated-Structures”). Para tal fin, se parte del método “Solid Isotropic Material with Penalization” (SIMP), al cual se le aplica una extensión para extraer el recubrimiento de la pieza, utilizando un procedimiento empleado en visión artificial denominado “Smallest Univalve Segment Assimilating Nucleus” (SUSAN). De esta forma, se logra aislar el recubrimiento de la estructura, obteniendo dos dominios materiales, el dominio del recubrimiento y el de la estructura base. Partiendo de esto, en este trabajo se presentan tres problemas diferentes. En primer lugar, la optimización de la pieza considerando diferentes propiedades en el recubrimiento y la base, en los que en ambos dominios las propiedades del material son isotrópicas y homogéneas, configurando así el problema principal. En segundo lugar, se aplica una restricción de volumen local a la base, con el objetivo de optimizar una estructura porosa de tipo “Shell-Infill”. Finalmente, se reformula el problema inicial para considerar materiales ortótropos, con el propósito de optimizar una pieza fabricada mediante “Continuous Fiber Fabrication” (CFF), en el que las fibras del recubrimiento se orientan siguiendo direcciones concéntricas a la estructura y en la base toman una orientación única y uniforme. Los resultados mostrados en este documento confirman la eficacia de la metodología propuesta para optimizar este tipo de estructuras.*

---

# Análisis numérico de la formación de ondas estacionarias en lagos

J. G. Gomes de Oliveira<sup>1</sup>, M. Kessler<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Matemática Aplicada a la Ingeniería Industrial, Universidad Politécnica de Madrid,  
joaogabriel.gomes@upm.es

<sup>2</sup> Instituto ESSS, Engineering Simulation and Scientific Software, martin@esss.co

---

*En este trabajo se presenta un estudio numérico de la formación de ondas estacionarias en lagos. Este fenómeno se produce en medios acuáticos estratificados, provocados por variaciones térmicas o salinas. Por otro lado, aparecen en la superficie libre de lagos que presentan desnivel de agua ocasionado por inestabilidades como el viento y la lluvia. Se simularon dos casos de flujos bifásicos en un depósito cerrado e inclinado, un líquido-líquido (caso 1) y otro gas-líquido (caso 2). El dominio computacional consiste en un rectángulo inclinado con longitud de 6 m y altura de 0.29 m y de 0.25 m para los casos 1 y 2, respectivamente. Se realizaron simulaciones de régimen transitorio para ángulos de 0.5°, 0.75°, 1° y 1.5°, con respecto a la horizontal, para el primer caso y de 0.5° para el segundo. Las ecuaciones de gobierno fueron resueltas numéricamente por el Método de Volúmenes Finitos (FVM), utilizando herramientas de Dinámica de Fluidos Computacional (CFD). Los resultados numéricos se presentan mediante contornos de densidad en el tiempo y por la evolución del desplazamiento de la interfaz en el centro del depósito. El modelo numérico fue validado a través de resultados experimentales y comparado con resultados numéricos, presentes en la literatura, obtenidos con distinta metodología. Se observaron pequeñas variaciones en la amplitud y en el período de las ondas estacionarias por las diferencias de las propiedades del fluido, malla computacional, esquemas de reconstrucción de la interfaz y métodos de discretización espacial.*

---

# Estudio estadístico de la influencia de los errores inherentes de fabricación en el *Mesh Load Factor* de transmisiones planetarias

J. Sánchez Espiga<sup>1</sup>, A. Díez Ibarbia<sup>1</sup>, A. Fernández del Rincón<sup>1</sup>, M. Iglesias<sup>1</sup>, F. Viadero<sup>1</sup>, J. Calvo Irisarri<sup>2</sup>, A. Fernández Sisón<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dpto. Ingeniería Estructural y Mecánica, Universidad de Cantabria [sanchezespig@unican.es](mailto:sanchezespig@unican.es),

<sup>2</sup>Siemens Gamesa Renewable Energy, Parque Tecnológico de Bizkaia, 48170 Zamudio, España

---

*Este trabajo propone un estudio estadístico del comportamiento de las transmisiones planetarias, representado por su Mesh load factor ( $K_y$ ), afectada por la presencia de errores inherentes a la fabricación de estas transmisiones. Más concretamente, los errores considerados son los de espesor en los dientes y los errores tangenciales de montaje de los planetas en el portaplanetas. Este estudio se lleva a cabo empleando el Método de Monte Carlo (MMC). Se define un número suficiente de casos de estudio que proporcione los resultados necesarios para determinar las probabilidades de fabricación de componentes que no cumplan con los límites establecidos por la norma IEC 61400 para el parámetro  $K_y$  en transmisiones planetarias de aerogeneradores. Además, se estudia el efecto de la presencia combinada de los errores y por tanto la interacción entre estos y las características de las transmisiones, así como su influencia en el  $K_y$ .*

---

## Dispositivo para caracterización de superficie y validación de modelos de estimación de adherencia

I. Sánchez<sup>1</sup>, J. Pérez<sup>1</sup>, J. Velasco<sup>1</sup>, I. García<sup>1</sup>, J.A. Cabrera<sup>1</sup>, J.J. Castillo<sup>1</sup>, M. Sánchez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dpto. de Ingeniería Mecánica, Térmica y de Fluidos, Universidad de Málaga, nsanchez@uma.es, javierperez@uma.es, juanmav@uma.es, igmartinez@uma.es, jcabrera@uma.es, juancas@uma.es

<sup>2</sup>Dpto. de Ingeniería Mecánica y Energía, Universidad Miguel Hernández de Elche, msanchez@umh.es

*En el campo de la dinámica vehicular y los sistemas de seguridad, la interacción neumático-carretera sigue siendo uno de los problemas más estudiados dada su relevancia en el comportamiento del vehículo, ya que es a través de la huella del neumático desde donde se transmiten todas las fuerzas.*

*La determinación rápida y precisa del coeficiente de adherencia ( $\mu$ ) entre el neumático y la superficie de contacto es fundamental para mejorar la respuesta de los sistemas de control. Sin embargo, no se trata de una tarea sencilla. La bibliografía especializada ha abordado este problema desde enfoques como el deslizamiento experimentado, el reconocimiento de patrones, el uso de cámaras para analizar la superficie o el análisis del sonido de rodadura.*

*En este trabajo se propone el diseño de un dispositivo para la medición de la adherencia y rugosidad de superficie. Se pretende emplear la información aportada por este dispositivo como marco de referencia para el ajuste y validación del comportamiento de algoritmos de estimación y control, basados en técnicas de Machine Learning o Deep Learning. Estos sistemas se encargan de recabar la información aportada por los sensores instalados en los vehículos y de realizar una estimación del coeficiente de adherencia. Dichos algoritmos deben ser capaces de detectar el tipo de superficie sobre la que circula el vehículo y proporcionar, en tiempo real, una estimación precisa del coeficiente de adherencia para lograr un control óptimo.*

*Para tal fin, se ha diseñado y fabricado un dispositivo capaz de caracterizar cada superficie obteniendo su coeficiente de adherencia y perfil de rugosidad característicos. Un patín deslizante monitoriza la carga vertical soportada por el dispositivo y la carga longitudinal generada por el arrastre sobre la superficie. La relación entre ambas variables aporta el coeficiente de adherencia. De manera simultánea, un sistema láser captura el perfil de rugosidad de la superficie con el fin de realizar una caracterización completa. Además, el sistema dispondrá de la automatización necesaria para garantizar la trazabilidad de las condiciones de ensayo y la repetibilidad de los resultados.*

# Análisis de fuerzas longitudinales para el sistema de bajo nivel en el vehículo autónomo iCab

Pablo Marín Plaza<sup>1</sup>, María Garrosa Solana<sup>1</sup>, José Luis San Román García<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de ingeniería mecánica, Universidad Carlos III de Madrid, [pamarinp@ing.uc3m.es](mailto:pamarinp@ing.uc3m.es), [mgarrosa@ing.uc3m.es](mailto:mgarrosa@ing.uc3m.es), [jlsanro@ing.uc3m.es](mailto:jlsanro@ing.uc3m.es)

---

*El presente trabajo es la continuación del proyecto iCab (Intelligent Campus Automobile) donde se establecieron las bases de control longitudinal de bajo nivel de un carrito de golf dotado de aceleración y freno mecanizado. El objetivo principal es analizar la viabilidad de incorporar un sistema de control regulado usando las entradas de control de aceleración y freno para poder alcanzar una velocidad y aceleración deseada incluso en pendientes ascendentes y descendentes. El artículo expone cómo se han obtenido las ecuaciones de la aceleración basándose en la experimentación y extrayendo el modelo tanto del motor eléctrico que proporciona aceleración positiva al vehículo en forma de PWM (Pulse Width Modulation), como del motor lineal que actúa en el sistema de frenada aportando la aceleración negativa al vehículo en forma de elongación en milímetros presionando la placa de distribución de frenos.*

*La aceleración se obtiene mediante el comando de imitación del estátor del motor del vehículo (PWM), un motor de corriente continua con escobillas donde se imana el estátor de forma variable atendiendo a las necesidades de par para determinar la aceleración. Por otro lado, el freno se activa mediante la elongación de un motor lineal aplicado directamente sobre el cable tensor de distribución de freno que actúa en los tambores de freno de las ruedas traseras. Este motor lineal se mantiene en una posición en milímetros determinada para aplicar la deceleración obtenida mediante experimentación.*

*El control actual se basa en un sistema doble PID (Proportional Integral Derivative) que controla por separado acelerador y freno con la configuración independiente para cada sistema. La novedad de este trabajo reside en la incorporación de un sistema de medida inercial IMU para una actuación temprana en pendientes ascendentes y descendentes y mantener la velocidad proporcionada por el controlador de alto nivel. Se hará un estudio de los sistemas de control de cruce más comunes y se sacarán las ecuaciones de estado del vehículo mediante el modelado en espacio de estados.*

*El principal objetivo del cambio de control de doble PID es la reacción retrasada de la activación del freno cuando hay un cambio de pendiente debido al mecanismo de actuación lineal del freno. El sistema de freno tarda aproximadamente medio segundo en aplicar una deceleración acorde a la pendiente del terreno descendente y por ello, el vehículo en ese tiempo se acelera provocando una sensación de inseguridad a los pasajeros. Este trabajo trata sobre analizar cuál es el mejor método para minimizar este retraso e implementarlo en un futuro trabajo.*

*El trabajo está dividido en cuatro capítulos. El primer capítulo trata sobre el estado del arte de los controladores longitudinales, el segundo define los actuadores de la plataforma de investigación iCab como acelerador y freno, el tercero extrae el modelo dinámico y se exponen los experimentos llevados a cabo. Finalmente, en el cuarto capítulo se muestra el trabajo futuro de la integración del controlador para la plataforma de desarrollo e investigación.*

---

## Modelo de caracterización de emisiones contaminantes emitidas por un vehículo ligero en conducción urbana

S. Sanz Sánchez<sup>1</sup>, E. Olmeda Santamaría<sup>2</sup>, M. Garrosa Solana<sup>3</sup>, V. Díaz López<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad Carlos III de Madrid. [ssanz@ing.uc3m.es](mailto:ssanz@ing.uc3m.es)

<sup>2</sup>Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad Carlos III de Madrid. [eolmeda@ing.uc3m.es](mailto:eolmeda@ing.uc3m.es)

<sup>3</sup>Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad Carlos III de Madrid. [mgarros@ing.uc3m.es](mailto:mgarros@ing.uc3m.es)

<sup>4</sup>Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad Carlos III de Madrid. [vdiaz@ing.uc3m.es](mailto:vdiaz@ing.uc3m.es)

---

*Cada vez son más los problemas causados debido a la contaminación atmosférica, desencadenados por el uso irresponsable de la energía y de los escasos recursos con los que contamos. Se han demostrado en repetidas ocasiones las consecuencias nocivas para la vida terrestre, siendo los ecosistemas uno de los primeros perjudicados y por ende la vida humana se ve afectada desfavorablemente. Es por eso que, urge la necesidad de encontrar soluciones efectivas para disminuir la contaminación atmosférica. Numerosos estudios muestran que uno de los principales focos de contaminación es el tráfico rodado. Aunque actualmente se ha mejorado mucho esta situación, mediante la implementación de planes de mejora de la calidad del aire, es importante buscar otras alternativas.*

*El presente trabajo busca optimizar las emisiones de los vehículos mediante la regulación eficiente de semáforos. Son múltiples las veces que varios vehículos se encuentran estáticos en un paso de peatones mientras que no hay peatones cruzando por este o en el caso contrario, un único peatón acciona un semáforo con pulsador cortando la circulación de varios vehículos. Para ello se medirán los contaminantes generados por un vehículo ligero con un motor de combustión en una conducción urbana. Se plantea un modelo multivariable que permite, a través de la caracterización de estados potenciales de un vehículo, determinar la cantidad de contaminación emitida por el tubo de escape durante una conducción urbana. En concreto, se han tomado mediciones sobre cuatro de los contaminantes atmosféricos más nocivos y que más afectan a la población de las ciudades: CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y PM.*

*Se concluye una buena correlación del modelo con los casos reales estudiados pero se valora la posibilidad de mejorar los niveles de contaminación debida al tráfico urbano estudiando la optimización de la regulación de tráfico mediante el uso del software PTV Vissim.*

---

# Diseño de un sistema de control en pelotón heterogéneo para vehículos automatizados

Fernando Viadero-Monasterio<sup>1</sup>, Manuel Jiménez-Salas<sup>1</sup>, Miguel Meléndez-Useros<sup>1</sup>, Beatriz López Boada<sup>1</sup>,  
María Jesús López Boada<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad Carlos III de Madrid.

[fviadero@ing.uc3m.es](mailto:fviadero@ing.uc3m.es), [manuejim@ing.uc3m.es](mailto:manuejim@ing.uc3m.es), [mmelende@ing.uc3m.es](mailto:mmelende@ing.uc3m.es), [bboada@ing.uc3m.es](mailto:bboada@ing.uc3m.es), [mjboada@ing.uc3m.es](mailto:mjboada@ing.uc3m.es)

---

*En este trabajo se ha diseñado un sistema robusto de seguimiento de pelotón heterogéneo para vehículos automatizados. La aceleración de cada vehículo se controla según el estado del vehículo predecesor, el cual se puede conocer mediante un RADAR, y el estado del vehículo líder, obtenido mediante comunicación V2V. La estabilidad del pelotón se garantiza mediante el criterio de Lyapunov. El control propuesto es robusto según  $H_\infty$ . Para lidiar con la no convexidad del problema, se ha presentado un algoritmo iterativo que permite lograr una solución de forma sencilla. Los resultados de simulación prueban que el método propuesto logra tanto el seguimiento del pelotón sin comprometer la seguridad de ningún vehículo, como el mantener la posición de cada vehículo seguidor en un rango adecuado, siempre próximo a la referencia deseada.*

---

## SIMBIKE ELECTRIC, una herramienta para la simulación de motocicletas de competición eléctricas

A. Noriega González<sup>1\*</sup>, A. Navarro Rodríguez<sup>2</sup>, P. García Fernández<sup>2</sup>, Ramy Georgious<sup>2</sup>,  
Juan M. Guerrero<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dpto. de Construcción e Ingeniería de Fabricación. Universidad de Oviedo. [noriegaalvaro@uniovi.es](mailto:noriegaalvaro@uniovi.es)

<sup>2</sup> Dpto. de Ingeniería Eléctrica, Electrónica, de Comunicaciones y de Sistemas. Universidad de Oviedo. [navarroangel@uniovi.es](mailto:navarroangel@uniovi.es), [garciafpablo@uniovi.es](mailto:garciafpablo@uniovi.es), [georgiousramy@uniovi.es](mailto:georgiousramy@uniovi.es), [guerrero@uniovi.es](mailto:guerrero@uniovi.es)

---

*Las motocicletas eléctricas de competición son vehículos que se caracterizan por desarrollar unas elevadas aceleraciones, tener un peso elevado y una autonomía pequeña. Durante su diseño, se busca obtener una integración de la batería y el grupo motopropulsor en el chasis de la motocicleta de manera que esta pueda realizar su función de una manera óptima, desde el punto de vista del rendimiento. Este proceso de diseño se ve simplificado porque las condiciones de operación de la motocicleta en el circuito son repetibles y porque es relativamente sencillo realizar una simulación de la motocicleta en dichas condiciones incluyendo un modelo térmico y un modelo eléctrico simplificados, además del modelo simplificado de la dinámica vehicular, dando lugar a una simulación multifísica simplificada.*

*Para llevar a cabo esta tarea, se ha desarrollado la herramienta SIMBIKE ELECTRIC, la cual permite estimar las prestaciones globales (aceleración, velocidad máxima, tiempo por vuelta), el consumo de energía, la regeneración alcanzable y el calor que se genera en los distintos componentes eléctricos y que hay que evacuar con los sistemas de refrigeración.*

*Esta herramienta permite simular distintos diseños de motocicleta así como ajustar diversos parámetros de puesta a punto de la misma (por ejemplo, la curva de par del motor, el desarrollo escogido para la transmisión, la posición del centro de masas, ..., etc ) y distintas trazadas en el circuito de manera sencilla. La simulación obtenida es robusta y muy eficiente, trabajando por debajo de tiempo real y facilitando su uso en un proceso de obtención de la configuración óptima tanto para el diseño como para la puesta a punto de la motocicleta.*

*La herramienta desarrollada se ha validado comparando las prestaciones calculadas con las obtenidas por la motocicleta eléctrica del equipo de la Universidad de Oviedo en las pruebas dinámicas de la competición Motostudent Electric celebrada en 2021 en el circuito de Motorland Aragón.*

---

# Desarrollo de un nuevo procedimiento de inspección en ITV de frenos de servicio de tractores (vehículos de categoría T) basado en la obtención de la deceleración media

Ó. Cuadrado Sempere <sup>1</sup>, M. Fabra Rodríguez <sup>1</sup>, A. R. Navarro Arcas <sup>1</sup>, F. J. Simón Portillo <sup>1</sup>,  
E. Velasco Sánchez <sup>1</sup>, M. Sánchez Lozano <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Universitario de Investigación en Ingeniería de Elche, I3E. Universidad Miguel Hernández de Elche.  
ocuadrado@umh.es, mfabra@umh.es, abel.navarro@umh.es, f.simon@umh.es, emilio.velasco@umh.es, msanchez@umh.es.

*Este estudio se centra en la obtención de la deceleración media en la prueba de frenado de vehículos en la Inspección Técnica de Vehículos (ITV) en España. Se ha observado que el método de cálculo de la deceleración media no está completamente definido en el manual de ITV, lo que puede llevar a diferentes resultados y a una posible aceptación o rechazo de la prueba en función del equipo y procedimiento seleccionado. Para abordar esta cuestión, se han llevado a cabo una serie de ensayos en diferentes vehículos, con diferentes equipos, así como distintos métodos de cálculo de la deceleración media y se han obtenido conclusiones relevantes. Entre las conclusiones obtenidas, se ha observado que la selección del método de cálculo, así como el equipo de medida es crucial para garantizar resultados fiables. Además, se ha identificado que la ejecución del ensayo y la experiencia del personal es fundamental. En este estudio se ha demostrado que el método de cálculo de la deceleración media no está completamente definido en el manual de ITV y se propone un procedimiento de inspección para uniformizar el proceso de obtención de la deceleración media en la prueba de frenado de vehículos. Este procedimiento incluye el uso de una pista segura, acotada y definida, marcas de inicio de aceleración y frenado, un decelerómetro por GPS, un velocímetro portátil o en pista, y un procesado de datos que no incluya los tramos inicial y final de la curva de deceleración. Además, se detecta que los umbrales de aceptación de la prueba pueden estar obsoletos y se proponen revisar para establecer unos nuevos más de acorde al nuevo procedimiento propuesto. Este trabajo ha sido realizado en el marco de la Cátedra ITEVEBASA de la Universidad Miguel Hernández de Elche. Cuyo fin es mejorar el sector de ITV que debe estar en constante evolución con el fin de mejorar la seguridad vial y proteger el medioambiente. Evidentemente esto requiere de continuar con desarrollos tecnológicos que se puedan aplicar en las estaciones ITV.*

## Modelado de la segregación del polvo en el proceso de fabricación aditiva Láser DED multi-material utilizando simulación CFD

M. Ostolaza Gaztelupe<sup>1</sup>, J.I. Arrizubieta Arrate<sup>1</sup>, A. Urresti Ubillos<sup>1</sup>, A. Lamikiz Mentxaka<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dpto. de Ingeniería Mecánica, Universidad del País Vasco (UPV/EHU), [aitzol.lamikiz@ehu.eus](mailto:aitzol.lamikiz@ehu.eus), [marta.ostolaza@ehu.eus](mailto:marta.ostolaza@ehu.eus), [joninaki.arrizubieta@ehu.eus](mailto:joninaki.arrizubieta@ehu.eus), [aitzol.lamikiz@ehu.eus](mailto:aitzol.lamikiz@ehu.eus)

---

*El presente trabajo se enfoca en el análisis del proceso de fabricación aditiva de aporte directo de material mediante láser o DED-LB. Estos procesos suelen añadir material en forma de cordones que habitualmente se solapan para formar capas y, superponiendo estas capas, se obtiene un volumen 3D. Entre las variantes existentes, el proceso DED más habitual en la industria es aquella que emplea un láser como fuente de calor y un flujo de polvo como material de aporte. El flujo de polvo puede contener mezclas de materiales que convergen en el cabezal de aporte, por lo que una de las principales aplicaciones industriales de este proceso es el aporte de composites de matriz metálica o cerámica para su uso en recubrimientos. Sin embargo, la principal dificultad es concentrar los diferentes flujos de polvo en el mismo plano del sustrato para poder obtener una mezcla de materiales homogénea. Debido a la diferencia de densidades de cada material, es habitual la aparición de segregaciones y no-homogeneidades en el material compuesto resultante.*

*Así, se propone analizar el comportamiento fluido dinámico de una mezcla multi-material constituida por una fase metálica y otra cerámica empleando un modelo CFD, el cual contempla tanto la fase gaseosa como la fase discreta de las partículas que se arrastran. El método permite estudiar la influencia de la proporción de la fase cerámica en la segregación de polvo y en la composición de la pieza fabricada. Asimismo, se analiza la evolución de la segregación en distintos planos de trabajo, con el fin de optimizar la configuración del proceso. Los resultados numéricos se ajustan a la validación experimental y se observa una diferencia entre los planos focales de concentración de cada material.*

---

## Fabricación de componentes con diseños basado en ‘microestructuras’ mediante PBF-LB

M. Martínez-Aguirre<sup>1</sup>, A. Calleja-Ochoa<sup>1</sup>, G. Gómez Escudero<sup>1</sup>, H. González Barrio<sup>1</sup>, S. Kumar Mishra<sup>2</sup>,  
N. López de Lacalle Marcaide<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad del País Vasco UPV/EHU. [maialen.martinezdeaguirre@ehu.eus](mailto:maialen.martinezdeaguirre@ehu.eus),  
[amaia.calleja@ehu.eus](mailto:amaia.calleja@ehu.eus), [gaiizka.gomez@ehu.eus](mailto:gaiizka.gomez@ehu.eus), [haizea.gonzalez@ehu.eus](mailto:haizea.gonzalez@ehu.eus)

<sup>2</sup>Dpto. de Ingeniería Mecánica. IIT Kanpur-Indian Institute of Technology kanpur. [msarvesh@iitk.ac.in](mailto:msarvesh@iitk.ac.in)

<sup>3</sup>CFAA-Centro de Fabricación Avanzada Aeronáutica. Universidad del País Vasco UPV/EHU. [norberto.lzlacalle@ehu.eus](mailto:norberto.lzlacalle@ehu.eus)

---

*Las microestructuras tienen aplicaciones interesantes en diferentes sectores de la industria debido a su alta “resistencia específica” (relación resistencia/peso), módulo elástico y absorción de energía. Además, diferentes sectores demandan materiales y estructuras más ligeras que mantengan la resistencia de los componentes, pero reduciendo su peso y, este es el caso de las microestructuras. Las microestructuras están formadas por esqueletos rígidos que son capaces de mantener la rigidez global de los componentes. El principal desafío es diseñar con microestructuras optimizando tamaño, forma y topología. La fabricación de estas microestructuras formadas por un esqueleto heterogéneo con cavidades es un reto actual para las tecnologías de fabricación aditiva. En este trabajo, se presentan diferentes ejemplos de casos de microestructuras fabricadas por Laser Powder Bed Fusion (PBF-LB) y se realizan análisis de componentes y parámetros del proceso de fabricación.*

---

## Comportamiento a compresión de termoplásticos elastoméricos procesados por fabricación aditiva

J.A. Travieso Rodríguez<sup>1</sup>, B. Adrover-Monserrat<sup>2</sup>, J. Llumà<sup>3</sup>, W. Crupano<sup>4</sup>, R. Jerez Mesa<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universitat Politècnica de Catalunya. [antonio.travieso@upc.edu](mailto:antonio.travieso@upc.edu)

<sup>2</sup>Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universitat Politècnica de Catalunya. [barbara.adrover@upc.edu](mailto:barbara.adrover@upc.edu)

<sup>3</sup>Dpto. de Ciencia e Ingeniería de Materiales. Universitat Politècnica de Catalunya. [jordi.lluma@upc.edu](mailto:jordi.lluma@upc.edu)

<sup>4</sup>Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universitat Politècnica de Catalunya. [walter.crupano@upc.edu](mailto:walter.crupano@upc.edu)

<sup>5</sup>Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universitat Politècnica de Catalunya. [ramon.jerez@upc.edu](mailto:ramon.jerez@upc.edu)

---

*El objetivo de esta contribución es la caracterización a compresión de un material termoplástico con propiedades elastoméricas procesado por fabricación aditiva, en concreto el Flexfill PEBA 90A, a modo de estudio preliminar que permita alimentar trabajos futuros para afinar los parámetros más adecuados para fabricar plantillas de zapatos. Siendo el PEBA un material novedoso con potenciales aplicaciones en el ámbito de la biomédica, se considera interesante acometer el estudio propuesto para comenzar a disponer de datos referentes a su capacidad mecánica. El trabajo está planteado en torno a la ejecución de un diseño experimental donde se fabrican probetas con diferentes porcentajes de relleno para ensayarlas a compresión según la norma ASTM-D695. Se compararán probetas fabricadas con PEBA con probetas fabricadas con goma EVA, material con el que tradicionalmente se fabrican las plantillas. Para ello, se establecerá una relación entre parámetros de fabricación de PEBA y dureza Shore de la goma EVA, que es el descriptor que en el campo de la ortopedia se utiliza para decidir de qué tipo de EVA fabricar las plantillas. Los resultados se presentan en este formato con el fin de fabricar una plantilla personalizada mediante el uso de un escáner 3D para realizar el modelo en CAD. Se llega a la conclusión de que fabricando láminas con PEBA al 20% de relleno, y con dos capas de piel protectora, se obtienen propiedades mecánicas similares a la EVA de dureza Shore 60, y se encuentra una correlación entre el porcentaje de relleno y la rigidez mostrada por las piezas fabricadas. Este es un aspecto primordial para, en futuros pasos, utilizar este principio para la fabricación de plantillas.*

---

# Influencia de los gases de protección en el proceso WAAM de aluminio en la reducción de defectos y aumento de eficiencia del proceso

S. Etxebarria Berrizbeitia<sup>1,2</sup>, I. Cerrillo Galnares<sup>2</sup>, O. Pereira Neto<sup>2</sup>, G. Gómez Escudero<sup>1,2</sup>, M. Martínez de Aguirre Ochoa de Retana<sup>1,2</sup>, Luis Norberto López de Lacalle Marcaide<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad del País Vasco. [saioa.etxebarriab@ehu.eus](mailto:saioa.etxebarriab@ehu.eus), [gaizka.gomez@ehu.eus](mailto:gaizka.gomez@ehu.eus), [maialen.martinezdeaguirre@ehu.eus](mailto:maialen.martinezdeaguirre@ehu.eus), [norberto.lzlacalle@ehu.eus](mailto:norberto.lzlacalle@ehu.eus)

<sup>2</sup>Centro de Fabricación Avanzada Aeronáutica CFAA. Universidad del País Vasco. [iker.cerrillo@ehu.eus](mailto:iker.cerrillo@ehu.eus), [octaviomanuel.pereira@ehu.eus](mailto:octaviomanuel.pereira@ehu.eus)

---

*La tecnología WAAM (Wire Arc Additive Manufacturing) es una técnica de fabricación que se basa en la combinación de material metálico en forma de hilo con técnicas de soldadura al arco para fundirlo y generar, capa a capa, la geometría de la pieza final. Este proceso de fabricación aditiva (AM) está ofreciendo una nueva perspectiva de fabricación a la industria, ya que permite mayores tasas de deposición que otras técnicas de fabricación aditiva a pesar de tener una menor precisión dimensional en estado bruto. En comparación con otras tecnologías de AM, la WAAM utiliza equipos sencillos y obtiene tasas de deposición más elevadas.*

*En este estudio se ha analizado la influencia de los gases de protección en la reducción de defectos e incremento de la eficiencia del proceso. Para ello, se han realizado probetas de pared fina utilizando argón puro, perfect 1 (argón + O<sub>2</sub> + N<sub>2</sub>O) y H30 (70% argón + 30% helio). Para el análisis de defectos se han realizado tomografías computarizadas y macrografías. Por otra parte, se han realizado mediciones de la temperatura de cada capa de material aportada mediante cámara termográfica.*

*Los resultados obtenidos muestran una disminución en el nivel de defectos y porosidad mediante el empleo de mezcla de gases concretas, reduciendo también la intensidad y voltaje de soldadura, lo cual se traduce en un menor input térmico, lo cual ayuda a que el baño fundido no pueda extenderse antes de la solidificación, por lo que la relación entre anchura y altura tiende a ser menor.*

---

# Comparativa de errores de forma, dimensiones y acabado superficial de elementos mecánicos impresos por Fabricación por Filamento Fundido

E. E. Zayas Figueras<sup>1</sup>, I. Buj Corral<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería Mecánica, Universitat Politècnica de Catalunya, enrique.zayas@upc.edu, irene.buj@upc.edu

---

*El presente trabajo expone la comparativa de la exactitud dimensional, geométrica y del acabado superficial de dos tipos elementos mecánicos: engranajes de dientes rectos y levas de anchura constante, elementos impresos en 3D mediante la tecnología FFF (Fabricación por Filamento Fundido). Primero se comparan dos tipos de ruedas dentadas diseñadas con distintos módulos y números de dientes e impresas en PLA (ácido poliláctico) y Nylon. Se utilizó el método de la distancia cordal y se determinó el espesor del diente en círculo base y el paso base de los engranes. Además, se midieron los diámetros interiores y exteriores, y se determinaron sus errores de redondez y concentricidad. Los resultados muestran que, en general, el PLA permite obtener una mejor precisión dimensional que el Nylon. Las ruedas de Nylon, se imprimieron con un porcentaje de relleno menor que las piezas de PLA y mostraron un error de forma menor. Por otro lado, se fabricaron levas en dos materiales diferentes y mediante dos procesos diferentes: levas de PLA con FFF y levas de aluminio con fresado de control numérico. El objetivo principal de este segundo caso ha sido comparar ambos tipos de levas en cuanto a exactitud dimensional y acabado superficial, con el fin de evaluar si sería posible sustituir temporalmente una leva metálica por una de plástico durante la reparación de la primera. Los resultados muestran que, en dimensiones diametrales, se obtuvieron valores de error dimensional similares tanto para las levas impresas como para las mecanizadas. Respecto a dimensiones longitudinales, las levas impresas en 3D mostraron un mayor error dimensional que las mecanizadas. La rugosidad promedio Ra en las levas impresas fue 20 veces mayor que en las fresadas.*

---

# Optimización de la fabricación de sólidos celulares metálicos mediante fabricación por filamento fundido para mejorar el rendimiento mecánico

M.A. Pérez<sup>1</sup>, E. Teixidó-Marquès<sup>1</sup>, G. Gómez-Gras<sup>1</sup>, H. García de la Torre<sup>1</sup>, A. Forés-Garriga<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Group of Applied Mechanics and Advanced Manufacturing – IQS School of Engineering, Universitat Ramon Llull  
[marcoantonio.perez@iqs.url.edu](mailto:marcoantonio.perez@iqs.url.edu), [eduardteixidom@iqs.url.edu](mailto:eduardteixidom@iqs.url.edu), [giovanni.gomez@iqs.url.edu](mailto:giovanni.gomez@iqs.url.edu), [hector.garcia@iqs.url.edu](mailto:hector.garcia@iqs.url.edu),  
[albertforesg@iqs.url.edu](mailto:albertforesg@iqs.url.edu)

---

*Las tecnologías de fabricación aditiva que permiten crear geometrías complejas utilizando una amplia variedad de materiales, han impulsado también el desarrollo de sólidos celulares, una de las áreas más prometedoras en diversas industrias. Estos sólidos inspirados en la naturaleza están constituidos por redes interconectadas, que se combinan para crear estructuras ligeras con una alta rigidez y resistencia específica. La fabricación de estos sólidos celulares mediante la tecnología de Fabricación por Filamento Fundido de Metales (FFFM) proporciona un nuevo nivel de flexibilidad en el diseño de componentes metálicos, permitiendo obtener propiedades mecánicas adaptadas a aplicaciones específicas.*

*En este trabajo se estudia el diseño de sólidos celulares de acero inoxidable 316L basados en TPMS fabricados mediante tecnología FFFM, utilizando un enfoque sistemático para evaluar las condiciones de diseño y facilitar la viabilidad del proceso de fabricación. El objetivo es evaluar la viabilidad de su fabricación en función de parámetros como el espesor de la pared o el tamaño de celda que afectan a la densidad relativa, y determinar los factores de contracción experimentados por las estructuras durante el proceso de sinterizado. Finalmente, este estudio analiza el comportamiento mecánico a compresión de los sólidos celulares de tipo Gyroid con el objetivo de determinar los factores de diseño más influyentes en su resistencia ante este tipo de cargas.*

---

## Desarrollo y análisis CFD de un sistema de extrusión de polímeros en formato pellet para usos biosanitarios

A. Gonzalez-Muñoz<sup>1</sup>, A. Gimenez-El-Amrani<sup>2</sup>, D. Sanchez-Garcia<sup>3</sup>, A. Sanz-Garcia<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad de Salamanca. [armandopeska@usal.es](mailto:armandopeska@usal.es)

<sup>2</sup>Laboratorio de Ingeniería Biomédica y Tisular (BTELab), Fundación de Investigación Hospital General Universitario de Valencia (FIHGU). [gimenez\\_anu@gva.es](mailto:gimenez_anu@gva.es)

<sup>3</sup>Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad de Salamanca. [danielsg0499@usal.es](mailto:danielsg0499@usal.es)

<sup>4</sup>Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad de Salamanca. [ansanz@usal.es](mailto:ansanz@usal.es)

---

El modelado por deposición fundida (FDM) es una técnica de fabricación aditiva que permite el prototipado rápido de objetos tridimensionales (3D) a partir de modelos digitales. En la última década, el FDM de materiales termoplásticos se ha consolidado en diversos sectores de la industria, permitiendo la producción de piezas únicas y complejas, difíciles de obtener mediante métodos tradicionales. En el ámbito sanitario, esta tecnología de impresión 3D se ha popularizado en la producción de modelos anatómicos personalizados. Estas réplicas ultra-realistas de órganos y tejidos humanos de un paciente se utilizan en la planificación de cirugías complejas para mejorar la precisión en la operación y reducir el riesgo de complicaciones. Es crucial ser capaces de producirlos en tiempos razonables, dado que pueden ser modelos relativamente grandes.

En este estudio, se presenta el procedimiento seguido para el diseño, desarrollo y simulación de un sistema FDM de gran escala basado en la carga de material en formato de granza o pellet, en sustitución del tradicional filamento. Con este enfoque, se ha logrado implementar un método de impresión 3D más eficiente, capaz de procesar más material en menos tiempo y minimizar atascos y obstrucciones y permitiendo un catálogo de materiales más amplio. Para mejorar el diseño y optimizar el cabezal de extrusión se ha realizado un análisis de dinámica de fluidos computacional (CFD), con modelos físicos y reológicos compresibles y no isotérmicos. Para ello, se ha utilizado el software de código abierto OpenFOAM, que discretiza el dominio de la simulación empleando el método numérico de volúmenes finitos (FVM) y el software multifísico COMSOL que emplea el método de los elementos finitos (FEM). Se han evaluado variables críticas en el proceso, como el campo de velocidades, el gradiente de presión, las temperaturas, o la viscosidad a lo largo del cabezal. Se ha calibrado el modelo analizando la reología del material en el interior del extrusor de forma experimental. Se ha simulado la unidad de extrusión considerando desde la carga del material hasta la extrusión del fluido termoplástico mediante técnicas FEM y FVM realizado una comparación de los resultados obtenidos. Se ha analizado la influencia de parámetros principales en el proceso de extrusión, obteniendo datos concluyentes en el proceso de aumento de presión del fluido a medida que éste se funde en el interior del extrusor.

---

# Reducción de los Factores de Concentración de Tensiones en Ajustes por Interferencia con Agujeros Achaflanados

Eulalia Izard-Anaya<sup>1</sup>, Roberto García-Martín<sup>2</sup>, Manuel Rodríguez-Martín<sup>2</sup>,  
Miguel Ángel Lorenzo-Fernández<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dpto. de Ingeniería Mecánica. ETSII Béjar, Universidad de Salamanca. [eia@usal.es](mailto:eia@usal.es)

<sup>2</sup>Dpto. de Ingeniería Mecánica. EPS de Zamora, Universidad de Salamanca. [toles@usal.es](mailto:toles@usal.es), [ingmanuel@usal.es](mailto:ingmanuel@usal.es),  
[mlorenzo@usal.es](mailto:mlorenzo@usal.es)

---

*Las ecuaciones comúnmente utilizadas en el diseño de ajustes por interferencia consideran una distribución de tensiones uniforme en el contacto eje-agujero. No obstante, se ha demostrado que en los bordes del agujero aparece una concentración de tensiones que hace que la estimación dada por las ecuaciones teóricas subestime el estado de tensiones real del ajuste. Esta subestimación del estado tensional real puede inducir a un funcionamiento incorrecto del conjunto eje-agujero. Existen múltiples métodos para reducir la concentración de tensiones, siendo uno de ellos el uso de agujeros con bordes achaflanados. En este artículo, se analiza mediante simulaciones numéricas por elementos finitos, la influencia de los parámetros geométricos en un ajuste por interferencia (shrink fit) con agujeros modificados en los que ha incluido un chaflán. El objetivo de este estudio consiste en determinar las dimensiones óptimas para el diseño de este tipo de uniones. Para conseguir este objetivo, se han considerado diferentes geometrías de agujeros con chaflán definidos por el ángulo de chaflán y el espesor del agujero. De acuerdo con los resultados obtenidos, se puede reducir el valor en la concentración de tensiones mediante el uso de agujeros con chaflán con ángulos de chaflán dentro del rango de 13° – 15° dependiendo del espesor del agujero. Al usar estas recomendaciones de diseño, las ecuaciones teóricas se pueden utilizar sin subestimar el estado tensional real. (223/400)*

---

# Análisis de distribución de carga en husillos a bolas para altas cargas mediante modelos de elementos finitos optimizados

L. Sangalli, A. Oyanguren\*, J. Larrañaga, I. Ulacia

Departamento de Mecánica y Producción Industrial. Escuela Politécnica Superior de Mondragón Unibertsitatea,

\*aoyanguren@mondragon.edu

---

*Los husillos a bolas son actuadores electro-mecánicos ampliamente utilizados en máquinas y mecanismos como solución de posicionamiento lineal, caracterizándose por su gran rigidez y capacidad de carga. Estos sistemas han ido sustituyendo a actuadores hidráulicos por motivos medioambientales y de costes, lo que han conllevado en diseños de husillos a bolas pensados para altas cargas. Para dimensionar husillos de alta carga, es un paso muy habitual optar por sumar circuitos de bolas en lugar de aumentar el diámetro, esto genera tuercas más esbeltas que los diseños para cargas menores. Diversos estudios previos mostraron, por diferentes métodos, que en estas situaciones, la distribución interna de fuerzas de contacto en las bolas no es uniforme a lo largo de la distancia axial. Esto provoca que no se cumpla la hipótesis de homogeneidad de carga que plantea la norma estando algunas bolas sobrecargadas.*

*Los trabajos de la literatura utilizan modelos que no contemplan con suficiente detalle el problema, ya sea por falta de detalle en su desarrollo o falta de profundidad de análisis de las diferentes variables. En este trabajo se plantea un modelo por elementos finitos 3D, el cual se caracteriza por modelar los contactos de las bolas utilizando elementos de elásticos no-lineales con el fin de buscar eficiencia computacional en los modelos con gran cantidad de bolas. Habiendo generado y validado esta herramienta teóricamente, se ha realizado un análisis de diferentes variables que pudieran afectar a la distribución de carga. Con los resultados obtenidos, se ha demostrado que entre las variables más influyentes se encuentran la relación de esbeltez de la tuerca y la disposición de amarres de tuerca y eje.*

---

## Análisis de la vibración de baja frecuencia en el proceso de degradación de rodamientos de bolas

J.L. Aguirre Martínez<sup>1</sup>, G. Munuera Saura<sup>2</sup>, M. Hidalgo Martínez<sup>3</sup>, J.D. Salmerón Lucas<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Dpto. de Ingeniería Mecánica, Materiales y Fabricación. UPCT. [jose Luis.aguirre@upct.es](mailto:jose Luis.aguirre@upct.es)

<sup>2</sup>Dpto. de Ingeniería Mecánica, Materiales y Fabricación. UPCT. [gregorio.munuera@upct.es](mailto:gregorio.munuera@upct.es)

<sup>3</sup>Dpto. de Ingeniería Mecánica, Materiales y Fabricación. UPCT. [mihm1998@gmail.com](mailto:mihm1998@gmail.com)

<sup>4</sup>Dpto. de Ingeniería Mecánica, Materiales y Fabricación. UPCT. [josedaniel.salmeron@edu.upct.es](mailto:josedaniel.salmeron@edu.upct.es)

---

*Como bien es sabido, los rodamientos son uno de los elementos más comunes de los equipos dinámicos, y aunque su precio es poco significativo considerando el del conjunto de la máquina, su fallo suele producir daños de gran relevancia desde el punto de vista funcional, de seguridad y de costes asociados a la reparación. Así, resulta de especial interés conocer durante el funcionamiento de los equipos, el estado y la evolución hacia el fallo de estos componentes.*

*En la actualidad existe un gran número de técnicas de verificación del estado de los rodamientos: ultrasonidos (US), impulsos de choque (SPM), spike energy (SE), espectro de vibración de alta frecuencia (SPV-HF), etc. La mayoría de estas técnicas se encuentran bien contrastadas y muestran indicaciones de defecto en etapas muy tempranas de deterioro. No obstante, cabe observar que todas ellas están basadas en la adquisición, tratamiento y análisis de las vibraciones de alta frecuencia emitidas por el rodamiento. Por el contrario, se ha encontrado muy poca bibliografía en la que se relacionen las vibraciones de baja frecuencia con el estado del rodamiento, si bien, desde hace tiempo, en el grupo de investigación de diseño, mantenimiento y disponibilidad de sistemas mecánicos se viene observando que, cuando en un equipo existe un defecto generalizado en un rodamiento, en el espectro de vibración se observa un aumento de ciertas bandas de muy baja frecuencia.*

*En este trabajo se presentan los ensayos realizados sobre varios rodamientos de bolas, con carga y sin ella, en los que se ha medido, en diferentes posiciones y de forma prácticamente continua, la vibración de baja frecuencia durante el proceso de degradación acelerada y generalizada del rodamiento. La severidad del defecto durante el ensayo se ha evaluado verificando la holgura en el rodamiento, y utilizando las técnicas de impulsos de choque y ultrasonidos en la banda de 30 kHz. Por último, se analizan los resultados obtenidos y se comprueba que el defecto generalizado por desgaste en los rodamientos produce un aumento en bandas de vibración de baja frecuencia, si bien es cierto, que no de forma tan temprana y significativa como en las bandas de alta frecuencia. Además, se observa que otros defectos, tales como la holgura entre rodamiento y eje o rodamiento y alojamiento que, aunque no son directamente fallos del propio rodamiento, sí están relacionados con su montaje, también producen efectos similares en las bandas de baja frecuencia.*

---

# Influencia de la profundidad de rebaje en la rigidez, reparto de carga y error de transmisión de engranajes rectos con desgaste

Miryam B. Sánchez, Miguel Pleguezuelos, José I. Pedrero

Departamento de Mecánica, UNED, [msanchez@ind.uned.es](mailto:msanchez@ind.uned.es), [mpleguezuelos@ind.uned.es](mailto:mpleguezuelos@ind.uned.es), [jpedrero@ind.uned.es](mailto:jpedrero@ind.uned.es)

---

*En engranajes de transmisión de potencia, la geometría de las superficies en contacto tiene influencia en la rigidez de engrane y el error de transmisión, que a su vez es origen de sobrecarga dinámica, ruido y vibración. Las alteraciones en la geometría de los perfiles, como el rebaje de punta para evitar el impacto de inicio de engrane o el desgaste que inevitablemente se presenta en el contacto deslizante entre superficies friccionantes, tienen por tanto influencia en el comportamiento dinámico de la transmisión. En este trabajo se presenta un estudio de la influencia de la profundidad de rebaje en el error de transmisión de engranajes rectos con desgaste. Se analiza la evolución de la amplitud pico-pico, factor que determina la sobrecarga dinámica inducida, con el número de ciclos de desgaste. El análisis considera profundidades de rebaje mayores y menores que el valor ajustado para la eliminación del impacto de inicio de engrane, así como rebajes simétricos (a la entrada y a la salida del engrane) y asimétricos (sólo a la entrada), aplicado a engranajes estándar y de alto grado de recubrimiento. Se analiza específicamente el caso de rebaje simétrico con longitud de rebaje óptima para mínima amplitud de error de transmisión y se estudia la profundidad de rebaje óptima para amplitud mínima tras determinado número de ciclos de desgaste.*

---

## Estudio de reversibilidad de una reducción epitrocoidal

M. Peña<sup>1,2</sup>, X. Justo<sup>1,2</sup>,

<sup>1</sup> Grupo de diseño y comportamiento mecánico, CEIT-Basque Research and Technology Alliance (BRTA),  
mpenaalza@external.unav.es, xjusto@ceit.es.

<sup>2</sup> Departamento de mecánica aplicada, Universidad de Navarra (Tecnun), mpenaalza@external.unav.es, xjusto@ceit.es.

---

*Las reducciones cicloidales son un tipo especial de reductoras que son capaces de proporcionar una densidad de reducción mayor que otros tipos de reductoras. En ellas, un disco cuyo perfil sigue una curva cicloidal, oscila y rota en el interior de una circunferencia con pines gracias a un eje de entrada excéntrico. El movimiento se extrae mediante un eje araña que atraviesa el disco cicloidal con sus pasadores y actúa como eje de salida de la reductora. Se ha analizado cómo influye la diferencia en el radio de curvatura entre el perfil del disco epitrocoidal y los pines exteriores en la eficiencia del engranaje cuando funciona como multiplicadora de velocidad. Para ello, se han diseñado 24 engranajes epitrocoidales con el software de diseño PTC Creo, variando en ellos los parámetros de excentricidad y radio de circunferencia de pines, y se han fabricado las piezas mediante impresión 3D. Todas las variantes se han montado sobre una placa de aluminio y se ha conectado un motor controlado con un Arduino y un controlador Maxon en el eje lento de la reductora. Se ha medido la intensidad de la corriente consumida por el motor al hacer girar el engranaje a diferentes velocidades de giro, se ha calculado el par motor y se han comparado los resultados de las diferentes variantes, concluyendo que a medida que el tamaño del engranaje disminuye, el par motor necesario también disminuye.*

---

# Determinación de configuraciones óptimas de sensores de deformación para la estimación de cargas individuales en ejes de sección circular

**Xabier Iriarte<sup>1</sup>, Julen Bacaicoa<sup>2</sup>, Jokin Aginaga<sup>3</sup>, Aitor Plaza<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Instituto de Investigación Smart Cities (ISC). Universidad Pública de Navarra (UPNA) [xabier.iriarte@unavarra.es](mailto:xabier.iriarte@unavarra.es)

<sup>2</sup>Instituto de Investigación Smart Cities (ISC). Universidad Pública de Navarra (UPNA) [julen.bacaicoa@unavarra.es](mailto:julen.bacaicoa@unavarra.es)

<sup>3</sup>Instituto de Investigación Smart Cities (ISC). Universidad Pública de Navarra (UPNA) [jokin.aginaga@unavarra.es](mailto:jokin.aginaga@unavarra.es)

<sup>4</sup>Dpto. de Ingeniería. Universidad Pública de Navarra (UPNA). [aitor.plaza@unavarra.es](mailto:aitor.plaza@unavarra.es)

---

*La medición de esfuerzos en ejes de sección circular mediante galgas extensiométricas u otro tipo de sensores de deformación es bien conocida en el ámbito de la ingeniería mecánica. Las configuraciones típicas para medición de esfuerzos utilizan 4 sensores de deformación colocados estratégicamente en la superficie del eje y conectados en forma de un puente de Wheatstone completo. Así, se utilizan 4 sensores de deformación para estimar cada uno de los seis esfuerzos a los que se puede ver sometido un eje. Algunas de las configuraciones típicas están diseñadas para compensar los efectos de la temperatura, por lo que son robustas a cambios de temperatura. A pesar de utilizarse desde hace décadas, no se tiene constancia de ningún algoritmo que sirva para calcular estas configuraciones y demostrar que son las mejores posibles. En este artículo se desarrolla un algoritmo que permite calcular las configuraciones óptimas de sensores de deformación para estimar una o varias componentes del tensor de esfuerzos, compensando el efecto de las demás y los efectos de la temperatura. Este algoritmo se basa en la medición de las deformaciones de cada galga mediante cuartos de puente de Wheatstone y utiliza un mismo conjunto de sensores para la estimación de varias componentes del tensor. Como resultados, se muestra que las configuraciones tradicionales se obtienen como resultado de aplicar el algoritmo y, se obtienen una serie de configuraciones óptimas adicionales para estimar varios conjuntos de esfuerzos compensando la influencia del resto.*

---

# Análisis del error de posicionamiento de distintas configuraciones de galgas para la medición de cargas en aerogeneradores

J. Aginaga García<sup>1,2</sup>, J. Bacaicoa Díaz<sup>1,2</sup>, X. Iriarte Goñi<sup>1,2</sup>, A. Plaza Puértolas<sup>1</sup>, I. Agirre Olabide<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dpto. de Ingeniería. Universidad Pública de Navarra / Nafarroako Unibertsitate Publikoa. [jokin.aginaga, julen.bacaicoa, xabier.iriarte, aitor.plaza, Iker.agirre]@unavarra.es

<sup>2</sup>Institute of Smart Cities. Universidad Pública de Navarra / Nafarroako Unibertsitate Publikoa

---

*El uso de galgas extensométricas para la medición de cargas está ampliamente extendido, dado su bajo coste y la facilidad para ser adheridas en superficies planas o curvas. Asimismo, existen distintas configuraciones de galgas que, mediante el puente de Wheatstone, permiten estimar la magnitud de una carga sin la influencia del resto de cargas presentes ni de los efectos térmicos. Por ejemplo, se pueden situar 4 galgas en disposiciones a  $\pm 45^\circ$ , de manera que el voltaje medido por el puente de Wheatstone estime el momento de torsión sin verse alterado por la presencia de otro tipo de cargas como pueden ser una fuerza axial o un momento flector.*

*La posibilidad de medir determinadas cargas compensando el efecto de otras cargas presentes puede ser de gran utilidad en componentes en los que se tienen distintos tipos de carga (axial, cortantes, momentos flectores y de torsión) simultáneamente, como pueden ser el eje lento o la torre de un aerogenerador. No obstante, es habitual que las galgas no estén perfectamente alineadas con los ejes de la base en la que se están midiendo las cargas, es decir, que exista un error de posicionamiento o alineamiento. Fruto de este error, las cargas que teóricamente estaban compensadas debido a la disposición de las galgas pueden introducir un error en la medida a estimar.*

*El presente trabajo analiza en qué medida afectan los errores de posicionamiento a la medición de las cargas que se desea estimar en componentes de un aerogenerador de sección circular como pueden ser el eje lento o la torre. El análisis se realiza para las configuraciones habituales de puente de Wheatstone completo que miden cargas axiales, cortantes, momentos flectores y de torsión, así como para otras configuraciones menos habituales obtenidas mediante distintos criterios de optimización de la observabilidad. Los resultados muestran la medida en que cada carga se estimando correctamente y en qué casos pueden resultar útiles estas configuraciones no habituales en los componentes de aerogenerador analizados.*

---

# Comportamiento a flexión de estructuras sándwich con núcleos celulares bio-inspirados elaborados por Fabricación por Filamento Fundido

A. Forés Garriga<sup>1</sup>, G. Gómez Gras<sup>1</sup>, M. D. Abad Roldán<sup>1</sup>, M. A. Pérez Martínez<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Group of Applied Mechanics and Advanced Manufacturing, IQS School of Engineering, Universitat Ramon Llull  
[albertforesg@iqs.edu](mailto:albertforesg@iqs.edu), [giovanni.gomez@iqs.url.edu](mailto:giovanni.gomez@iqs.url.edu), [manuel.abad@iqs.url.edu](mailto:manuel.abad@iqs.url.edu), [marcoantonio.perez@iqs.edu](mailto:marcoantonio.perez@iqs.edu)

*Las estructuras sándwich son un tipo especial de materiales compuestos que consisten en la unión de dos capas externas y rígidas (pieles) y una capa interna (núcleo), generalmente de un material más liviano. Esta disposición es muy eficiente en términos de resistencia y peso ya que permite controlar el espesor de las diferentes capas y las propiedades físicas y mecánicas de los materiales constituyentes. Por ese motivo, las estructuras sándwich se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones, especialmente en sectores como la construcción y el transporte donde la reducción de la masa de los componentes es fundamental.*

*Durante las últimas décadas, las estructuras sándwich se han convertido en un área de gran interés de la ingeniería. Los avances en la ciencia de los materiales han permitido obtener núcleos más eficientes y resistentes. Por su parte, la innovación en técnicas de fabricación ha hecho posible la construcción de estructuras cada vez más complejas y sofisticadas. Entre estas, destaca la irrupción de las tecnologías de fabricación aditivas, que han supuesto un cambio de paradigma para los procesos de producción. A diferencia de los métodos de fabricación tradicionales, estas tecnologías se basan en la adición sucesiva de capas de material, generalmente plástico o metal, hasta completar la forma deseada. Así, estas tecnologías han transformado la fabricación en muchos aspectos, desde la producción de prototipos hasta la creación de piezas personalizadas y extremadamente complejas que de otra manera serían difíciles o imposibles de fabricar, y a su vez ofreciendo una mayor flexibilidad, rapidez en el diseño y mayor sostenibilidad.*

*Uno de los campos de investigación en los que la fabricación aditiva ha logrado un progreso indiscutible es en el desarrollo de sólidos celulares. Estas estructuras inspiradas en la naturaleza están formadas por una red multidimensional de barras o carcasas sólidas que, interconectadas periódicamente para cubrir el espacio, logran reducir considerablemente la masa de los componentes. Además, gracias a esta avanzada y optimizada microarquitectura, los sólidos celulares tienen cualidades de gran interés y utilidad, como la rigidez y la resistencia, y la capacidad de aislamiento térmico, acústico, y de absorción de impactos.*

*En este trabajo se ha realizado un amplio estudio numérico del efecto del diseño y la densidad del núcleo en el comportamiento mecánico a flexión de paneles sándwich combinando pieles de polímero reforzado de fibras de carbono y núcleos celulares bio-inspirados (bidimensionales y tridimensionales) elaborados por Fabricación por Filamento Fundido. Las combinaciones óptimas de cada uno de los 19 diseños seleccionados han sido fabricadas y validadas experimentalmente, empleando un polímero técnico (Ultem 9085) con una excelente relación resistencia-peso y certificación Flame-Smoke-Toxicity (FST). Las estructuras sándwich híbridas con núcleos celulares de este material exhiben una rigidez y una resistencia comparables a las de los materiales de referencia, superando a los núcleos de espuma y quedando ligeramente por detrás de los paneles hexagonales de Nomex® y aluminio. Además, los resultados constatan morfologías celulares más eficientes que el diseño hexagonal, alcanzables únicamente por tecnologías de fabricación aditiva. Este trabajo aporta información valiosa sobre los materiales compuestos híbridos y el potencial de la fabricación aditiva para crear paneles sándwich ligeros y de alto rendimiento.*

# Caracterización mecánica del poliuretano termoplástico (TPU) y su aplicación a estructuras tipo *lattice* para sistemas de absorción de energía

C. M. Arévalo Fernández<sup>1</sup>, B. Valverde Marcos<sup>1</sup>, I. Rubio Díaz<sup>1</sup>, M. H. Miguélez Garrido<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería Mecánica. Universidad Carlos III de Madrid. [carevalo@pa.uc3m.es](mailto:carevalo@pa.uc3m.es), [igrubio@pa.uc3m.es](mailto:igrubio@pa.uc3m.es), [bvalverd@ing.uc3m.es](mailto:bvalverd@ing.uc3m.es), [mhmiguel@ing.uc3m.es](mailto:mhmiguel@ing.uc3m.es)

---

*Las protecciones personales de cabeza como elemento de seguridad son utilizadas en numerosos sectores de la sociedad (ámbitos deportivos, industriales, Cuerpos y Fuerzas de Seguridad del Estado, etc.). Estas protecciones se diseñan dependiendo del área y en función de la sollicitación de carga esperada: caídas y/o golpes, impactos a velocidad baja o media, impactos balísticos, explosiones, etc. El usuario puede sufrir lesiones debido a la transmisión de energía desde el origen de la amenaza hasta la cabeza del portador; la traslación de aceleración lineal y rotacional a la cabeza puede producir daño severo e incluso mortal (conmociones, mTBI, daño axonal, etc.). El diseño de los elementos interiores de las protecciones es crucial para la absorción de energía y la reducción del daño en el usuario.*

*El objetivo del presente estudio es introducir técnicas de fabricación aditiva en el desarrollo de sistemas internos de absorción de energía para cascos con el fin de sustituir las generalizadas espumas de poliuretano y bloques de poliestireno expandido. Para ello, se han diseñado diferentes estructuras tipo "lattice" fabricadas mediante Modelado por Deposición Fundida ("Fused Deposition Modeling", FDM) utilizando poliuretano termoplástico ("Thermoplastic Polyurethane", TPU) como material, caracterizado por su alta capacidad de deformación elástica.*

*Se han realizado ensayos experimentales de caracterización mecánica a tracción y compresión en probetas impresas con TPU, con el objetivo de desarrollar modelos en elementos finitos para diferentes configuraciones de estructuras lattice con comportamiento auxético.*

---

## Integración de campos de desplazamientos y de tensión para formas modales operacionales

Ángel J. Molina Viedma<sup>1</sup>, Luis Felipe Sesé<sup>1</sup>, Elías López Alba<sup>1</sup>, Francisco Díaz Garrido<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería Mecánica y Minera, Universidad de Jaén, [ajmolina@ujaen.es](mailto:ajmolina@ujaen.es), [lfelipe@ujaen.es](mailto:lfelipe@ujaen.es), [elalba@ujaen.es](mailto:elalba@ujaen.es), [fdiaz@ujaen.es](mailto:fdiaz@ujaen.es)

---

*Las técnicas ópticas de campo completo aportan una valiosa información para el análisis de formas modales gracias a su alta densidad de puntos de medida, proporcionando mapas muy detallados, y su carácter no invasivo que evita alteraciones del comportamiento dinámico del espécimen. Correlación digital de imágenes y el análisis termoelástico de tensiones son dos de las que mayor interés han despertado. La primera, proporciona campos de desplazamientos que pueden ser tridimensionales si se emplea un sistema estereoscópico calibrado. La segunda, mediante una cámara termográfica determina el invariante de tensiones. Dado el carácter complementario de estas magnitudes, en este estudio se aborda la integración de los campos de desplazamiento y de tensiones mediante un conjunto calibrado de un sistema estereoscópico y una cámara termográfica que por triangulación espacial permitan la asociación de las medidas al mismo punto espacial del espécimen. Para ello, se desarrollan montajes típicos en el laboratorio para la caracterización de formas modales operacionales de resonancias. La integración permite una interpretación más exacta del comportamiento del espécimen y permite localizar con exactitud las regiones con mayor sollicitación mecánica. Se muestran así las ventajas de la integración frente al análisis aislado de las medidas de desplazamientos y/o tensiones que habitualmente se llevan a cabo y se prueba el potencial de desarrollo de las técnicas ópticas a nivel científico e industrial abriendo nuevas vías de estudio.*

---

## Medida del reparto de carga en transmisiones planetarias

M. Iglesias Santamaría<sup>1</sup>, Ana de Juan de Luna<sup>1</sup>, Javier Sanchez-Espiga<sup>1</sup>, Enrique Caso Fernández<sup>1</sup>, Alfonso Fernández del Rincón<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dpto. de Ingeniería Estructural y Mecánica. Universidad de Cantabria. [miguel.iglesias@unican.es](mailto:miguel.iglesias@unican.es), [ana.dejuan@unican.es](mailto:ana.dejuan@unican.es), [javier.sanchezespiga@unican.es](mailto:javier.sanchezespiga@unican.es), [enrique.caso@unican.es](mailto:enrique.caso@unican.es), [alfonso.fernandez@unican.es](mailto:alfonso.fernandez@unican.es).

---

*Las transmisiones planetarias resuelven el problema de la limitación de la capacidad de carga de los dientes de los engranajes introduciendo un número de planetas (engranajes auxiliares) entre los que dividir el par a transmitir de uno a otro de sus elementos centrales coaxiales (portaplanetas, sol o corona). El reparto de carga es objeto de estudio habitual y actual en investigación sobre transmisiones planetarias, encontrándose que su condición es multifactorial, con influencia de causas que van desde la propia configuración geométrica de la transmisión y los errores de fabricación, como los errores de posicionamiento de los planetas, excentricidades, errores de paso y de tallado de los dientes, etc., hasta las rigideces de engrane y de los apoyos. Si bien el modelizado computacional es la herramienta históricamente predominante para el estudio del reparto de carga, la medida experimental del reparto está comenzando a ser empleada no solo en investigación académica sino también por parte de los propios fabricantes, como puede ser en la fase de diseño y prototipado en planetarias para multiplicadoras eólicas. El reparto de carga es una variable que se encuentra recogida de forma implícita en la resolución numérica del equilibrio estático o dinámico de los modelos de transmisiones planetarias mediante engranajes. Sin embargo, las medidas experimentales del reparto de carga con el fin de comprobar el funcionamiento de los modelos o de verificar el funcionamiento de transmisiones reales son complicadas y están limitadas por cuestiones constructivas o de acceso a la señal. Habitualmente implican medidas de extensometría en lugares como los ejes de los planetas o la base de los dientes de un elemento central, como el sol o la corona. En este trabajo se evalúan y comparan distintos procedimientos para medir el reparto de carga entre vías de una transmisión planetaria, valorando diferentes alternativas de medición en el portaplanetas.*

---

## Operación autónoma de autobuses en cocheras para tareas de aparcamiento y mantenimiento

F. Jiménez Alonso<sup>1</sup>, A. Cruz Ruiz<sup>1</sup>, A. Valle Barrio<sup>1</sup>, J. E. Naranjo Hernández<sup>1</sup>, A. Artuñedo García<sup>2</sup>, J. Godoy Madrid<sup>2</sup>, J. Villagra Serrano<sup>2</sup>

<sup>1</sup>INSIA. Universidad Politécnica de Madrid. felipe.jimenez@upm.es, alberto.cruz@upm.es, alfredo.valle@upm.es, joseeugenio.naranjo@upm.es

<sup>2</sup>Centro de Automática y Robótica. CSIC-UPM. antonio.artunedo@csic.es, jorge.godoy@csic.es, jorge.villagra@csic.es

---

*Las tareas de aparcamiento, repostaje o recarga y mantenimiento de autobuses requieren una alta dedicación de personal, pero son operaciones con un alto nivel de repetitividad. La operación autónoma y teleguiada en las cocheras se muestra como una solución para la optimización de costes. Además, la estructuración del entorno hace que sea una solución más viable a corto plazo que la conducción automatizada en entornos completamente abiertos.*

*Por ello, se plantea la automatización de autobuses urbanos, lo que conlleva el accionamiento de los mandos de conducción, el despliegue del sistema de percepción que permite la supervisión del entorno y el desarrollo de los algoritmos de control para la realización de las diferentes maniobras en entornos diferentes como puede ser la zona de parking o los talleres en los que los criterios de guiado son diferentes, así como la comunicación con un centro de control.*

*En concreto, las fases de operación que se contemplan son: 1) Parada del vehículo tras entrada por la puerta principal del Centro de Operaciones; 2) Activación de modo autónomo desde el propio autobús en punto de comienzo; 3) Navegación hasta el túnel lavado; 4) Guiado a través de la zona de lavado y repostaje; 5) Navegación desde túnel de lavado hasta aparcamiento; 6) Navegación desde aparcamiento hasta taller; 7) Guiado de atraque en zonas interiores del edificio principal; 8) Guiado de desatraque de zonas interiores del edificio principal; 9) Navegación hasta la siguiente zonas de atraque o hasta la zona de aparcamiento.*

*En cuanto a actuación, el sistema planteado tiene la particularidad de que no interfiere en la tarea de conducción manual y la transición entre modos es instantánea. De esta forma, a diferencia de las lanzaderas automatizadas, el autobús puede estar prestando servicio con pasajeros operado por un conductor humano y, cuando llegue a cocheras para su estacionamiento o mantenimiento, puede cederse el control al sistema autónomo para dirigirse al punto que se considere oportuno dentro de las cocheras. En relación con la percepción, el sistema está basado en sensores LiDAR en las zonas frontal y trasera y cámaras, además de receptor GPS. Mediante este sistema, el autobús debe ser capaz de realizar el guiado tanto en zonas con cobertura de satélites como sin ella, para lo que recurre al seguimiento de elementos de referencia. También debe reconocer imprevistos y adoptar las maniobras oportunas en cada caso para mantener la seguridad de marcha. Por último, se incluye un sistema de teleguiado desde un puesto de control externo para situaciones no previstas.*

*Las pruebas se han realizado en las cocheras de Carabanchel de EMT Madrid con autobuses eléctricos, comprobando su funcionalidad en diferentes entornos como guiado en zonas diáfanas, en zonas con mala o nula cobertura GPS, evitación de colisiones con obstáculos fijos o móviles, teleguiado remoto, etc.*

---

# Sistema de control robusto basado en $H_\infty$ para el seguimiento de trayectoria de un vehículo con estimación de fallos en el actuador

Manuel Jiménez-Salas<sup>1</sup>, Miguel Meléndez-Useros<sup>1</sup>, Fernando Viadero-Monasterio<sup>1</sup>  
Beatriz López Boada<sup>1</sup>, María Jesús López Boada<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad Carlos III de Madrid, [manuejim@ing.uc3m.es](mailto:manuejim@ing.uc3m.es),  
[mmelende@ing.uc3m.es](mailto:mmelende@ing.uc3m.es), [fviadero@ing.uc3m.es](mailto:fviadero@ing.uc3m.es), [bboada@ing.uc3m.es](mailto:bboada@ing.uc3m.es), [mjbaoda@ing.uc3m.es](mailto:mjbaoda@ing.uc3m.es)

---

*El estudio de la generación y seguimiento de trayectorias de vehículos con alto nivel de automatización es uno de los grandes retos de la ingeniería de transporte a día de hoy. En el diseño de sistemas de control de la dinámica longitudinal y lateral del vehículo, debe priorizarse la seguridad y el confort de los pasajeros. Por este motivo, el desarrollo de algoritmos robustos para el control de la dinámica vehicular y en concreto para el seguimiento de trayectorias, es objeto de estudio por parte de expertos en la materia.*

*Por otro lado, a medida que se aumenta la complejidad de los sistemas de control, la fiabilidad de los mismos comienza a convertirse en un problema para la estabilidad y el correcto funcionamiento de estos sistemas. En el caso de un vehículo automatizado, debido a las posibles consecuencias que un fallo en el sistema de control podría ocasionar, la detección y estimación de fallos resulta crítica para el avance tecnológico y la implantación de estos sistemas. A día de hoy, numerosos trabajos de investigación se centran en buscar los algoritmos más apropiados para la estimación de fallos en actuadores o sensores.*

*En este trabajo se presenta un sistema de control de seguimiento de trayectoria con estimación de fallos en el actuador de la dirección basado en el criterio de  $H_\infty$ . Se ha desarrollado un controlador con realimentación de estados robusto ante perturbaciones en las medidas para el seguimiento de la trayectoria y un observador de entradas desconocidas (UIO) para la estimación de los fallos en el actuador. Debido a la variación de la velocidad longitudinal con el tiempo, se ha usado un modelo de vehículo basado en parámetros variables con el tiempo (LPV) para las etapas de control y estimación. Se ha hecho uso del software de simulación de dinámica vehicular Carsim para conocer la respuesta del vehículo controlado dadas una trayectoria de referencia y un perfil de velocidad variable. Los resultados obtenidos prueban la robustez del sistema y la detección y estimación de distintos niveles de fallos en la actuación.*

---

## Realidad virtual para gemelos digitales basados en transporte automático

Alberto Martínez-Gutiérrez<sup>1</sup>, Javier Díez-González<sup>1</sup>, Rubén Ferrero-Guillén<sup>1</sup>, Paula Verde<sup>1</sup>, Rubén Álvarez<sup>1</sup> e Hilde Perez<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de ingenierías mecánica, informática y aeroespacial, Universidad de León, amartg@unileon.es

*La digitalización de la industria ha impulsado la implementación de los Gemelos Digitales (GD). Sin embargo, la literatura actual de los GD es presentada como modelos matemáticos los cuales modelizan la realidad y no suelen implementar una representación visual para el usuario. Por lo tanto, el usuario no puede analizar la respuesta de los Sistemas Ciber-Físicos (SCF) en el entorno de una manera visual y rápida sin el requisito de interpretar las variables involucradas en el modelo matemático. Para ello, este trabajo aplica técnicas de realidad virtual con el objetivo de proporcionar una inmersión del ser humano en los GDs. No obstante, para la implementación y desarrollo se ha utilizado una arquitectura característica de la nueva era industrial, implementado para ello diferentes tecnologías como el Internet Industrial de las Cosas, computación en la niebla y computación en la nube. Todas estas tecnologías están interconectadas a través de una Plataforma de Internet Industrial (PII), característica de los entornos industriales holísticos. En este sentido, el GD ha sido programado para el transporte autónomo en una industria donde las simulaciones son necesarias para la optimización de la movilidad. De esta forma, se ha implementado con éxito una aplicación de realidad virtual que muestra un Robot Móvil Autónomo (RMA) que ha sido conectado a un GD. Además, esta representación del GD se ha comparado en un entorno real con las mismas características y dispositivos. Por lo tanto, la aplicación GD es totalmente compatible con el nuevo paradigma industrial de la Smart Manufacturing permitiendo su implementación en aplicaciones de planificación de procesos, así como la formación de operarios.*

# Estimación de la intención de movimiento de peatones en un entorno viario mediante tecnología LiDAR

M. Clavijo Jiménez<sup>1</sup>, R. Fernández de Caleyá Ramiro<sup>2</sup>, F. Jiménez Alonso<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad Politécnica de Madrid. miguel.clavijo@upm.es

<sup>2</sup>Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad Politécnica de Madrid. ramon.fernandezdecaleyaramiro@alumnos.upm.es

<sup>3</sup>INSIA. Universidad Politécnica de Madrid. felipe.jimenez@upm.es

---

*La percepción del entorno del vehículo resulta clave para muchos de los sistemas de asistencia al conductor y, en última instancia, para la conducción autónoma. En este sentido, esta percepción condiciona la toma de decisiones de los sistemas y, por lo tanto, debe ser lo más completa y robusta posible. Existen diversas tecnologías, destacándose las de visión por computador y LiDAR por sus prestaciones que las hacen muy versátiles para los sistemas altamente automatizados. Cada una tiene sus ventajas e inconvenientes. De forma específica, la visión artificial ofrece una gran versatilidad para muy diversos usos, aunque con carencias en algunas situaciones como las de iluminación cambiante o deficiente. La tecnología LiDAR tiene una alta robustez en la detección de obstáculos, aunque requiere algoritmos avanzados para la identificación de los elementos detectados y la interpretación global de la escena. La detección de peatones resulta crítica sobre todo en entornos urbanos y presenta dificultades entre las que se encuentra la alta variabilidad de formas que puede adoptar o la estimación de trayectorias.*

*Este artículo se centra en el uso de tecnología LiDAR para la detección del movimiento de peatones. En el caso de visión artificial existen numerosos trabajos que permiten caracterización de peatones y algunos enfoques que tratan de identificar las fases tempranas del movimiento (en concreto, el transitorio entre parado y andando). Sin embargo, estos desarrollos no son comunes en el caso de la tecnología LiDAR, la cual, debido a la divergencia de los haces, hace que la detección con alta densidad de puntos solo se produzca a distancias cortas. A pesar de ello, con el fin de solventar las limitaciones que puede tener el uso de cámaras, y proporcionar una alternativa o una salida complementaria para una fusión sensorial, se explora la posibilidad de estimación del inicio del movimiento de peatones mediante LiDAR.*

*En este sentido, se analiza la nube de puntos con el fin de identificar los puntos característicos que puedan correlacionarse con la acción del movimiento. De dicho estudio, se concluye que únicamente la posición de las piernas ofrece resultados significativos y repetibles, con lo que se define un indicador de posición relativa entre la posición de las piernas del peatón con el fin de diferenciar situaciones de parado y en movimiento. En concreto, se usa la desviación típica entre la distancia de los centroides de las nubes de puntos correspondientes a una sección de las piernas calculada sobre un conjunto de frames sucesivos.*

*Se han realizado ensayos con peatones de diferente altura, con movimientos diversos y cruzando la carretera con varios ritmos. Se ha comprobado una alta fiabilidad en la identificación del movimiento y una menor tasa de falsos positivos en esta en comparación al análisis del clúster que considera al peatón completo, sujeto a mayores perturbaciones como la posición de los brazos. Así, se concluye que el método establecido, identifica de forma correcta el movimiento de igual forma a como lo hace el centroide de la nube completa, pero no incurre en sobreestimaciones del movimiento, con lo que se aumenta la robustez en la estimación del inicio del movimiento, aspecto fundamental para predecir trayectorias futuras en los sistemas de asistencia o conducción automatizada.*

---

# Dispositivo amortiguador para vehículos ligeros basado en fluidos no-newtonianos

Pedro Urda<sup>1</sup>, Javier Pérez<sup>2</sup>, Enrique Carabias<sup>2</sup>, Juan A. Cabrera<sup>2</sup> y Juan J. Castillo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dpto. de Ingeniería Mecánica y Fabricación, Universidad de Sevilla. [purda@us.es](mailto:purda@us.es)

<sup>2</sup> Dpto. De Ingeniería Mecánica, Térmica y de Fluidos, Universidad de Málaga. [javierperez@uma.es](mailto:javierperez@uma.es), [eca@uma.es](mailto:eca@uma.es), [jcabrera@uma.es](mailto:jcabrera@uma.es), [juancas@uma.es](mailto:juancas@uma.es)

---

*En este trabajo se presenta un novedoso sistema de amortiguación para vehículos ligeros basado en la utilización de fluidos no-newtonianos del tipo denominado shear-thickening. La principal característica de estos fluidos es su capacidad para aumentar la viscosidad cuando se aplicad de forma rápida sobre ellos una fuerza alta. Una vez desaparece dicha fuerza el fluido retorna a su viscosidad original. Para demostrar la viabilidad de la utilización de fluidos shear-thickening como fluido de trabajo en elementos de suspensión para vehículos ligeros, se ha llevado a cabo el desarrollo de un prototipo experimental que simula lo que podría ser un amortiguador de dirección. Dicho prototipo ha sido testado en una máquina de ensayo para suspensiones con el objetivo de conocer su comportamiento dinámico ante distintos rangos de carga y frecuencias de trabajo. La principal innovación de este nuevo sistema de amortiguación reside en el hecho de que, en lugar de utilizarse sofisticados sistemas de válvulas para regular el funcionamiento del amortiguador, se utilizan sencillas geometrías de vástagos que combinadas con el efecto del fluido no-newtoniano permiten obtener distintos tipos de comportamiento en el amortiguador. Los resultados obtenidos con el prototipo durante los ensayos muestran un comportamiento equiparable al de un amortiguador convencional con la ventaja de estar basado en un mecanismo mucho más sencillo, económico y con menor mantenimiento que una válvula convencional. En este trabajo también se conseguido demostrar que el comportamiento del amortiguador puede reproducirse mediante la utilización del conocido modelo de Bouc-Wen modificado, lo cual permite la introducción del nuevo sistema de amortiguación en la simulación de modelos computacionales más avanzados de vehículos ligeros*

---

## Primeras fases de diseño de un neumático mixto-desmontable: ECOTIRE

D. Garcia-Pozuelo Ramos<sup>1</sup>, M. A. Martínez Casanova<sup>2</sup>, I. Requena Rodríguez<sup>3</sup>, M. J. López Boada<sup>1</sup>, B. López Boada<sup>1</sup>, R. Gutiérrez Moizant<sup>1</sup>, J. Abenojar-Buendía<sup>2,4</sup>

<sup>1</sup>Depto. Ing. Mecánica, Universidad Carlos III de Madrid, España. Email: [dgramos@ing.uc3m.es](mailto:dgramos@ing.uc3m.es), [mjboada@ing.uc3m.es](mailto:mjboada@ing.uc3m.es), [bboada@ing.uc3m.es](mailto:bboada@ing.uc3m.es), [ragutier@ing.uc3m.es](mailto:ragutier@ing.uc3m.es)

<sup>2</sup>Depto. Ciencia e Ing. Materiales, Universidad Carlos III de Madrid. Email: [mamc@ing.uc3m.es](mailto:mamc@ing.uc3m.es), [abenojar@ing.uc3m.es](mailto:abenojar@ing.uc3m.es)

<sup>3</sup>Advantaria S.L., España. Email: [idi@advantaria.com](mailto:idi@advantaria.com)

<sup>4</sup>Depto. Ing. Mecánica, Universidad Pontificia Comillas de Madrid, España

---

*El diseño de neumáticos, tal y como los conocemos, lleva décadas evolucionando y mejorando su comportamiento sobre la misma base constructiva: matriz de caucho reforzado mediante fibras metálicas y textiles. Su fabricación, uso y reciclado tiene un importante impacto medioambiental, siendo prioritario el desarrollo de materiales alternativos o tratamientos que permitan aumentar su vida útil. En este contexto se ha comenzado a investigar en el diseño y desarrollo de un neumático mixto-desmontable. Es decir, un neumático compuesto por una parte estructural, o carcasa, y otra desmontable, o banda de rodadura, sometida esta última a rozamiento y desgaste. De este modo, separando el neumático en dos componentes independientes, cuya unión se realice por procedimientos mecánicos y no termo-químicos, se pueden utilizar materiales diferenciados, con menor impacto ecológico y/o con propiedades específicas para la función de cada componente.*

*Así, por ejemplo, la parte estructural o carcasa apenas está sometida a desgaste por contacto, rozamiento o abrasión y puede ser diseñada o tratada para aumentar su duración. Esto añade la posibilidad de albergar sensores o componentes adicionales que aumenten sus capacidades.*

*Por otra parte, la banda de rodadura está sometida a desgaste por rozamiento, siendo esta progresiva pérdida de material una de las principales causas de generación de microplásticos. La posibilidad de aplicar materiales diferentes en la carcasa y la banda de rodadura permite introducir en el diseño de esta última materiales con menor impacto medioambiental, siendo esta opción completamente novedosa en la industria del automóvil.*

*En este artículo se van a explicar las primeras fases de esta línea de investigación, haciendo hincapié en los tratamientos que permiten aumentar la vida útil de una carcasa, el estudio de la unión por procedimientos puramente mecánicos entre la carcasa y la banda de rodadura y el planteamiento de nuevas capacidades (introducción de sensores, características antipinchazos, adaptación a neumático de invierno/verano, etc.) a partir de este nuevo concepto de neumático.*

***Esta publicación es parte del proyecto de I+D+i: TED2021-129604B-100, financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y por la Unión Europea NextGeneration EU PRTR.***

---

# Monitorización del desgaste de herramienta en procesos de taladrado de apilados híbridos en la industria aeronáutica mediante técnicas de Machine Learning

C. Domínguez-Monferrer<sup>1</sup>, A. Ramajo-Ballester<sup>2</sup>, A. Guerra-Sancho<sup>3</sup>, M.H. Miguélez<sup>4</sup>, J.L. Cantero<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad Carlos III de Madrid, cardomin@ing.uc3m.es

<sup>2</sup>Dpto. de Ingeniería de Sistemas y Automática. Universidad Carlos III de Madrid, aramajo@pa.uc3m.es

<sup>3</sup>Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad Carlos III de Madrid, antguerr@ing.uc3m.es

<sup>4</sup>Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad Carlos III de Madrid, mhmiguel@ing.uc3m.es

<sup>5</sup>Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad Carlos III de Madrid, jcantero@ing.uc3m.es

---

*Durante la fase de taladrado automático que tiene lugar en el ensamblaje de componentes del fuselaje de un avión comercial, los componentes estructurales del avión se disponen formando apilados híbridos, que incluyen material compuesto de fibra de carbono, titanio y aluminio. Las condiciones que actúan sobre la herramienta de corte durante el mecanizado varían a lo largo de cada agujero dependiendo del material y número de partes a taladrar, sus espesores, los parámetros de corte, el sistema de refrigeración y/o lubricación utilizada y la sujeción de las piezas. Esto genera niveles de desgaste desiguales en las herramientas pues, a igualdad de número de agujeros taladrados, la longitud de corte acumulada por material difiere dependiendo de la zona del fuselaje taladrado.*

*Se espera una demanda de 39.000 nuevos aviones de pasajeros y carga para 2040, la mayoría de ellos de nueva generación. Por lo tanto, la optimización de los recursos de producción es necesaria para lograr una mayor velocidad de producción, un menor desgaste de las herramientas, unos estándares de calidad máximos y una reducción del uso de consumibles para reducir los costes, el tiempo y la huella medioambiental asociados.*

*La cantidad de datos disponibles aumenta con el número de aviones construidos, lo que permitiría extraer mayor valor del sistema de producción. La gestión de la información procedente de distintas fuentes del sistema de producción para evaluar su capacidad de control del proceso se ha explotado de forma limitada hasta la fecha y constituye el foco de este trabajo.*

*En este estudio se propone una metodología de monitorización del desgaste de herramientas haciendo uso de diferentes características de mecanizado, junto con las señales de consumo de potencia del husillo para alimentar algoritmos de aprendizaje automático orientados a la predicción del desgaste de la herramienta. Para abordar la variabilidad inherente a los sistemas de producción complejos, se ha propuesto una metodología específica aplicable al control de las operaciones de mecanizado. El enfoque incluye la recopilación de datos, el procesamiento de datos y la aplicación de algoritmos de Linear Regression, k-Nearest Neighbors, Support Vector Regression y Random Forest. Como resultado a predecir, se propone una escala cualitativa del estado general de la broca.*

---

# Estudio paramétrico del fresado de ranuras en fibra de carbono basado en la calidad superficial, esfuerzos de corte y desgaste de herramienta

J. Salguero<sup>1</sup>, M. Batista<sup>1</sup>, M. Acha<sup>2</sup>, J.M. Vázquez<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería Mecánica y Diseño Industrial, Universidad de Cádiz, [jorge.salguero@uca.es](mailto:jorge.salguero@uca.es), [moises.batista@uca.es](mailto:moises.batista@uca.es)

<sup>2</sup> Departamento Técnico Comercial, KENDU, [matxa@kendu.es](mailto:matxa@kendu.es)

<sup>3</sup> Departamento de Ingeniería Industrial e Ingeniería Civil, Universidad de Cádiz, [juanmanuel.vazquez@uca.es](mailto:juanmanuel.vazquez@uca.es)

*El mecanizado de fibra de carbono (CFRP, Carbon Fiber Reinforced Plastic) sigue siendo hoy en día un reto. Su naturaleza altamente abrasiva condiciona en gran medida la vida de la herramienta, provocando un rápido desgaste que se ve reflejado en la aparición de defectos en los componentes mecanizados.*

*La solución parcial a lo anterior ha venido dada por el diseño de herramientas multifilo con alta capacidad para el corte de la fibra, así como el refuerzo exterior del material del núcleo a través de recubrimientos con un buen comportamiento ante los mecanismos abrasivos. No obstante, en las operaciones de ranurado habitualmente utilizadas en las fases finales de dimensionamiento de componentes planos de CFRP, la fresa trabaja simultáneamente en concordancia y oposición, generando condiciones de desequilibrio en ambos lados de la ranura que se reflejan en la magnificación del desgaste y la pérdida de calidad superficial.*

*En este artículo se presenta un estudio paramétrico del fresado de ranuras en fibra de carbono, basado en la calidad superficial, esfuerzos de corte y desgaste de herramienta. En el mismo se han realizado procesos de ranurado de 8 mm de anchura y 60 mm de longitud en planchas de 5 mm de espesor de CFRP de uso aeronáutico. Como herramientas se han usado fresas multifilo de 14 pasos, con recubrimiento DLC (Diamond Like Carbon). En una primera fase se ha estudiado la influencia de la velocidad de corte (desde 50 hasta 500 m/min) para un avance por diente constante ( $f_z=0,01$  mm/diente), de la que se ha extraído que la velocidad de corte óptima que proporciona mejores resultados de calidad superficial (en términos de rugosidad media aritmética,  $R_a$ ), desgaste de la herramienta y esfuerzos de corte, es de 150 m/min. En una segunda fase, y tomando esa velocidad como contante ( $V=150$  m/min), se han realizado ensayos de ranurado con variación de avances, desde 0,004 hasta 0,031 mm/diente. Se ha apreciado que un avance de 0,013 mm/diente es óptimo para ranuras en las que se requiera alta calidad en concordancia, mientras que avances entre 0,016 y 0,019 mm/diente son recomendables para ranuras en las que ambos lados deban tener calidad similar. No obstante, y a pesar de que se han obtenido resultados satisfactorios dentro del rango estudiado, para avances altos el desgaste de las herramientas multifilo ha venido dado por la rápida pérdida de recubrimiento, dejando expuesto el sustrato de WC-Co a la acción abrasiva de las fibras de carbono.*

# Optimización del proceso de mecanizado de una carcasa aeronáutica de grandes dimensiones

H. González Barrio<sup>1,2</sup>, P. Fernández de Lucio<sup>2</sup>, G. Martínez de Pisson<sup>2</sup>, A. Del Olmo<sup>2</sup>, O. Pereira Neto<sup>2</sup>, G. Gómez Escudero<sup>1,2</sup>, L.N. López de Lacalle Marcaide<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad del País Vasco UPV/EHU. [Haizea.gonzalez@ehu.eus](mailto:Haizea.gonzalez@ehu.eus), ,  
[Gaiika.gomez@ehu.eus](mailto:Gaiika.gomez@ehu.eus), [norberto.lzlacalle@ehu.eus](mailto:norberto.lzlacalle@ehu.eus)

<sup>2</sup>Centro de Fabricación Avanzada Aeronáutica (CFAA), Universidad del País Vasco UPV/EHU.  
[Pablo.fernandezd@ehu.eus](mailto:Pablo.fernandezd@ehu.eus), [gonzalo.martinezdepisson@ehu.eus](mailto:gonzalo.martinezdepisson@ehu.eus), [ander.delolmo@ehu.eus](mailto:ander.delolmo@ehu.eus),  
[octaviommanuel.pereira@ehu.eus](mailto:octaviommanuel.pereira@ehu.eus)

---

*En los últimos años, nuevos motores aeronáuticos se encuentran en las fases de inicio o aceleración de la producción, por lo que existe un esfuerzo mundial para reducir las emisiones y ruido producidos por las turbinas de gas utilizadas en aplicaciones aeronáuticas. Las carcasas aeronáuticas son piezas estáticas de superaleaciones, para las que el proceso de fabricación es complejo y largo. Además, la precisión, el rendimiento y la fiabilidad del sistema de amarre se presenta como un desafío para la productividad.*

*La óptima fabricación de estos componentes se considera un proceso complejo con unos requisitos mecánicos muy estrictos. Los nuevos avances tecnológicos muestran que todo proceso de fabricación de componentes aeronáuticos estará constantemente monitorizado; teniendo en cuenta diferentes factores críticos para garantizar el mejor rendimiento de dicho proceso. Como resultado, se espera aumentar la productividad y reducir los costes de producción, así como soluciones más sostenibles.*

*A lo largo del presente estudio, se muestran las variables críticas a considerar para la óptima fabricación de una carcasa de grandes dimensiones cero defectos, considerando criterios de diseño, defectología proveniente del material en bruto, las limitaciones de amarres y utillajes, así como la monitorización de las diferentes variables de corte (fuerzas de corte, vibraciones...). Finalmente, se estudiará la posibilidad de técnicas de fabricación más sostenibles. Para ello, se fabrica un caso de estudio de una carcasa aeronáutica de tamaño real.*

---

## Medición de temperaturas en rectificado de piezas de alto valor añadido

I. Pombo<sup>1</sup>, J. A. Sánchez<sup>2</sup>, L. Godino<sup>3</sup>, B. Izquierdo<sup>4</sup>, U. Alonso<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Dpto. de Ingeniería Mecánica. UPV/EHU. inigo.pombo@ehu.eus. (Presentador)

<sup>2</sup> Dpto. de Ingeniería Mecánica. UPV/EHU. joseantonio.sanchez@ehu.eus

<sup>3</sup> Dpto. de Ingeniería Mecánica. UPV/EHU. leire.godino@ehu.eus

<sup>4</sup> Dpto. de Ingeniería Mecánica. UPV/EHU. borja.izquierdo@ehu.eus

<sup>5</sup> Dpto. de Ingeniería Mecánica. UPV/EHU. unai.alonso@ehu.eus

---

*El rectificado es un proceso clave dentro de la fabricación de componentes de alto valor añadido debido a la alta calidad que se consigue en las piezas rectificadas. Se estima que supone el 25% de los costes totales de mecanizado en países industrializados, pudiendo llegar a constituir hasta un 50% de precio total en determinados casos. Un diseño óptimo de un proceso de rectificado se antoja, por tanto, clave de cara a conseguir las piezas con la calidad requerida. Uno de los mayores problemas que se dan durante el proceso son las altas temperaturas que se dan en el contacto pieza muela. Se trata de temperaturas muy elevadas que pueden derivar en procesos térmicos no controlados en la superficie rectificada que alteren sus propiedades y puedan llevar al rechazo de la pieza.*

*Ya desde la década de los 70 se ha llevado a cabo un trabajo investigador profundo y sistemático abordando esta problemática desde dos puntos de vista: la modelización matemática del fenómeno térmico en rectificado y la medición de las temperaturas alcanzadas durante el proceso. A pesar del gran número de trabajos al respecto, la medición de temperaturas en rectificado es un aspecto no resuelto debido al pequeño tamaño de la zona de contacto entre pieza y muela ( $\approx 3$  mm para rectificado plano convencional) y los altos gradientes de temperatura que se dan durante el proceso ( $>105$  °C/s). Un sistema de medición que se ha utilizado tradicionalmente son los termopares de contacto. Si bien se trata de sensores robustos y razonablemente fiables, a la hora de medir temperaturas en rectificado presentan dos problemas: la imposibilidad de medir temperaturas en la superficie rectificada y su alta inercia térmica. Esto hace que los resultados que se encuentran en la bibliografía tengan un alto grado de incertidumbre.*

*En este trabajo se va a presentar la implementación y puesta a punto de unos termopares rectificables que van a permitir medir directamente las temperaturas en la superficie de la pieza para un proceso de rectificado plano. Así mismo se va a presentar un procedimiento completo de calibración de este tipo de termopares, así como una metodología de corrección de la señal obtenida para compensar los errores derivados de la inercia térmica del sensor.*

*Los resultados obtenidos mostrarán que este tipo de sensores son una buena alternativa para la medición de temperatura en procesos de rectificado plano, lo que supone un avance significativo en el diseño de este tipo de procesos.*

---

# Análisis experimental del taladrado del material polimérico termoplástico PEEK con y sin refuerzo

J. Díaz-Álvarez<sup>1,2</sup>, A. Díaz-Álvarez<sup>1</sup>, D. Gómez<sup>1</sup>, H. Miguélez<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad Carlos III de Madrid. e-mails de contacto: [jodiaz@ing.uc3m.es](mailto:jodiaz@ing.uc3m.es), [andiaza@ing.uc3m.es](mailto:andiaza@ing.uc3m.es), [davgomez@pa.uc3m.es](mailto:davgomez@pa.uc3m.es), [mhmiguel@ing.uc3m.es](mailto:mhmiguel@ing.uc3m.es).

<sup>2</sup>Institute of Innovation in Sustainable Engineering (IISE), College of Science and Engineering, University of Derby, Derby, DE22 1GB, United Kingdom: [j.diazalvarez@derby.ac.uk](mailto:j.diazalvarez@derby.ac.uk)

---

*Los procesos de fabricación aditiva constituyen una revolución en el diseño de componentes mecánicos y estructurales en todos los sectores industriales. Aunque todavía existen interrogantes acerca del comportamiento mecánico y la vida en servicio conseguidos mediante estas técnicas, su capacidad para generar geometrías complejas con el máximo aprovechamiento de la materia prima es una de sus principales ventajas. La industria es uno de los sectores que más contamina, es por esto que el estudio e implementación de nuevas estrategias de producción es una prioridad.*

*En la actualidad, la implementación de los polímeros termoplásticos en la industria está en expansión, debido en gran parte a la buena relación propiedades mecánicas/peso que poseen estos. No obstante, algunos materiales termoplásticos avanzados como es el caso del polyéter éter cetona (PEEK) con y sin refuerzos aún se encuentran bajo estudio y desarrollo.*

*Hoy en día, es posible fabricar componentes con matriz termoplástica tipo PEEK por medio de tecnologías de impresión 3D. Sin embargo, y aunque las principales tecnologías de impresión 3D consiguen tolerancias de pieza muy estrechas, en la actualidad siguen siendo necesarias operaciones de postprocesado con objeto de conseguir dichas especificaciones o posibilitar uniones mecánicas entre distintos componentes. Entre estas operaciones destaca el mecanizado, siendo necesario analizar la influencia de los diferentes parámetros de la impresión 3D y mecanizado en el comportamiento mecánico del componente. Generalmente, las propiedades de procesamiento de los polímeros dependen principalmente de sus propiedades mecánicas, térmicas y reológicas. La alta expansión térmica y la elasticidad, así como la baja conductividad térmica y la temperatura de reblandecimiento a menudo dificultan la eliminación efectiva del material en el mecanizado de precisión. Las características del material también son muy sensibles a la temperatura, y durante su procesamiento se generarán irregularidades innecesarias en el comportamiento del material en el área de corte.*

*Con el objetivo de dotar de mayor rigidez y resistencia a la fluencia al PEEK, éste se suele reforzar con fibras de carbono, el cual, tiene una gran resistencia mecánica y una menor densidad que el PEEK reforzado con un 30% de fibra de vidrio. Además, los compuestos de fibra de carbono tienden a ser menos abrasivos que los de fibra de vidrio y, al mismo tiempo, tienen mejores propiedades frente a la fricción y al desgaste. En relación con los daños encontrados en el mecanizado de materiales termoplásticos como el PEEK reforzados con fibra de carbono, se pueden destacar: cavidades en la superficie, fragmentos de fibras fracturados en la superficie, fracturas en fibras inducidas por flexión con pérdida de matriz y arranque de fibra o fragmentos de fibra introducidos en capas adyacentes entre otros. Además, la calidad del proceso de mecanizado se ve muy afectado por la temperatura y se genera un mayor desgaste de la herramienta en comparación con el PEEK sin refuerzo.*

---

# Aplicación de la Transformada Wavelet Discreta a la detección de roturas catastróficas de herramienta durante el taladrado de componentes aeronáuticos estructurales

A. Guerra-Sancho<sup>1</sup>, C. Domínguez-Monferrer<sup>1</sup>, M.H. Miguélez<sup>1</sup>, J.L. Cantero<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad Carlos III de Madrid, [antguerr@ing.uc3m.es](mailto:antguerr@ing.uc3m.es), [cardomin@ing.uc3m.es](mailto:cardomin@ing.uc3m.es), [mhmiguel@ing.uc3m.es](mailto:mhmiguel@ing.uc3m.es), [jcantero@ing.uc3m.es](mailto:jcantero@ing.uc3m.es)

---

*En este trabajo se presenta un acercamiento a la detección de roturas catastróficas de herramienta en los procesos de taladrado automático que tienen lugar durante la fase de ensamblaje de componentes estructurales aeronáuticos.*

*Durante la fase de taladrado, los componentes del fuselaje se disponen formando apilados híbridos, que incluyen material compuesto de fibra de carbono y aleaciones metálicas de titanio y aluminio. Las condiciones de mecanizado varían a lo largo de cada agujero dependiendo del material y número de componentes a taladrar, sus espesores, los parámetros de corte, el sistema de refrigeración y/o lubricación utilizada y la sujeción de las piezas.*

*En el proceso de mecanizado de estos apilados híbridos, el grado de complejidad puede dar lugar a condiciones críticas que lleven a la rotura catastrófica de la herramienta. Esta casuística es especialmente problemática por el coste y el tiempo que conlleva, sobre todo en procesos automáticos. A menudo es necesario reparar la zona afectada y realizar manualmente las operaciones de taladrado que se han interrumpido debido a la rotura.*

*Cada vez con más frecuencia, las máquinas industriales de control numérico están instrumentadas y permiten registrar el consumo de potencia de los motores (principalmente el consumo del husillo principal) y la posición de avance de herramienta durante el mecanizado. Habitualmente, los sistemas industriales de detección de rotura basados en consumos de potencia establecen límites máximos y mínimos por encima de los cuales se considera que se ha producido la rotura de herramienta. Sin embargo, estos sistemas suelen generar un número intolerable de falsos positivos debido a la variabilidad del proceso industrial.*

*Con el fin de detectar en tiempo real el instante en el que producen estos eventos, se plantea un método de detección basado en el análisis en el dominio tiempo-frecuencia de las señales de consumo de potencia del husillo principal. En concreto, se estudia la viabilidad de utilizar las transformadas wavelets discretas Haar, Daubechies, Symlet y Coiflet con diferentes niveles de descomposición para detectar roturas considerando señales correspondientes a una herramienta del sistema productivo de 4.6 mm de diámetro sin etapa de avellanado.*

---

## Efecto de los parámetros de impresión 3D en la resistencia del PLA utilizado para fabricar manos protésicas de bajo coste

Miguel Martínez Collado, Immaculada Llop Harillo, Antonio Pérez González

Dpto. de Ingeniería Mecánica y Construcción, Universitat Jaume I, al366734@uji.es, illop@uji.es, aperez@uji.es

*La popularización de la tecnología de impresión 3D ha motivado el desarrollo de numerosas propuestas de manos protésicas de bajo coste. En la fabricación por deposición fundida, tanto el acabado superficial de las piezas, como sus propiedades mecánicas y tiempo de impresión dependen en gran medida de variables de la impresora 3D modificables por los usuarios. El material más ampliamente utilizado en la impresión 3D de prótesis de mano de bajo coste es el ácido poliláctico (PLA) debido a su facilidad de impresión. En la literatura podemos encontrar diferentes estudios en los que se analizan las propiedades mecánicas del PLA variando algunos parámetros de impresión, sin embargo, estos estudios analizan el efecto de un número reducido de parámetros. El objetivo de este estudio es analizar el efecto que tiene un mayor número de parámetros y la interacción entre ellos, sobre la tensión de rotura del PLA. Para ello se realizó un diseño factorial fraccionado con cinco variables (número de perímetros, temperatura de boquilla, velocidad de impresión, diámetro de boquilla y altura de capa) a dos niveles, lo que ha resultado en dieciséis casos, para cada uno de los cuales se imprimieron y ensayaron tres probetas. Las probetas se ensayaron a tracción en una máquina de ensayo universal. Con los resultados obtenidos de la tensión de rotura para cada probeta se realizó un análisis de la varianza incluyendo como parámetros los efectos principales y las interacciones dobles. Los resultados indican que todas las variables estudiadas, a excepción de la altura de capa, afectan significativamente a la tensión de rotura. Las interacciones dobles entre las variables significativas, también lo son, salvo entre velocidad de impresión y número de perímetros. Para obtener mejores propiedades mecánicas se ha de imprimir la pieza de PLA con un número de perímetros alto, una temperatura alta, una velocidad baja y una boquilla grande, dentro del rango de valores del fabricante. Sin embargo, se podría reducir el tiempo de impresión aumentando la altura de capa (el máximo nivel que se ha estudiado ha sido del 50%) sin comprometer las propiedades mecánicas de la pieza. El tamaño de boquilla grande, además de aumentar la tensión de rotura, reduce los tiempos de impresión, sin embargo, el tamaño de ésta viene condicionado por el acabado superficial deseado en las piezas.*

# Análisis numérico de la influencia de la morfometría de estructuras triplemente periódicas con mínima superficie en su respuesta elástica

R. Belda<sup>1,2</sup>, R. Megías<sup>2</sup>, M. Marco<sup>1</sup>, A. Vercher-Martínez<sup>2</sup>, E. Giner<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad Carlos III de Madrid. rbelda@ing.uc3m.es; mimarcoe@ing.uc3m.es

<sup>2</sup> Instituto de Ingeniería Mecánica y Biomecánica-I2MB, Dpto. de Ingeniería Mecánica y de Materiales. Universitat Politècnica de València. ramedia@upv.es; anvermar@dimm.upv.es; eginerm@mcm.upv.es

---

*Las estructuras triplemente periódicas con mínima superficie (TPMS) han ganado interés en los últimos años en el diseño de andamios óseos. Estos se utilizan en el tratamiento de fracturas con grandes defectos que no pueden curarse con métodos tradicionales de fijación. El diseño de dichos sistemas requiere disponer de una estructura porosa, que permita el crecimiento óseo a su alrededor, así como el intercambio de nutrientes y desechos. En cuanto al comportamiento mecánico, la rigidez de los andamios óseos debe ser similar a la del tejido óseo circundante y se deben evitar los concentradores de tensiones, para reducir los problemas de integridad andamio-hueso debidos a reabsorción ósea. Por lo tanto, existe una necesidad de conocer mejor cómo se relacionan las propiedades elásticas de distintas estructuras TPMS con sus características morfométricas.*

*En este trabajo, se estudian 4 estructuras TPMS variando su fracción en volumen con el fin de explorar relaciones entre su respuesta mecánica y sus características morfométricas. Se aplica un procedimiento de homogeneización numérica que permite estimar la matriz de rigidez completa asociada a cada estructura.*

*Los resultados del trabajo reflejan que las propiedades elásticas decaen exponencialmente conforme aumenta la porosidad de la estructura. Para todas las estructuras analizadas, se ha detectado un comportamiento ortótropo, con las mismas propiedades en las tres direcciones ortogonales. Además, mediante la variación de la fracción en volumen, se pueden seleccionar las propiedades elásticas en un rango de entre un 0.2 % y un 70 % de las propiedades del material utilizado.*

*Por otro lado, para disponer de un tamaño de poro y espesor en el rango de valores medidos en el hueso trabecular, los resultados indican que la celda unidad debe tener un lado aproximado de 1.5 mm. Sin embargo, estas estructuras periódicas no son capaces de reproducir el comportamiento anisótropo del hueso trabecular. Los resultados de este estudio permiten seleccionar la combinación de estructura TPMS y porosidad que tienen asociadas unas propiedades elásticas y morfométricas de acuerdo con la localización y el estado del hueso que rodea la fractura, proporcionando un marco de trabajo paciente-específico que optimice la osteointegración y evite diferencias en las propiedades elásticas entre andamio y hueso.*

---

# Análisis del comportamiento a compresión de hueso trabecular femoral sano y enfermo

Raquel Megías<sup>1</sup>, Ricardo Belda<sup>1,2</sup>, Ana Vercher-Martínez<sup>1</sup>, Eugenio Giner<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Ingeniería Mecánica y Biomecánica – I2MB, Dpto. de Ingeniería Mecánica y de Materiales, Universitat Politècnica de València. Camino de Vera, 46022, València, España, [ramedia@upv.es](mailto:ramedia@upv.es), [anvermar@dimmm.upv.es](mailto:anvermar@dimmm.upv.es), [eginerm@mcm.upv.es](mailto:eginerm@mcm.upv.es)

<sup>2</sup> Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad Carlos III Madrid. Avda. de la Universidad 30, Leganés, 28911, Madrid, España, [rbelda@ing.uc3m.es](mailto:rbelda@ing.uc3m.es)

---

*En el presente trabajo, se ha estudiado el comportamiento a compresión de muestras de hueso trabecular procedentes de cabezas femorales humanas. Las muestras analizadas se han dividido en tres grupos de estudio en función del estado patológico, siendo clasificados en grupo sano (GS), grupo artrósico (GA) y grupo osteoporótico (GO). El objetivo del trabajo es evaluar si las propiedades mecánicas a nivel de tejido están influenciadas por el estado patológico, utilizando modelos de elementos finitos como herramienta. Las muestras trabeculares se han sometido a cargas de compresión cuasiestática hasta producir la fractura en la dirección estimada como más rígida. Se ha utilizado la respuesta obtenida de los ensayos experimentales para calibrar las propiedades elásticas y de fallo en los modelos numéricos. De los ensayos experimentales se han obtenido los parámetros más característicos de la curva tensión-deformación que son la tensión máxima ( $\sigma_f$ ) que soportan las muestras, la deformación ( $\epsilon_f$ ) a la que ocurre esta tensión y el módulo de Young aparente ( $E_{app}$ ). Mientras que de la calibración numérica se ha obtenido el módulo de Young a nivel de tejido ( $E_{tej}$ ), la deformación de inicio de fallo ( $\epsilon_y$ ) y la deformación de fallo final ( $\epsilon_f$ ). Debido a las diferencias obtenidas entre grupos, es posible diferenciar las muestras sanas de las muestras con patología. Las muestras sanas soportan un 52 % más de tensión máxima que las muestras del grupo osteoporótico, y la deformación a la que se obtiene dicha tensión es un 33 % mayor para los huesos sanos que para los osteoporóticos. Respecto a las propiedades calibradas, tanto las deformaciones de inicio de fallo como las de fallo final de los grupos con patología tienen el mismo orden de magnitud, siendo diez veces mayor para cada caso en el grupo sano. Los valores más pequeños para cada una de las deformaciones se encuentran en el grupo osteoporótico. Sin embargo, los módulos de Young de tejido calibrados no presentan grandes diferencias entre los tres grupos de estudio. En conclusión, en este trabajo, se ha detectado que el estado patológico afecta el comportamiento mecánico tanto a escala aparente como a escala material. En la escala aparente, las muestras sanas soportan un nivel de carga y deformaciones sustancialmente mayor. En la escala material, la patología afecta principalmente a las deformaciones de inicio de fallo y fallo completo. Estos resultados son relevantes para la predicción de eventos de fractura utilizando modelos de elementos finitos.*

---

## Impacto del diseño avanzado de estructuras porosas en la mecanobiología ósea

R. Asbai-Ghoudan<sup>1\*</sup>, G. Nasello<sup>2</sup>, M.A. Pérez<sup>3</sup>, S. Ruiz de Galarreta<sup>1</sup>, N. Rodriguez-Florez<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup> Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad de Navarra. [rasbai@tecnun.es](mailto:rasbai@tecnun.es), [sruiz@tecnun.es](mailto:sruiz@tecnun.es)

<sup>2</sup> Dpto. de Ingeniería Mecánica. KU Leuven. [gabriele.nasello@kuleuven.be](mailto:gabriele.nasello@kuleuven.be)

<sup>3</sup> Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad de Zaragoza. [angeles@unizar.es](mailto:angeles@unizar.es)

<sup>4</sup> Ikerbasque, Basque Foundation for Science. [nrodriguez@tecnun.es](mailto:nrodriguez@tecnun.es)

---

*El entorno mecánico desempeña un papel crucial en la regulación de la regeneración ósea en defectos óseos. La evaluación in silico del comportamiento mecanobiológico de andamios óseos personalizados podría ayudar a optimizar su diseño para potenciar la regeneración ósea y mejorar la longevidad de los implantes. Los andamios porosos fabricados por fabricación aditiva, y en concreto las superficies mínimas triplemente periódicas (TPMS), han mostrado propiedades estructurales prometedoras para actuar como sustitutos óseos, pero aún no se ha dilucidado su capacidad para inducir regeneración ósea regulada mecanobiológicamente. El objetivo de este estudio es explorar el potencial de regeneración ósea de los andamios TPMS fabricados con materiales biocompatibles de diferente rigidez (titanio y policaprolactona). Para realizar este estudio se utiliza un modelo in silico de una tibia de cabra de regeneración ósea mecano-regulada. Los resultados mostraron que las propiedades geométricas del andamio afectan tanto a la difusión celular como a la distribución de los estímulos mecánicos, lo que provoca variaciones en el volumen y la distribución del hueso regenerado. También se observó que el material más blando mejoró el crecimiento óseo. Este análisis demuestra la importancia de la geometría del andamio y de su material, y pone de relieve el potencial del uso de modelos mecanobiológicos personalizados en el proceso de diseño de sustitutos óseos.*

---

## Métodos para el estudio y evaluación de la fatiga muscular mediante electromiografía de superficie en series de Wall-Balls

J. Urrutikoetxea<sup>1</sup>, S. Suárez<sup>2</sup>, P. Comesaña<sup>3</sup>, J. A. López Campos<sup>4</sup>, A. Segade<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Dpto. de Ingeniería Mecánica, Máquinas y Motores Térmicos y Fluidos. Universidad de Vigo. jonurrutikoetxea@hotmail.com

<sup>2</sup>Dpto. de Ingeniería Mecánica, Máquinas y Motores Térmicos y Fluidos. Universidad de Vigo. sofia.suarez.garcia@uvigo.gal

<sup>3</sup>Dpto. de Ingeniería Mecánica, Máquinas y Motores Térmicos y Fluidos. Universidad de Vigo. pablocc7199@gmail.com

<sup>4</sup>Dpto. de Ingeniería Mecánica, Máquinas y Motores Térmicos y Fluidos. Universidad de Vigo. joseangellopezcampos@uvigo.gal

<sup>5</sup>Dpto. de Ingeniería Mecánica, Máquinas y Motores Térmicos y Fluidos. Universidad de Vigo. asegade@gmail.com

---

*En la actualidad, la creciente capacidad para la captura y el procesado de señal, hacen de la electromiografía de superficie (sEMG) una técnica muy empleada para el estudio de la activación e implicación muscular en diferentes movimientos. La señal obtenida mediante estas técnicas, debidamente procesada; contiene información acerca de la implicación muscular, la secuencia de activación o la fatiga producida. En el siguiente estudio, se propone el analizar la señal obtenida mediante técnicas de sEMG durante la realización de un ejercicio concreto englobado principalmente dentro de la disciplina deportiva del CrossFit. En este trabajo, se seleccionarán un conjunto de índices que se obtienen de la señal capturada y que contienen información acerca de la fatiga muscular. Se observará la evolución de dichos índices en cada repetición del ejercicio y su evolución en las diferentes series del ejercicio. El objetivo es ser capaces de evaluar la sensibilidad de cada índice y, especialmente su correlación con la aparición de fatiga muscular. Esto permitirá en un futuro, mejorar la planificación y obtener más información y más objetiva al respecto de la intensidad del ejercicio al que ha sido sometido un atleta de CrossFit.*

---

## Banco de ensayos sensorizado de rodilla para la validación experimental de simulaciones de tratamientos

F. Michaud<sup>1</sup>, F. Mouzo<sup>1</sup>, A. López Varela<sup>1</sup>, U. Lugrís<sup>1</sup>, D. Dopico<sup>1</sup>, J. Cuadrado<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Ingeniería Mecánica, Campus Industrial de Ferrol, Universidade da Coruña. [florian.michaud@udc.es](mailto:florian.michaud@udc.es), [francisco.mouzo@udc.es](mailto:francisco.mouzo@udc.es), [alvaro.lopez1@udc.es](mailto:alvaro.lopez1@udc.es), [urbano.lugris@udc.es](mailto:urbano.lugris@udc.es), [daniel.dopico@udc.es](mailto:daniel.dopico@udc.es), [javier.cuadrado@udc.es](mailto:javier.cuadrado@udc.es)

---

*La artroplastia total de rodilla busca aliviar el dolor y restaurar la función de la articulación afectada mediante implantes artificiales. A pesar de los avances en diseño y técnicas quirúrgicas, existen complicaciones asociadas con la cirugía, especialmente con la patela. El uso de modelos musculoesqueléticos en cirugía ortopédica permite predecir objetivamente la función postoperatoria y optimizar los resultados para cada paciente. Aunque se han logrado avances en la obtención de geometría ósea en 3D y la estimación de fuerzas de contacto, la validación de estas predicciones ha sido limitada debido a la falta de mediciones directas in vivo y a las restricciones económicas y éticas asociadas con las alternativas disponibles. En este estudio, se transformó una estación de entrenamiento comercial para cirujanos en un banco de ensayos sensorizado. Utilizando un gemelo digital y tecnologías como impresión 3D, captura de movimiento y sensores de fuerza, se pudieron validar los resultados obtenidos de la simulación por ordenador (movimiento y fuerzas sobre la patela) con mediciones experimentales.*

---

# Detección de daño en estructuras a partir de la respuesta dinámica, mediante técnicas de deep-learning y visión artificial

R. Lado Roigé<sup>1</sup>, M.A. Pérez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Group of Applied Mechanics and Advanced Manufacturing – IQS School of Engineering, Universitat Ramon Llull  
[ricardlador@iqs.url.edu](mailto:ricardlador@iqs.url.edu), [marcoantonio.perez@iqs.url.edu](mailto:marcoantonio.perez@iqs.url.edu)

---

*La magnificación de movimiento o VMM es una técnica de procesado de imágenes que permite magnificar pequeños movimientos en un video o secuencia de imágenes. Esta técnica es un enfoque novedoso y prometedor para la visión artificial con múltiples aplicaciones potenciales en campos como la medicina, la seguridad y la ingeniería.*

*En el caso de la detección de daño en estructuras, la magnificación del permite reconstruir la función de respuesta en frecuencia e identificar frecuencias naturales y deformadas modales. De esta forma es posible detectar daños estructurales que afectan a la rigidez o masa de la estructura, permitiendo evaluar su estado para prevenir posibles fallos o el colapso.*

*El trabajo presente se enfoca en desarrollar una metodología y su validación para la detección de daño en estructuras a través de la respuesta dinámica obtenida mediante magnificación de movimiento de video. Además, se presenta una comparativa entre los dos métodos que actualmente existen y se basan en deep-learning.*

---

## Apilados piezoeléctricos para cancelación de vibraciones: Análisis de sensibilidad

J. Jiménez Sicardo<sup>1</sup>, A. J. Nieto Quijorna<sup>1</sup>, A. L. Morales Robredo<sup>1</sup>, C. Ramiro Redondo<sup>1</sup>, M. Melero Esteso<sup>1</sup>, E. Palomares Novalbos<sup>1</sup>, P. Pintado Sanjuán<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Mecánica Aplicada e Ingeniería de Proyectos. DYNAMO Research Group. Universidad de Castilla La Mancha. Javier.JSicardo@uclm.es, AntonioJavier.Nieto@uclm.es, Angelluis.Morales@uclm.es, Carmen.Ramiro@uclm.es, Miguel.Melero@uclm.es, Eduardo.Palomares@uclm.es, Publio.Pintado@uclm.es

---

*En la actualidad se muestra un notable interés, tanto académico como empresarial, en lo referente a la utilización de materiales piezoeléctricos para cancelar vibraciones mecánicas. Estos materiales piezoeléctricos, conectados a circuitos de derivación, se han propuesto como dispositivos para cancelar vibraciones en distintos tipos de estructuras. Algunos autores han realizado estudios experimentales en estructuras de vehículos ferroviarios a escala, mientras que otros han utilizado los piezoeléctricos como absorbentes dinámicos sintonizados. Sin embargo, son pocos los trabajos que cuantifican la influencia (en la capacidad de cancelación) de las características del transductor piezoeléctrico, de los parámetros del circuito de derivación, o de la localización y cogidas del propio piezoeléctrico a la estructura. En este trabajo se presenta un análisis simplificado de la sensibilidad de la vibración frente a variaciones mono-paramétricas y combinadas de los distintos parámetros que definen el sistema.*

*Para simplificar el análisis y hacerlo más ilustrativo, se considera una estructura en forma de viga suspendida en ambos extremos mediante elementos muy flexibles, que es excitada verticalmente mediante un actuador (shaker), y se sitúa el transductor piezoeléctrico unido a la viga a través de un par de ménsulas en los extremos del mismo. Se utiliza un modelo de Euler-Bernoulli sometido a cargas puntuales: la del shaker y las de los apoyos; así como a momentos puntuales: los generados por las ménsulas a las que se conecta el apilado piezoeléctrico. La vibración de la viga se analiza en el dominio de la frecuencia para introducir de forma sencilla la impedancia mecánica del piezoeléctrico conectado al circuito de derivación.*

*La medida de la efectividad en la cancelación de vibraciones se ha cuantificado a través del índice de confort (según la Norma UNE-EN-12299) a lo largo de la viga, así como su media en toda la longitud. El índice de confort medio varía cuando se modifican los parámetros de diseño y esto da lugar al análisis de sensibilidad que se presenta en este trabajo.*

---

## Caracterización experimental del ruido de impacto de la circulación de un vehículo eléctrico sobre resaltos

M. Fabra Rodríguez<sup>1</sup>, H. Campello Vicente<sup>1</sup>, N. Campillo Davó<sup>1</sup>, R. Peral Orts<sup>1</sup>, E. Velasco Sánchez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dpto. de Ingeniería Mecánica y Energía. Universidad Miguel Hernández de Elche. [mfabra@umh.es](mailto:mfabra@umh.es),  
[hcampello@umh.es](mailto:hcampello@umh.es), [ncampillo@umh.es](mailto:ncampillo@umh.es), [emilio.velasco@umh.es](mailto:emilio.velasco@umh.es), [ramon.peral@umh.es](mailto:ramon.peral@umh.es)

---

*A medida que la tecnología avanza, se reduce de manera progresiva el ruido generado por los vehículos. Sin embargo, el tráfico rodado sigue siendo la principal fuente de contaminación acústica. Los vehículos eléctricos se presentan como una posible solución a esta problemática, ya que son prácticamente silenciosos cuando circulan a baja velocidad. A pesar de esto, las irregularidades en la calzada provocan situaciones específicas en las que se produce un aumento del ruido de interacción entre el neumático y el firme. Ejemplo de ello son los resaltos reductores de velocidad que generan ruido de impacto al chocar contra el neumático.*

*Para estudiar este fenómeno se han realizado ensayos de circulación en pista con un vehículo eléctrico sobre dos tipos de resaltos diferentes. Se ha empleado una cámara acústica que permite visualizar el campo sonoro generado, posibilitando la localización de la fuente y la determinación de su magnitud. En este documento se analizan los resultados obtenidos a diferentes velocidades de circulación tales como el nivel de presión sonora alcanzado o el contenido espectral. De forma adicional se han realizado ensayos con una motocicleta de combustión a la que se le ha desconectado la propulsión en el momento del impacto para simular el paso de una motocicleta eléctrica.*

---

## Comportamiento vibratorio de vigas de material compuesto dañadas

Rubio Herrero <sup>1</sup>, I. Ivañez del Pozo <sup>2</sup>, V. Ivaylov <sup>1</sup>, B. Muñoz-Abella <sup>1</sup>, L. Rubio Ruiz de Aguirre <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad Carlos III de Madrid, [prubio@ing.uc3m.es](mailto:prubio@ing.uc3m.es), [vivaylov@ing.uc3m.es](mailto:vivaylov@ing.uc3m.es), [mmunoz@ing.uc3m.es](mailto:mmunoz@ing.uc3m.es), [lrubio@ing.uc3m.es](mailto:lrubio@ing.uc3m.es)

<sup>2</sup> Departamento de Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras, Universidad Carlos III de Madrid, [idel@ing.uc3m.es](mailto:idel@ing.uc3m.es)

---

*En este trabajo se ha estudiado el comportamiento vibratorio de vigas rotatorias dañadas fabricadas de material compuesto representativas de palas de aerogeneradores formadas por estructuras sándwich con pieles de polímeros reforzados con fibra de carbono y núcleo de nido de abeja en función de la velocidad de giro y el tamaño del defecto. Para ello se ha llevado a cabo un estudio numérico mediante un código comercial de elementos finitos y se ha desarrollado un modelo tridimensional de una viga rotatoria que presenta un agujero en el núcleo de distintos tamaños. Para obtener las frecuencias de la viga giratoria, se ha tomado como señal de salida del modelo numérico la aceleración de un punto situado en el extremo de la viga y se ha procesado la señal mediante la Transformada Rápida de Fourier.*

---

# Monitorización del trefilado de alambre con emisión acústica: aspectos relacionados con la deformación volumétrica y la fricción

E. Caso<sup>1</sup>, A. Díez Ibarbia<sup>1</sup>, P. García<sup>1</sup>, J. Sánchez Espiga<sup>1</sup>, A. Fernández del Rincón<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dpto. de Ingeniería Estructura y Mecánica. Universidad de Cantabria. [casoe@unican.es](mailto:casoe@unican.es), [alberto.diez@unican.es](mailto:alberto.diez@unican.es), [pablo.garcia@unican.es](mailto:pablo.garcia@unican.es), [javier.sanchezespiga@unican.es](mailto:javier.sanchezespiga@unican.es), [alfonso.fernandez@unican.es](mailto:alfonso.fernandez@unican.es)

---

*Durante el proceso de trefilado se genera emisión acústica (EA) debida principalmente a dos fenómenos, la deformación plástica del alambre, para conseguir la reducción de sección, y la fricción, originada entre las superficies en deslizamiento. Para favorecer el trefilado se recurre a la lubricación de la zona de contacto, sin embargo, no siempre se consigue mantener un régimen óptimo, siendo éste un proceso propenso al desgaste y las incidencias. Los mecanismos involucrados en el desgaste, como la adhesión y la abrasión, son otras fuentes de EA que ocurren de manera superpuesta al resto de emisiones. Por lo tanto, en las señales de EA obtenidas de la monitorización se entrelazan numerosos efectos, difícilmente desacoplables en el procedimiento experimental. El análisis de las señales de EA registradas bajo condiciones particulares, identificadas como incidencias de producción, permite caracterizar y estudiar la manera de abordar su monitorización. En este artículo se presenta el análisis de una incidencia real durante la supervisión del proceso, derivada de un problema en la lubricación del alambre que provoca un gripaje. El gripaje supone una modificación adversa del modo en el que se produce el contacto entre las superficies de alambre e hilera. La fricción excesiva propicia la aparición de mecanismos abrasivos que no se darían en una correcta operación de trefilado. Gracias al análisis de las señales de EA, adquiridas durante esta incidencia, se estudian los aspectos clave para su monitorización.*

---

## Simulación y validación de las fuerzas de corte en el mecanizado de chapa de pared delgada

Iñigo Mugueta Paternain<sup>1</sup>, Javier Ibarrola Chamizo<sup>1</sup>, Mikel Merino Olagüe<sup>1</sup>, Jokin Aginaga García<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad Pública de Navarra, España. [inigo.muguetapaternain, javier.ibarrola, mikel.merino, jokin.aginaga]@unavarra.es

---

*El principal objetivo del presente artículo es desarrollar un modelo de fuerzas de corte que permita realizar una simulación dinámica donde se puedan optimizar los parámetros de mecanizado de una chapa de paredes delgadas de forma computacional. De esta forma, es posible comprobar de forma rápida y sencilla si variando un determinado parámetro se pueden obtener mejores resultados en el mecanizado.*

*Para ello, en primer lugar, se realiza el modelo de fuerzas de corte en Matlab. A continuación, se inserta el modelo dinámico y, por último, se representa el movimiento de la chapa en función de las fuerzas.*

*La comprobación de los resultados computacionales se ha verificado con los obtenidos en la fase experimental, en donde se ha realizado un mecanizado del borde libre de una chapa de pared delgada mediante un brazo robótico. Por último, se compararán ambos resultados: la simulación y la experimentación.*

---

## Obtención experimental de un modelo dinámico de pantógrafo ferroviario

A. M. Pedrosa Sánchez<sup>1a</sup>, S. Gregori Verdú<sup>1c</sup>, M. Tur Valiente<sup>1b</sup>, J. Gil Romero<sup>1c</sup>,  
F.J. Fuenmayor Fernández<sup>1d</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Ingeniería Mecánica y Biomecánica. Universitat Politècnica de València.

<sup>a</sup>anpedsan@dimm.upv.es, <sup>b</sup>sangreve@upv.es, <sup>c</sup>manuel.tur@mcm.upv.es, <sup>d</sup>jaigiro@upv.es, <sup>e</sup>ffuenmay@mcm.upv.es

*El suministro de corriente eléctrica a un vehículo ferroviario se realiza a través de la interacción entre el pantógrafo y la línea aérea de contacto. En la situación óptima, la fuerza de contacto deberá ser mínima para reducir el desgaste. Sin embargo, debido a la respuesta dinámica del pantógrafo, su interacción con la catenaria puede provocar la oscilación del hilo de contacto y producir despegues cuyos efectos más nocivos son la interrupción del suministro eléctrico o la generación de arcos eléctricos que producen el deterioro prematuro de las superficies en contacto. Este problema es sumamente importante hasta el punto de que, el compromiso entre desgaste y despegue constituye, hoy en día, uno de los factores limitantes de la velocidad máxima del tren.*

*Para la simulación numérica del contacto con la catenaria, el pantógrafo puede modelarse como un sistema discreto lineal de masas concentradas. La realización de simulaciones realistas abre la posibilidad de aplicar algoritmos que permitan contribuir al diseño de catenarias optimizadas, así como la contribución a la creación de redes neuronales entrenadas mediante simulaciones con modelos de catenarias con errores de montaje, destinadas a identificar dichos errores a partir de medidas sobre el sistema real o para diseñar estrategias de control activo del pantógrafo basadas en simulaciones.*

*El objetivo principal de este trabajo consiste en desarrollar una herramienta experimental que permita obtener los parámetros del modelo dinámico lineal de masas concentradas, para mejorar o completar los modelos empleados hasta la fecha para su aplicación en simulaciones numéricas más realistas de la interacción con la catenaria. Los ensayos se han realizado en un banco experimental existente que incluye un motor lineal que introduce un movimiento vertical y un pantógrafo de AVE modelo DSA-380. La validación del sistema experimental propuesto se ha llevado cabo mediante su aplicación a un sistema dinámico más sencillo con un único grado de libertad.*

# Modelo de vía simplificado con parámetros periódicamente variables para simulaciones multicuerpo de vehículos ferroviarios

J. F. Aceituno<sup>1</sup>, Á. Brazales<sup>1</sup>, R. Chamorro<sup>2</sup>, J. L. Escalona<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dpto. de Ingeniería Mecánica y Minera, Universidad de Jaén, [jaceitun@ujaen.es](mailto:jaceitun@ujaen.es), [abr0029@red.ujaen.es](mailto:abr0029@red.ujaen.es)

<sup>2</sup> Dpto. De Ingeniería Mecánica y Fabricación, Universidad de Sevilla, [rchamorro@us.es](mailto:rchamorro@us.es), [escalona@us.es](mailto:escalona@us.es)

---

*Este trabajo presenta un modelo simplificado de vía flexible que utiliza una combinación de parámetros mecánicos que varían periódicamente en función de la posición longitudinal relativa del eje ferroviario sobre el carril. Para ello, se analiza la receptancia vertical de la vía sobre dos posiciones características: (1) encima de la traviesa ferroviaria y (2) en el centro del vano localizado entre dos traviesas consecutivas. Ambas receptancias tienen un comportamiento similar a bajas y medias frecuencias, mientras que a partir de la frecuencia de "pin-pin", es decir, aquella cercana a 1 kHz en la que los carriles vibran considerando unión articulada con las traviesas, muestran las diferencias evidentes de los puntos del carril analizados. Por este motivo, utilizar modelos simplificados de pocos grados de libertad, permite obtener de manera sencilla sus receptancias analíticas en función de sus parámetros mecánicos. En este sentido, dicho conjunto de parámetros mecánicos podrá utilizarse en los modelos simplificados en función de la posición longitudinal relativa de los ejes sobre la vía, interpolando en base a este parámetro y obteniendo un comportamiento de los modelos simplificados con una periodicidad equivalente al espaciado entre traviesas. Los resultados numéricos que aquí se presentan muestran que para conjuntos de parámetros mecánicos relativamente cercanos, el uso de la periodicidad espacial de los mismos puede representar la interacción vehículo-vía con modelos simplificados de vía flexible.*

---

## Desmontaje eficiente de vías en placa ferroviarias mediante el uso de microondas

R. Borinaga Treviño<sup>1</sup>, A. Orbe Mateo<sup>1</sup>, O. Oyarzabal de Celis<sup>1</sup>, J. Canales Abaitua<sup>1</sup>, A Garaigordobil Jimenez, R. Ansola, E. G<sup>a</sup>-Vadillo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad del País Vasco/ EHU. [aimar.orbe@ehu.eus](mailto:aimar.orbe@ehu.eus), [olatz.oyarzabal@ehu.eus](mailto:olatz.oyarzabal@ehu.eus), [javier.canales@ehu.eus](mailto:javier.canales@ehu.eus), [alain.garaigordobil@ehu.eus](mailto:alain.garaigordobil@ehu.eus), [ruben.ansola@ehu.eus](mailto:ruben.ansola@ehu.eus), [ernesto.garciavadillo@ehu.eus](mailto:ernesto.garciavadillo@ehu.eus)

---

*Desde hace décadas se extiende la utilización de vía en placa, y no sólo en túneles sino también en superficie. El mayor tiempo de construcción y coste inicial de la vía en placa quedan compensados a largo plazo con la prácticamente nula necesidad de mantenimiento, frente a las operaciones de bateo, estabilización, perfilado, depuración de balasto, etc, que es imprescindible realizar en las vías sobre balasto para mantener una adecuada calidad de las circulaciones.*

*En cambio, la vía en placa presenta como importante desventaja su falta de idoneidad para las situaciones en que es imprescindible su sustitución o reparación debido a causas como un descarrilamiento, fenómenos de la naturaleza como inundaciones o corrimientos de taludes, o como el propio final de la vida útil de sus componentes. Actualmente el proceso de reparación/sustitución de la placa dañada o fuera de vida útil, consiste básicamente en el picado con martillo neumático de la placa a sustituir hasta su demolición total), con los consecuentes problemas contaminantes (ruido, generación de polvo, etc.) y ergonómicos para los operarios. Por este motivo, sería de gran ayuda contar con algún sistema novedoso y eficiente que permita la rápida reparación de vías en placa dañadas, para minimizar el tiempo de interrupción de las circulaciones, con el consiguiente ahorro para los administradores de infraestructuras y la limitación de afecciones a los viajeros.*

*En este trabajo se presenta un método para un desmantelamiento eficiente de las vías en placas mediante el uso de microondas. El trabajo incluye la presentación de simulaciones numéricas del proceso, ensayos a escala probeta y un prototipo de cañón de aplicación de las microondas con resultados experimentales sobre un prototipo de vía en placa realizado por los propios autores del trabajo. Se incluye un estudio de diversos materiales susceptibles de usar en la realización de la placa y la búsqueda de aquél que con un comportamiento mecánico que asegure la integridad de la placa según normativa ferroviaria, facilite su desmantelamiento y sustitución de manera más eficiente y sostenible que los métodos que se usan actualmente.*

---

## Banco de Ensayos de Ejes y Bogies Ferroviarios

P. Gómez-Tejedor<sup>1</sup>, E. G. Vadillo<sup>1\*</sup>, N. Correa<sup>1</sup>, J. Santamaría<sup>1</sup>, R. Robles<sup>1</sup>, O. Oyarzabal<sup>1</sup>, J. Astarloa<sup>1</sup>, R. Cosgaya<sup>1</sup>, F. Uriondo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad del País Vasco UPV/EHU. [ernesto.garciavadillo@ehu.eus](mailto:ernesto.garciavadillo@ehu.eus),  
[nekane.correa@ehu.eus](mailto:nekane.correa@ehu.eus), [javier.santamaria@ehu.eus](mailto:javier.santamaria@ehu.eus), [rakel.robles@ehu.eus](mailto:rakel.robles@ehu.eus), [olatz.oyarzabal@ehu.eus](mailto:olatz.oyarzabal@ehu.eus),  
[javier.astarloa@ehu.eus](mailto:javier.astarloa@ehu.eus), [raul.cosgaya@ehu.eus](mailto:raul.cosgaya@ehu.eus).

<sup>2</sup>Depto. de Ingeniería Eléctrica. Universidad del País Vasco UPV/EHU. [felipe.uriondo@ehu.eus](mailto:felipe.uriondo@ehu.eus)

---

*El presente artículo muestra el roller-rig o banco para ensayo de ejes y bogies diseñado y construido en el Departamento de Ingeniería mecánica de la UPV/EHU. Se trata de un banco de ensayos de 5" de ancho de vía, habiéndose elegido esta escala por la facilidad para encontrar en el mercado componentes de esta misma escala. En el artículo se realiza un estudio comparativo de diferentes bancos de ensayos de ejes, de bogies, y de vehículos ferroviarios completos ya existentes en diversos laboratorios, centros de investigación, universidades y empresas del sector ferroviario. Se explica el campo de aplicación de cada uno de esos bancos, algunas de sus prestaciones y sus limitaciones. Como resultado de ese estudio comparativo se acotan las características y prestaciones buscadas para el presente banco, se describe el proyecto realizado, así como los componentes individuales elegidos y su justificación, conjugando precio con características y prestaciones necesarias.*

---

## Clasificación del estado de un eje ferroviario mediante EMD y clasificadores automáticos

A. Bustos Caballero<sup>1</sup>, H. Rubio Alonso<sup>2</sup>, G. Peláez Lourido<sup>3</sup>, J. C. García Prada<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dpto. de Mecánica. Universidad Nacional de Educación a Distancia. [albustos@ind.uned.es](mailto:albustos@ind.uned.es), [jcgprada@ind.uned.es](mailto:jcgprada@ind.uned.es)

<sup>2</sup>Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad Carlos III de Madrid. [hrubio@ing.uc3m.es](mailto:hrubio@ing.uc3m.es)

<sup>3</sup>Dpto. de Ingeniería Mecánica, Máquinas y Motores Térmicos y Fluidos. Universidad de Vigo. [gpelaez@uvigo.es](mailto:gpelaez@uvigo.es)

---

*El correcto mantenimiento de los sistemas de rodadura del material ferroviario es fundamental para garantizar la seguridad de la operación, las personas y el medio ambiente. Sin embargo, a pesar del extensivo mantenimiento que realizan los operadores ferroviarios, siguen ocurriendo accidentes e incidentes debidos a defectos no detectados en ejes y ruedas durante las tareas rutinarias de mantenimiento. La implementación de sistemas de mantenimiento predictivo basados en análisis vibratorio (por sus ventajas sobre otras técnicas de medida del estado de deterioro de un sistema mecánico) y con la aplicación de técnicas de análisis, diagnóstico y clasificación propias de la industria 4.0, puede ayudar en la detección de anomalías y detectar prematuramente la presencia de defectos y así notificarlo a los operadores ferroviarios, evitando accidentes e incidentes. En este trabajo se pretende determinar la condición de funcionamiento de un eje ferroviario mediante la combinación de técnicas de tratamiento de señales y sistemas clasificadores automáticos. Para tal propósito, se ensaya un bogie de mercancías del tipo Y-21 en el banco de ensayos de bogies BOGLAB situado en la Base de Mantenimiento Integral de Renfe BMI-Madrid. Este banco de ensayos a escala real es capaz de introducir las condiciones cinemáticas y dinámicas necesarias en uno de los ejes del bogie y reproducir su estado de funcionamiento en operación. Se registran medidas de vibración en las dos cajas de grasas del eje en movimiento en las tres direcciones del espacio y en cuatro condiciones operativas diferentes. Las señales de vibración registradas son tratadas con la descomposición empírica modal o EMD (del inglés, Empirical Mode Decomposition). A continuación, se calcula la potencia espectral de cada una de las subseñales obtenidas, las cuales se utilizan como entrada del sistema automático de clasificación. Los parámetros del sistema clasificador se optimizan para determinar la configuración que permite obtener los mejores resultados en la identificación de la condición del eje ensayado, así como la mejor localización de los acelerómetros para tal fin. Los resultados muestran un elevado nivel de acierto del clasificador en la identificación del estado de operación del bogie.*

---

## Medidas experimentales del coeficiente de fricción en carriles ferroviarios

J. Santamaria<sup>1</sup>, J. Gil-Capelastegui<sup>1</sup>, N. Correa<sup>1</sup>, O. Oyarzabal<sup>1</sup>, R. Robles<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad del País Vasco UPV/EHU. [javier.santamaria@ehu.eus](mailto:javier.santamaria@ehu.eus)

---

*El establecimiento de un coeficiente de fricción real y representativo para modelizar el contacto rueda-carril con rodadura y el fenómeno de adhesión es una tarea compleja. Estudios experimentales muestran enormes variaciones del coeficiente de rozamiento en función de las condiciones en las que se realizó la medición, abarcando rangos que pueden extenderse entre valores tan distantes como 0.08 y 0.5.*

*En este trabajo se presentan valores del coeficiente de fricción experimentales que se han tomado en vía ferroviaria y también en carriles en laboratorio, analizando las curvas de fricción características y la influencia que han tenido sobre los valores obtenidos parámetros relacionados con el estado de las superficies de contacto y con las condiciones operacionales. Para ello, se ha utilizado un tribómetro específico para carriles ferroviarios (HO Tribo) que es capaz de, variando el ángulo de ataque de la rueda de medición, obtener la fuerza de fricción para distintos valores de pseudodeslizamiento aplicados. El trabajo pone de manifiesto la gran variabilidad de los valores del coeficiente de fricción y muestra valores reales que pueden ser usados en análisis dinámicos de vehículos ferroviarios.*

---

# Influencia de la duración del pulso en procesos de micro-mecanizado láser de aleación de titanio Ti6Al4V

J.M. Vazquez-Martinez<sup>1</sup>, M. Batista<sup>2</sup>, P. Iglesias<sup>3</sup>, J. Salguero<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dpto. de Ingeniería Industrial e Ingeniería Civil, Universidad de Cádiz, [juanmanuel.vazquez@uca.es](mailto:juanmanuel.vazquez@uca.es)

<sup>2</sup> Dpto. de Ingeniería Mecánica y Diseño Industrial, Universidad de Cádiz, [moises.batista@uca.es](mailto:moises.batista@uca.es), [jorge.salguero@uca.es](mailto:jorge.salguero@uca.es)

<sup>3</sup> Mechanical Engineering Department, Rochester Institute of Technology, NY(USA) [pxieme@rit.edu](mailto:pxieme@rit.edu)

---

*La eliminación de material en aleaciones de elevada resistencia y baja maquinabilidad como las aleaciones de titanio sigue siendo hoy en día un reto. Su interés estratégico en industrias avanzadas como el sector aeronáutico o biomédico, unido a su naturaleza, la cual presenta baja conductividad térmica, condiciona en gran medida la vida de la herramienta en procedimientos convencionales de mecanizado, provocando un rápido desgaste que se ve reflejado en la aparición de defectos en los componentes mecanizados. El uso de técnicas no convencionales como los sistemas de corte láser proporcionan soluciones a dichos retos tecnológicos. No obstante, el estricto control de los parámetros de procesado, condiciona el rendimiento del proceso. El presente trabajo aborda el estudio de la influencia de uso de diferentes tecnologías láser para la eliminación selectiva de material de superficie en la aleación de titanio Ti6Al4V.*

*En este artículo se presenta un estudio de la influencia de la duración de pulso en el proceso de micro-mecanizado de la aleación de titanio Ti6Al4V. En el mismo se han realizado procesos de texturizado lineal a través de sistemas de marcado láser con pulso corto (ns) y sistema de micro-mecanizado láser de pulso ultracorto (fs). Se ha empleado un rango de potencias de 5W a 20W, en frecuencias que van desde 5kHz a 80 kHz.*

*Los resultados obtenidos en la presente investigación permiten confirmar que los procedimientos llevados a cabo mediante pulsos cortos, muestran los efectos característicos de este tipo de procesado, acentuados en la aleación de Ti6Al4V de baja conductividad térmica. Se han identificado defectos como acumulación de restos de material en los bordes del surco de texturas láser, o aparición de zona afectada térmicamente. Asimismo, se ha comprobado que el uso de sistemas de pulso ultracorto, permite desarrollar texturas y patrones topográficos con mayor precisión y evitando fenómenos no deseables.*

---

# Análisis del comportamiento mecánico y microestructural de piezas de acero inoxidable 316L fabricadas mediante WAAM

M.D. Abad<sup>1</sup>, O. Quenard<sup>2</sup>, P. Guy<sup>3</sup>, A. Domergue<sup>4</sup>, M.A. Perez<sup>5</sup>, G. Gómez-Gras<sup>6</sup>

<sup>1, 5, 6</sup>Group of Applied Mechanics and Advanced Manufacturing – IQS School of Engineering, Universitat Ramon Llull, Barcelona, Spain. [manuel.abad@iqs.url.edu](mailto:manuel.abad@iqs.url.edu); [marcoantonio.perez@iqs.url.edu](mailto:marcoantonio.perez@iqs.url.edu); [giovanni.gomez@iqs.url.edu](mailto:giovanni.gomez@iqs.url.edu)

<sup>2</sup>Structural Testing and Materials Characterization Lab, Icam Engineering School, Toulouse, France, [olivier.quenard@icam.fr](mailto:olivier.quenard@icam.fr)

<sup>3</sup>University of Toulouse, Clément Ader Institute, UMR CNRS 5312, INSA/UPS/ISAE/Mines Albi, Toulouse, France, [philippe.guy@icam.fr](mailto:philippe.guy@icam.fr)

<sup>4</sup>ESTIA, 90 Allée Fauste d'Elhuyar, 64210 Bidart, France, [a.domergue@estia.fr](mailto:a.domergue@estia.fr)

---

*Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM) es una técnica con gran potencial para la producción de estructuras metálicas complejas y de gran formato sin necesidad de herramientas especiales, reduciendo los precios y los tiempos de fabricación y maximizando el rendimiento de los materiales. En este trabajo se analiza exhaustivamente el comportamiento mecánico y microestructural de piezas 316L, fabricadas mediante WAAM. A través de ensayos de caracterización mecánica y el análisis microestructural se estudió el rendimiento de dichas piezas en la orientación principal de deposición. El estudio mediante microscopía evidenció diferencias en la microestructura de la muestra dependiendo de la zona caracterizada. El carácter cristalino de las muestras se caracterizó mediante difracción de rayos-x y se evidenció las fases austenita y ferrita, observándose un mayor contenido de ferrita conforme aumenta la distancia respecto a la base. Se ejecutó un estudio de la microdureza obteniéndose valores medios en torno a 220 HV. Las curvas de tensión-deformación muestran mayores valores de resistencia a la tracción en las probetas de la parte inferior ( $570 \pm 6$  MPa), mientras que en la parte superior los valores están en torno a  $481 \pm 6$  MPa. Se ha evidenciado que, a medida que aumenta la altura de la capa, las propiedades mecánicas y microestructurales se modifican, disminuyendo notablemente la resistencia a la tracción, la tensión máxima y la elongación, viéndose comprometido el rendimiento mecánico. Los resultados de este estudio aportan información relevante acerca de la correlación entre los cambios que experimenta la estructura cristalina con la disminución de la resistencia mecánica, en las diferentes zonas de la pieza impresa.*

---

## Análisis de la influencia de técnicas de refrigeración criogénicas y convencionales en el acabado superficial de piezas de Inconel 718 impresas por PBF-LB

G. Gómez Escudero<sup>1</sup>, M. Martínez-Aguirre<sup>1</sup>, A. Calleja-Ochoa<sup>1</sup>, H. González Barrio<sup>1</sup>, S. Kumar Mishra<sup>2</sup>, O. Pereira Neto<sup>3</sup>, L.N. López de Lacalle Marcaide<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad del País Vasco UPV/EHU. [gaizka.gomez@ehu.eus](mailto:gaizka.gomez@ehu.eus),

[maialen.martinezdeaguirre@ehu.eus](mailto:maialen.martinezdeaguirre@ehu.eus), [amaia.calleja@ehu.eus](mailto:amaia.calleja@ehu.eus), [haizea.gonzalez@ehu.eus](mailto:haizea.gonzalez@ehu.eus)

<sup>2</sup> Dpto. de Ingeniería Mecánica. ITT Kanpur-Indian Institute of Technology Kanpur. [msarvesh@iitk.ac.in](mailto:msarvesh@iitk.ac.in)

<sup>3</sup> CFAA-Centro de Fabricación Avanzada Aeronáutica. Universidad del País Vasco UPV/EHU. [norberto.lzlacalle@ehu.eus](mailto:norberto.lzlacalle@ehu.eus)

---

*El objetivo de este trabajo es evaluar la maquinabilidad de la aleación de hierro-níquel Inconel®718 fabricada mediante el proceso de fabricación aditiva metálica Laser Powder Bed Fusion (PBF-LB), la cual es cada vez más utilizada en aplicaciones industriales, especialmente en la aeronáutica. Para mejorar el proceso de mecanizado, se analizaron distintas técnicas de refrigeración, incluyendo mecanizado en seco, con taladrina, con Minimum Quantity of Lubrication (MQL) y criogenia con MQL. Para ello, se realizaron ensayos que consistieron en 80 pasadas de mecanizado, con un total de 4 metros de mecanizado para cada técnica, en donde se midió la rugosidad superficial cada 10 pasadas mediante un microscopio confocal, así como los esfuerzos de corte y el desgaste de la herramienta. Los resultados obtenidos de este trabajo reflejan que el efecto lubricante de las técnicas de refrigeración y lubricación tiene un mayor efecto tanto en el acabado superficial como en los esfuerzos de corte, mejorando el primero y reduciendo el valor del segundo. En cambio, el efecto refrigerante tiene una relación directa con el desgaste de la herramienta, siendo menor cuanto mayor es la refrigeración, ya sea mediante una emulsión de aceite y agua convencional o el empleo de la criogenia.*

---

## Evaluación energética e impacto ambiental del proceso de Aporte Directo de Material mediante láser (DED-LB)

J.I. Arrizubieta<sup>1</sup>, A. Lamikiz<sup>1</sup>, M. Ostolaza<sup>1</sup>, O. Ukar<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad del País Vasco (UPV/EHU) [joninaki.arrizubieta@ehu.eus](mailto:joninaki.arrizubieta@ehu.eus)

<sup>2</sup> Departamento de Mecánica, Diseño y Organización Industrial. Universidad de Deusto.

---

*Los procesos de Fabricación Aditiva (FA) permiten un uso más racional de los recursos, una reducción de los residuos generados, así como la reparación de componentes dañados para alargar su vida útil. Sin embargo, la FA presenta limitaciones en términos de productividad y aseguramiento de la calidad de los componentes fabricados, lo que ha ralentizado su implantación en sectores como el de la automoción y la aeronáutica. Para superar estas limitaciones, la tendencia en los últimos años ha sido la de maximizar la productividad incrementando la potencia de los equipos láser o el número de láseres instalados. No obstante, es habitual dejar a un lado el impacto ambiental que tienen dichos parámetros, como por ejemplo la eficiencia energética del proceso.*

*Con el objetivo de contribuir a una fabricación más eficiente y respetuosa con el medio ambiente, en el presente trabajo de investigación se ha estudiado el consumo energético del proceso de aporte directo de energía mediante láser (DED-LB) a través de la introducción de un nuevo parámetro en la caracterización de los procesos de FA, que es la eficiencia energética. En un primer paso se ha caracterizado la eficiencia energética del propio generador láser, relacionando la potencia emitida con la consumida de la red eléctrica. En base a los resultados obtenidos, se ha podido concluir que las estrategias de aporte en modo pulsado permiten una reducción del consumo de hasta el 9% en comparación con el empleo del láser en modo continuo. En un segundo paso, se ha realizado un diseño de experimentos para relacionar la eficiencia energética y másica del proceso de aporte con los parámetros de entrada: potencia láser, velocidad de avance y caudal másico. El parámetro que más influye en la eficiencia energética del proceso de aporte es el caudal del material de aporte, siendo recomendable emplear caudales elevados para maximizar su valor. Por el contrario, se ha visto que un incremento de la potencia y/o reducción de la velocidad de avance resultan en un incremento del rendimiento másico.*

---